



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA ESTABILIDAD DE**  
**TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA –**  
**SECTOR CRUZHUASA - CORANI – CARABAYA - PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. FANNY LUZ CALIZAYA LLATASI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

A DIOS por ser mi creador, por ser mi guía  
durante toda mi vida y por darme fortaleza y  
sabiduría.

Con todo mi amor y cariño a mis lindas hijas  
Camilita † y Andreita por ser mi motivación  
para poder superarme cada día más.

A mi amado esposo Russell por su  
comprensión, por ayudarme a construir mis  
sueños y por ocupar un lugar importante en  
mi corazón.

A mis queridos padres Benigno † y Glicería,  
por su apoyo incondicional en los peores  
momentos de mi vida y por enseñarme a ser  
una mujer de bien; a mis queridos hermanos  
Fredy, Roxana, Elmer, Yudith y Kely por  
sus palabras de aliento y apoyo  
incondicional que nunca les faltó.

*Fanny Luz Calizaya Llatasi*



## AGRADECIMIENTOS

- A Mi Alma Mater, Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, que en sus aulas junto a compañeros, amigos y docentes han sido parte de mi vida universitaria y formación profesional.
- A los catedráticos que han intervenido en mi formación, por compartir sus conocimientos, absolver dudas; a los cuales debemos nuestra admiración y respeto.
- D.Sc. Héctor Raúl Machaca Condori, que, con sus aportes y dirección, ha impulsado el desarrollo de esta investigación.
- A los miembros del Jurado, M.Sc. Ernesto Samuel Machacca Hanco, Ing. Mauricio Peralta Molina, Ing. Ronald Quiza Vilca; por ser partícipes de esta etapa.

*Fanny Luz Calizaya Llatasi*



## ÍNDICE GENERAL

Pág.

|                     |    |
|---------------------|----|
| DEDICATORIA         |    |
| AGRADECIMIENTOS     |    |
| ÍNDICE GENERAL      |    |
| ÍNDICE DE TABLAS    |    |
| ÍNDICE DE FIGURAS   |    |
| ÍNDICE DE ACRÓNIMOS |    |
| RESUMEN .....       | 15 |
| ABSTRACT.....       | 16 |

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

|   |    |
|---|----|
| 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....          | 18 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....          | 19 |
| 1.2.1. Pregunta general.....                | 19 |
| 1.2.2. Preguntas específicas.....           | 19 |
| 1.3. HIPÓTESIS.....                         | 20 |
| 1.3.1. Hipótesis general.....               | 20 |
| 1.3.2. Hipótesis específicas .....          | 20 |
| 1.4. OBJETIVOS .....                        | 20 |
| 1.4.1. Objetivo general.....                | 20 |
| 1.4.2. Objetivos específicos.....           | 20 |
| 1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 21 |



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 2.1.    | ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....                            | 22 |
| 2.2.    | MARCO TEÓRICO.....   | 25 |
| 2.2.1.  | Estabilidad de taludes.....                                      | 25 |
| 2.2.2.  | Condiciones de estabilidad del corte identificadas en campo..... | 27 |
| 2.2.3.  | Caracterización geológica.....                                   | 28 |
| 2.2.4.  | Caracterización geomecánica.....                                 | 29 |
| 2.2.5.  | Mecánica de rocas.....   | 29 |
| 2.2.6.  | Caracterización geológica.....                                   | 30 |
| 2.2.7.  | Litología.....   | 31 |
| 2.2.8.  | Caracterización estructural.....                                 | 31 |
| 2.2.9.  | Macizos rocosos.....   | 32 |
| 2.2.10. | Matriz rocosa.....   | 32 |
| 2.2.11. | Discontinuidad.....  | 33 |
| 2.2.12. | Meteorización de los macizos rocosos.....                        | 37 |
| 2.2.13. | Meteorización de la matriz rocosa.....                           | 38 |
| 2.2.14. | Resistencia de los macizos rocosos.....                          | 39 |
| 2.2.15. | Los criterios de rotura.....                                     | 40 |
| 2.2.16. | Criterios de rotura para macizos rocosos.....                    | 40 |
| 2.2.17. | Filtraciones de agua en las discontinuidades.....                | 43 |
| 2.2.18. | Clasificaciones geomecánicas.....                                | 43 |
| 2.2.19. | Clasificación RMR.....   | 43 |
| 2.2.20. | Índice de resistencia geológica (GSI).....                       | 52 |
| 2.2.21. | Determinación de las propiedades del macizo rocoso.....          | 56 |



|   |    |
|---|----|
| 2.2.22. Efecto de la alteración del macizos rocoso .....        | 58 |
| 2.2.23. DIPS .....  | 59 |
| 2.2.24. ROCLAB.....   | 60 |
| 2.2.25. Factor de seguridad .....                               | 62 |
| 2.2.26. Taludes en roca.....                                    | 63 |
| 2.2.27. Tratamiento de estabilidad de los macizos rocosos ..... | 64 |
| 2.2.28. Factores influyentes en la estabilidad de taludes ..... | 65 |
| 2.2.29. Análisis de taludes en suelos.....                      | 66 |

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

|   |    |
|---|----|
| 3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN .....              | 70 |
| 3.1.1. Localización y descripción del proyecto.....           | 70 |
| 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....                               | 71 |
| 3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....                    | 72 |
| 3.3.1. Diseño de la investigación.....                        | 73 |
| 3.4. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....                        | 76 |
| 3.4.1. Grupo MITU (PST-MI).....                               | 76 |
| 3.4.2. Formación QUENAMARI .....                              | 77 |
| 3.4.3. Depósitos aluviales (QH – AL).....                     | 78 |
| 3.5. ESTUDIO DE TOPOGRAFIA, TRAZO Y DISEÑO GEOMETRICO .....   | 78 |
| 3.5.1. Resumen de las características técnicas de la vía..... | 81 |
| 3.6. ESTUDIO DE HIDROLOGÍA Y DRENAJE .....                    | 82 |
| 3.6.1. Dimensionamiento de las obras de drenaje .....         | 82 |
| 3.6.2. Descripción de la hidrología .....                     | 83 |



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 4.1.   | IDENTIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS EN LA<br>TROCHA CARROZABLE DE LA LOCALIDAD DE ACCONSAYA –<br>SECTOR CRUZHUASA - CORANI – CARABAYA – PUNO ..... | 88  |
| 4.1.1. | Estratigrafía local .....   | 88  |
| 4.1.2. | Descripción geológica .....   | 89  |
| 4.2.   | EVALUACION DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DE<br>LAS ROCAS Y SUELOS PARA CONOCER EL COMPORTAMIENTO<br>GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES .....                   | 90  |
| 4.2.1. | Evaluación geotécnica de taludes en suelos .....  | 91  |
| 4.2.2. | Evaluación geotécnica de taludes en roca .....  | 100 |
| 4.3.   | DETERMINACIÓN DEL TIPO DE TRATAMIENTO PARA MEJORAR<br>SUS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES CON<br>PROBABLES FALLAS .....                           | 119 |
| 4.3.1. | Medidas correctivas.....  | 119 |
| V.     | CONCLUSIONES .....  | 121 |
| VI.    | RECOMENDACIONES .....   | 123 |
| VII.   | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 124 |
|        | ANEXOS.....   | 127 |

**Área:** Estabilidad de Taludes

**Tema:** Ingeniería Geotécnica

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 06 de enero de 2020



## ÍNDICE DE TABLAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>Tabla 1.</b> Orientación de las discontinuidades (b).....  | 46          |
| <b>Tabla 2.</b> Resistencia de la roca sana .....   | 46          |
| <b>Tabla 3.</b> Valoración del RQD .....  | 46          |
| <b>Tabla 4.</b> Se presenta los parámetros de espaciamiento.....  | 50          |
| <b>Tabla 5.</b> Aberturas de las discontinuidades .....   | 50          |
| <b>Tabla 6.</b> Continuidad o persistencia de las discontinuidades .....  | 50          |
| <b>Tabla 7.</b> Rugosidad de las discontinuidades .....   | 51          |
| <b>Tabla 8.</b> Relleno de las discontinuidades.....  | 51          |
| <b>Tabla 9.</b> Alteración de las discontinuidades .....  | 51          |
| <b>Tabla 10.</b> Presencia del agua .....   | 52          |
| <b>Tabla 11.</b> Factor de seguridad.....   | 63          |
| <b>Tabla 12.</b> Ubicación geográfica del área de influencia de la construcción de la<br>trocha carrozable..... | 71          |
| <b>Tabla 13.</b> Accesibilidad y distancia .....  | 71          |
| <b>Tabla 14.</b> Ubicación geográfica y política de la estación de monitoreo .....                              | 83          |
| <b>Tabla 15.</b> Temperatura máxima media mensual (°C) Estación Macusani.....                                   | 84          |
| <b>Tabla 16.</b> Temperatura mínima media mensual (°C) Estación Macusani .....                                  | 84          |
| <b>Tabla 17.</b> Temperatura media mensual (°C) Estación Macusani .....   | 85          |
| <b>Tabla 18.</b> Precipitación en la estación de Macusani .....   | 86          |
| <b>Tabla 19.</b> Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora .....                               | 86          |
| <b>Tabla 20.</b> Formaciones geológicas presentes en el área de estudio.....                                    | 89          |
| <b>Tabla 21.</b> Parámetros geotécnicos; cálculo de FS Km 2+510 al 2+650.....                                   | 93          |
| <b>Tabla 22.</b> Parámetros geotécnicos; cálculo de FS Km 2+510 al 2+650.....                                   | 95          |





|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>Tabla 23.</b> | Parámetros geotécnicos; cálculo de FS Km 3+100 al 3+660 .....                               | 98  |
| <b>Tabla 24.</b> | Parámetros geotécnicos; cálculo de FS Km 3+870 al 4+200 .....                               | 99  |
| <b>Tabla 25.</b> | Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8466800N –<br>331000E.....                 | 101 |
| <b>Tabla 26.</b> | Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8466900N –<br>331050E.....                 | 102 |
| <b>Tabla 27.</b> | Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8466700N –<br>331600E.....                 | 103 |
| <b>Tabla 28.</b> | Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8466850N –<br>331750E.....                 | 104 |
| <b>Tabla 29.</b> | Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8467000N –<br>332150E.....                 | 105 |
| <b>Tabla 30.</b> | Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8466450N –<br>330600E.....                 | 106 |
| <b>Tabla 31.</b> | Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8466750N –<br>330400E.....                 | 107 |
| <b>Tabla 32.</b> | Densidad de roca (ASTM D 2937) (Coordenadas UTM: 8466250N –<br>330000E) .....               | 109 |
| <b>Tabla 33.</b> | Densidad de roca (ASTM D 2937) (Coordenadas UTM: 8466700N –<br>331600E) .....               | 110 |
| <b>Tabla 34.</b> | Análisis de falla circular – Janbu Simplificado (Coordenadas UTM<br>8466800N-331000E) ..... | 111 |
| <b>Tabla 35.</b> | Análisis de falla circular – Fellenuis (Coordenadas UTM 8466450N-<br>330600E) .....         | 112 |



|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>Tabla 36.</b> | Análisis de Falla Circular – Fellenius (Coordenadas UTM 8466450N-331750E) .....   | 112 |
| <b>Tabla 37.</b> | Análisis de falla circular – Janbu (Coordenadas UTM 8466750N-330400E) .....   | 113 |
| <b>Tabla 38.</b> | Análisis de falla por planar, Resultados finales del análisis geomecánicos de taludes en roca (Coordenadas UTM: 8466800N – 330100E) ..... | 117 |
| <b>Tabla 39.</b> | Análisis de falla por planar, Resultados finales del análisis geomecánicos de taludes en roca (Coordenadas UTM: 8466450N – 330600E) ..... | 118 |
| <b>Tabla 40.</b> | Análisis de falla por planar, Resultados finales del análisis geomecánicos de taludes en roca (Coordenadas UTM: 8466850N – 331750E) ..... | 118 |
| <b>Tabla 41.</b> | Análisis de falla por planar, Resultados finales del analisis geomecanicos de taludes en roca (Coordenadas UTM: 8466750N – 330400E) ..... | 119 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Figura 1.</b> Descripción de las condiciones de las discontinuidades .....  | 37          |
| <b>Figura 2.</b> Envolventes de rotura de Hoek y Brown en función de los esfuerzos principales (a) y de los esfuerzos normal y tangencial (b) .....                                  | 42          |
| <b>Figura 3.</b> Parámetros de calificación de RMR .....   | 45          |
| <b>Figura 4.</b> Procedimiento de medición y cálculo del <i>RQD</i> .....  | 47          |
| <b>Figura 5.</b> Estimación del <i>RQD</i> a partir de la separación de las fracturas en el macizo rocoso .....  | 48          |
| <b>Figura 6.</b> Carta para evaluar GSI en macizos rocosos fracturados .....   | 54          |
| <b>Figura 7.</b> Carta para evaluar GSI en macizos rocosos fracturados estratificados y heterogéneos .....   | 55          |
| <b>Figura 8.</b> Análisis de alteración de las rocas .....   | 58          |
| <b>Figura 9.</b> Proyección Estereográfica de discontinuidades .....   | 60          |
| <b>Figura 10.</b> Diagrama de resultados del comportamiento de la roca según RocLab....  | 62          |
| <b>Figura 11.</b> Progresiva. 2+510 deslizamiento del cuerpo de talud .....  | 92          |
| <b>Figura 12.</b> Ábaco de Hoek y Bray, progresivas 2+510 al 2+650.....  | 93          |
| <b>Figura 13.</b> Deslizamiento del suelo al estar conformada en su estructura deleznable de arena arcillosa con contenidos de limo, saturados, progresivas del 2+700 al 2+900 ..... | 94          |
| <b>Figura 14.</b> Ábaco de Hoek y Bray, progresivas 2+700 al 2+900.....  | 95          |
| <b>Figura 15.</b> Existencia de material que se va desprendiendo de los taludes por efectos de las filtraciones de agua producto de las lluvias, Progresivas del 3+100 al 3+660..... | 96          |
| <b>Figura 16.</b> Abaco de Hoek y Bray, progresivas 3+100 al 3+660.....  | 97          |



|                   |  |     |
|-------------------|--|-----|
| <b>Figura 17.</b> | Estructuras de taludes conformadas por suelos orgánicos y fragmentos de roca, progresivas del 3+870 al 4+200.....  | 98  |
| <b>Figura 18.</b> | Propuesta de diseño de talud en suelo .....  | 99  |
| <b>Figura 19.</b> | Coordenadas UTM 8466800N-331000E, Talud analizado por falla circular por el método de Janbu simplificado, resultando un $FS=0.921$ .                     | 111 |
| <b>Figura 20.</b> | Coordenadas UTM 8466450N-330600E, Talud analizado por falla circular por el método de Fellenius, resultando un $FS=1.382$ .....                          | 111 |
| <b>Figura 21.</b> | Coordenadas UTM 8466850N-331750E, Talud analizado por falla circular por el método de Bishop simplificado, resultando un $FS=1.423$                      | 112 |
| <b>Figura 22.</b> | Coordenadas UTM 8466750N-330400E, Talud analizado por falla circular por el método de Janbu simplificado, resultando un $FS=1.383$ .                     | 113 |
| <b>Figura 23.</b> | Análisis de estabilidad de taludes por el método estereográfico para falla por vuelco para un ángulo de fricción básico de $35^\circ$ .....              | 114 |
| <b>Figura 24.</b> | Análisis de estabilidad de taludes por el método estereográfico para falla planar de $20^\circ$ para un ángulo de fricción básico de $52^\circ$ .....    | 115 |
| <b>Figura 25.</b> | Análisis de estabilidad de taludes por el método estereográfico para falla planar sin límite lateral para un ángulo de fricción básico de $52^\circ$ ... | 115 |
| <b>Figura 26.</b> | Análisis de estabilidad de taludes por el método estereográfico para para un ángulo de fricción básico de $52^\circ$ .....                               | 116 |



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

|                         |   |
|-------------------------|---|
| °                       | : Grado   |
| <b>ASTM</b>             | : American Section of the international Association for testing materials     |
| <b>Dip Direction</b>    | : Dirección de Buzamiento   |
| <b>Dip</b>              | : Buzamiento  |
| <b>E</b>                | : este.   |
| <b>F.S.</b>             | : Factor de Seguridad   |
| <b>g/cm<sup>3</sup></b> | : Gamos sobre Centímetro cubico   |
| <b>GSI</b>              | : Geological Strength Index   |
| <b>ISRM</b>             | : International Society for Rock Mechanics.                                   |
| <b>ISRM</b>             | : Sociedad internacional de mecánica de rocas                                 |
| <b>Ja</b>               | : Factor de alteración de las discontinuidades                                |
| <b>JCS</b>              | : Joint Well Compressive Strength   |
| <b>Jn</b>               | : Numero de familia, sistema de discontinuidad                                |
| <b>Jr</b>               | : Factor de rugosidad de las discontinuidades                                 |
| <b>JRC</b>              | : Joint Roughness Coefficient   |
| <b>JV.</b>              | : Número de juntas por metro cubico   |
| <b>Jw</b>               | : Factor de reducción de las condiciones hidrológicos de las discontinuidades |



|                         |                                  |
|-------------------------|----------------------------------|
| <b>KN/m<sup>3</sup></b> | : Kilo Newton sobre Metro Cubico |
| <b>mm.</b>              | : Milímetro                      |
| <b>MPa</b>              | : Mega Pascal.                   |
| <b>N</b>                | : Norte.                         |
| <b>Ø</b>                | : Angulo de Fricción             |
| <b>RMR</b>              | : Rock Mass Rating               |
| <b>RQD</b>              | : Rock Quality Designation       |
| <b>RQD</b>              | : Rock Quality Designation       |
| <b>S</b>                | : Sur.                           |
| <b>SRF</b>              | : Factor de reducción            |
| <b>Tn/m<sup>3</sup></b> | : Tonelada sobre Metro cubico    |
| <b>UCS</b>              | : Uniaxial Compressive Strength  |
| <b>W</b>                | : Oeste.                         |



## RESUMEN

La presente investigación, EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA – SECTOR CRUZHUASA – CORANI – CARABAYA – PUNO, tramo 0+000 a 4+500.10, tuvo como objetivo evaluar las condiciones geotécnicas para la estabilidad de taludes en la trocha carrozable de la localidad de Acconsaya – Sector Cruzhuasa – Corani – Carabaya – Puno, para determinar las posibles fallas y tratamientos aplicados a taludes en rocas y suelos. Este método de investigación es descriptivo orientándose al análisis de estabilidad de taludes. Al realizar el estudio se han encontrado afloramientos de roca volcánica, observándose un cierto grado de alteración por la saturación de intensas precipitaciones pluviales en los taludes en suelo al analizar por el método de Hoek y Bray, en las progresivas 2+510 al 2+650, 2+700 al 2+900, 3+100 al 3+600, su condición es inestable, evaluando los resultados por la baja cohesión que tiene al saturarse por infiltración de agua. En la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, se han obtenido según el método de RMR de calidad de tipo II y III de buena a regular, para los de tipo II una cohesión promedio de 350 KPa y un ángulo de fricción o rozamiento interno promedio de 40°; para los de tipo III la cohesión promedio de 250 KPa y el ángulo de fricción o rozamiento interno. Para los macizos rocosos, fue realizado por el programa Slide y estereográfico, que se obtuvo los factores de seguridad (FS) que oscilan entre 0.921 y 1.423, lo cual nos refiere taludes inestables y con probabilidad de estabilidad. Los resultados que se obtuvieron han sido de gran importancia para analizar el comportamiento de los taludes.

**Palabras clave:** Ángulo de fricción, cohesión, estabilidad de taludes, factor de seguridad.



## ABSTRACT

The present investigation, GEOTECHNICAL EVALUATION FOR SLOPE STABILITY IN THE TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA - CRUZHUASA SECTOR - CORANI - CARABAYA - PUNO, section 0 + 000 to 4 + 500.10, aimed to evaluate the geotechnical conditions for slope stability in the float track of the town of Acconsaya - Sector Cruzhuasa - Corani - Carabaya - Puno, to determine the possible faults and treatments applied to slopes in rocks and soils. This research method is descriptive, oriented to the analysis of slope stability. When carrying out the study, volcanic rock outcrops were found, observing a certain degree of alteration due to the saturation of intense rainfall on the slopes on the ground when analyzing by the Hoek and Bray method, in the progressive 2 + 510 to 2 + 650 , 2 + 700 to 2 + 900, 3 + 100 to 3 + 600, its condition is unstable, evaluating the results due to the low cohesion it has when saturated by water infiltration. In the geomechanical characterization of the rocky masses, according to the RMR method of quality of type II and III of good to regular have been obtained, for type II an average cohesion of 350 KPa and an average friction angle or internal friction of 40 °; for type III the average cohesion of 250 KPa and the angle of friction or internal friction. For the rocky massifs, it was carried out by the Slide and stereographic program, which obtained the safety factors (FS) that oscillate between 0.921 and 1.423, which refers to unstable slopes and with probability of stability. The results obtained have been of great importance to analyze the behavior of the slopes.

**Keywords:** Friction angle, cohesion, slope stability, safety factor.





# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Las obras de infraestructura lineal de carreteras, canales, conducciones, explotaciones mineras, y en general cualquier construcción que requiera una superficie plana en una zona de pendiente, o alcanzar una profundidad determinada por debajo de la superficie, precisan la excavación de taludes. El diseño de taludes es uno de los aspectos más importantes de la geotecnia, pues está presente en la mayoría de las actividades constructivas o extractivas.

El enfoque de diseño en carreteras es proyectar taludes permanentes y seguros, los criterios de seguridad juegan un papel muy importante y fundamental, ya sea en suelos o rocas, pues la identificación de los modos de falla en un talud es primordial para realizar un posterior análisis de estabilidad, pues en el campo de las obras civiles surgen con frecuencia problemas relacionados con la inestabilidad de taludes.

En la ingeniería actual existe la tendencia de proyectar taludes cada vez más altos y con riesgos geológicos, siendo más frecuente el uso de técnicas que permitan determinar el factor de seguridad del talud en función de la caracterización geológica y los modos de rotura. los métodos estereográficos y de equilibrio límite son ampliamente utilizados en los análisis de estabilidad de taludes en macizos rocosos.

Los estudios y análisis de la estabilidad de taludes están dirigidos a conseguir un talud final económico y seguro, mediante las investigaciones de campo, análisis de laboratorio, evaluaciones técnicas, un apropiado programa de control en el terreno y experimentación. el interés de aplicación en cualquier obra civil o mina está en saber aprovechar las condiciones de las estructuras rocosas con relación a la estabilidad y la



interacción que existen con los programas de perforación; voladura, seguridad y medio ambiente.

### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El presente trabajo trata sobre la estabilidad de los taludes en proyectos de carreteras, ya que tiene que mantenerse estables a lo largo de muchos años, considerando el comportamiento de las laderas naturales o artificiales y los declives del terreno a los efectos del proceso de geodinámica externa.

En el campo de las obras civiles surgen con frecuencia, problemas geotécnicos relacionados con la estabilidad de taludes naturales o excavados. El éxito de las obras de estabilización de taludes depende en gran parte, de los estudios geológicos - geotécnicos del macizo rocoso y suelos.

Los efectos de derrumbes, deslizamientos de suelos y caída de bloques de roca, constituyen un problema de vital importancia en los cortes de talud en la construcción de carreteras, en varios sectores del territorio nacional se presentaron algunos problemas, por la morfología sumamente accidentada. Los deslizamientos y derrumbes, se desarrollan generalmente por la saturación del cuerpo de un talud (carreteras) por la fuerte pendiente del terreno (gravedad) y condiciones climáticas.

Para controlar o impedir estos procesos geodinámicos es de esperar que, en un futuro, se tome mayor interés en el estudio de los deslizamientos y derrumbes, comprometiendo la seguridad y estabilidad de las obras de ingeniería.

En la actualidad el uso de las clasificaciones geomecánicas tanto para trabajos superficiales y subterráneos, se ha incrementado en nuestro país, se debe aclarar que las clasificaciones geomecánicas si bien se puede considerar como una parte de la



caracterización geológica y geomecánica del macizo rocoso, de ningún modo pueden representar por sí solas a esta problemática ya que no incluyen en su análisis una variedad de parámetros que deben ser considerados para tener un pronóstico del comportamiento de estructuras de suelos y rocas.

En base a este contexto se hizo necesario la formulación y el siguiente planteamiento del problema:

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Pregunta general**

¿Qué características geotécnicas se puede esperar de los macizos rocosos y suelos para la estabilidad de Taludes en la Trocha Carrozable - Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya - Puno?

### **1.2.2. Preguntas específicas**

- ¿Cuáles son las condiciones geológicas de los macizos rocosos y suelos presentes en los Taludes de la Trocha Carrozable - Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya - Puno?
- ¿Qué características geomecánicas de rocas y suelos se encuentran en el área de estudio y cómo repercute en el comportamiento geotécnicos de los taludes?
- ¿Qué tipo de tratamiento se aplicará en los macizos de rocosos y suelos para mejorar las condiciones mecánicas y lograr su estabilización en los taludes inestables?



### **1.3. HIPÓTESIS**

#### **1.3.1. Hipótesis general**

En la evaluación geotécnica para la estabilidad de taludes en la trocha carrozable de la localidad de Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya - Puno, se logra determinar las posibles fallas y tratamientos aplicados a taludes en rocas y suelos.

#### **1.3.2. Hipótesis específicas**

- Al identificar las características geológicas en la trocha carrozable Acconsaya – Cruzhuasa, se reconoce las condiciones geológicas del área de estudio.
- Al evaluar las características geomecánicas de las rocas y suelos, se logra conocer el comportamiento geotécnico de los taludes.
- Realizado la evaluación geotécnica se propone el tipo de tratamiento para mejorar sus condiciones de estabilidad de los taludes.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar las condiciones geotécnicas para la estabilidad de taludes en la trocha carrozable de la localidad de Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya - Puno, para determinar las posibles fallas y tratamientos aplicados a taludes en rocas y suelos.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Identificar las condiciones geológicas en la trocha carrozable de la localidad de Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya - Puno.



- Evaluar las características geomecánicas de las rocas y suelos para conocer el comportamiento geotécnico de los taludes.
- Determinar el tipo de tratamiento para mejorar sus condiciones de estabilidad de los taludes con probables fallas.

### **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación sobre condiciones geotécnicas para la estabilidad de taludes en la trocha carrozable de la localidad de Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya - Puno, es el interés principal y parte del problema que atraviesan actualmente en la superficie terrestre, de ellos se obtienen los parámetros geotécnicos que definen las condiciones del terreno en donde se realizaran los procesos constructivos ingenieriles.

El presente estudio es necesario para conocer en detalle el mecanismo de rotura de las estructuras rocosas y suelos, para realizar los análisis de estabilidad de los taludes. Las evaluaciones son aplicadas a macizos rocosos y suelos inestables, con deslizamientos o fallas después del corte realizado, siempre que la velocidad de los movimientos sea suficientemente lenta para permitir las diferentes alternativas de corrección de las probables fallas o roturas en los taludes.

A lo largo de la trocha carrozable esta propenso a sufrir roturas o fallas en los taludes en roca o suelo, sobre todo en épocas de avenidas. No se tiene información de ningún trabajo de este tipo realizado en la zona, por lo cual se justifica la realización de un estudio con la finalidad de obtener parámetros geotécnicos que puedan ayudar a tomar alternativas de solución de estos problemas.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Vilca y Calli (2017) en la tesis “EVALUACIÓN DE PROBLEMAS GEOTÉCNICOS EN VÍA TROCHA CARROZABLE AYAPATA - CAMATANI”

Presentan las siguientes conclusiones; la aparición de problemas concernidos con la naturaleza y las tipologías del terreno, que se ocasiona en la construcción de carreteras, alteran inevitablemente en medio y pueden ocasionar significativos problemas geotécnicos, que es necesario abordarlo y es precisamente lo que se genera en el proceso del presente trabajo. El tramo en estudio está expresado a la vía Ayapata – Camatani, entendiéndose que el tramo Ayapata – Camatani es una vía de trocha carrozable; el referido tramo al ser construido, indudablemente ha modificado en su recorrido la geología natural de la zona. En el proceso de construcción en las diversas actividades de construcción; específicamente en el diseño y la construcción se ha generado problemas geotécnicos que atentan contra la estabilidad de la vía; estos problemas geotécnicos generados serán ubicados e identificados. Los problemas geotécnicos identificados en el presente proyecto son; Excedentes de excavaciones y rellenos, inestabilidad y erosión de taludes. Estos se planteará su tratamiento y seguidamente medidas de mitigación con el fin de proteger y garantizar la vía en estudio. Finalmente se manifiesta que estos problemas geotécnicos generados fueron por el diseño deficiente y los procesos constructivos mal efectuados; donde no se tuvo acciones en la actualidad pueden efectuarse a fin de garantizar la plena estabilidad de la vía.

Cosillo (1999) en su tesis “CONSIDERACIONES GEOLÓGICO - GEOTÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE TALUDES EN MACIZOS ROCOSOS”



En sus conclusiones menciona. – Conclusión 1: “La estabilidad de taludes rocosos depende en gran parte de la existencia, distribución espacial y naturaleza de planos defectuosos o discontinuidades dentro del macizo rocoso. – Conclusión 2: “El propósito de la recolección de datos estructurales es definir la geometría del macizo rocoso para promover una base para la escogencia más apropiada del modo de ruptura del macizo. Esta es una de las más importantes decisiones de todo el proceso de la investigación de la estabilidad de taludes, ya que la escogencia incorrecta del modo de ruptura invalidaría el análisis realizado”. - Conclusión 3: “La utilización de la platilla estereográfica, tiende a simplificar el análisis de tipo de falla de los diversos tipos de falla en macizos rocosos, por lo que se recomienda su utilización”.

Molina (2004) en su tesis “ESTUDIO DE ESTABILIDAD Y TRATAMIENTO DE DESLIZAMIENTOS – CANCHARANI - PUNO”.

En cuyas conclusiones indica lo siguiente: Conclusión 1: La pendiente del terreno no es preponderante en la desestabilización del talud. Conclusión 2: La infiltración de agua en el talud es uno de los principales factores desestabilizantes del talud. Conclusión 3: La inestabilidad del talud es gobernada fundamentalmente por parámetros geotécnicos. Conclusión 4: La acción del sismo y la baja resistencia del suelo al cortante contribuyen adicionalmente al desequilibrio del talud. Conclusión 5: Es necesario la ejecución de obras civiles con la finalidad de corregir la inestabilidad del talud, evitando el flujo del agua a la zona de deslizamiento con la construcción de un canal de coronación; la construcción de drenes subterráneos con la finalidad de deprimir nivel freático y la presión ejercida por el agua al suelo, así como la corrección del perfil del talud efectuando cortes de material en los perfiles transversales, con la finalidad de aminorar las fuerzas motoras del talud (Molina, 2004).



Carnero (2011) en su tesis “ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA CARRETERA: PATAHUASI - YAURI - SICUANI TRAMO: EL DESCANSO - LANGUI”

Concluye en lo siguiente: Conclusión 5: El factor de seguridad adoptado es de 1.30 para el cálculo estático y de 1.00 para el cálculo pseudoestático realizado con el programa (software) “slide” versión 5.0, utilizando los métodos de Janbu Simplificado y de Bishop Simplificado, y su comprobación con el método de Hoek Bray. Conclusión 7: La combinación de la pérdida de presiones efectivas verticales, unido al relajamiento de las tensiones horizontales y la existencia de presiones hidrostáticas producidas por la saturación, pueden provocar el efecto de rotura progresiva. Conclusión 8: El afloramiento de riodacita porfirítica ha permitido la toma de datos estructurales y realizando el análisis cinemático para determinar la estabilidad del talud, con lo cual se determinó que no existe ningún tipo de falla que podría ocurrir en el talud, salvo algunos desprendimientos de pequeños bloques, lo cual requiere un buen desatado (Carnero, 2011).

Rodriguez *et al.* (2003) en su tesis “EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA MINA LOURDES”.

En sus conclusiones menciona. - Conclusión 3: “Se levantó información estructural mediante línea de detalle; determinándose como el sistema de discontinuidades más desfavorable, en la cantera Lourdes, Configurando el riesgo potencial de una inestabilidad por falla de corte plana. El análisis de estabilidad se desarrolló utilizando el método de equilibrio límite”.

García (2005) en su tesis “ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN MACIZOS ROCOSOS APLICANDO EL MÉTODO DE ELEMENTOS DISTINTOS”.





En sus conclusiones menciona. - Conclusión 5: “los factores de mayor influencia en la inestabilidad del talud sureste de la mina Cuajone son la geometría del talud (altura y ángulo de inclinación), las estructuras geológicas, el nivel freático y el factor sísmico (García, 2005).

Rodriguez (2014) en su artículo “PROBLEMAS ESTRUCTURALES Y LA ESTABILIDAD DE LOS MACIZOS ROCOSOS”.

En sus conclusiones menciona. – Conclusión 1: “La evaluación de problemas estructurales en macizos rocosos, mediante proyección estereográfica, es un medio conveniente en la identificación de direcciones dominantes de discontinuidades”.  
Conclusión 3: “La representación estereográfica permite verificar las relaciones angulares entre las direcciones dominantes de las discontinuidades y el talud propuesto”.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Estabilidad de taludes**

Gonzales (2011) indica:

La estabilidad de un talud depende en general de factores propios de los materiales constitutivos, tales como su naturaleza, estructura, estratigrafía, condiciones de meteorización, y de todo un conjunto de circunstancias externas al propio talud o ambientales, como la topografía de la zona, el clima, la vegetación. Las condiciones de régimen hidráulico superficial son vitales, así como la gravedad que actúa siempre como factor desequilibrante. Siempre que la gravedad esté compensada con la resistencia del terreno, el talud estará en equilibrio, por el contrario, cuando el equilibrio se rompa se producirá una inestabilidad de la masa en forma de deslizamientos, avalanchas, desprendimientos.



Hoek y Bray (1981) mencionan:

No hay duda de que el talud constituye la estructura más compleja de las vías terrestres; eso es preciso analizar la necesidad de definir criterios de estabilidad de taludes entendiéndose, por tales algo tan simple como el poder decir en un instante dado cuál será la inclinación apropiada en un corte. A diferentes inclinaciones del talud corresponden diferentes masas de material térreo por mover y por lo tanto, diferentes costos. Las fallas en taludes en roca se pueden producir a lo largo de las discontinuidades o planos de debilidad, en los problemas de estabilidad de taludes en roca la falla real o superficie de deslizamiento depende de la orientación espacial, la frecuencia y distribución de las discontinuidades, la resistencia al corte a lo largo de las discontinuidades. Tras el corte, la formación rocosa geológica se desbloquea, lo que resulta en el deslizamiento.

Eberhardt (2003) indica que:

El campo de la 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, siendo un aspecto directamente relacionado con la ingeniería geológica - geotécnica. Cuando el coeficiente de seguridad de un talud bien calculado sea inferior a 1, es probable que se produzca su falla o deslizamiento. Los taludes naturales, los problemas existentes son mayores, dados por las fallas del terreno, los tipos de suelos, la inclinación de su pendiente natural, la napa freática y el clima de la zona. Hablando sobre vidas humanas y pérdidas económicas, los deslizamientos de taludes son los hechos más costosos para un proyecto.



### 2.2.2. Condiciones de estabilidad del corte identificadas en campo

Ramírez & Alejano (2004) mencionan:

Tras los reconocimientos generales y las investigaciones previas para la detección de deslizamientos, los reconocimientos de campo tienen como finalidad la identificación del tipo y causas del movimiento. En este apartado se tratará sobre las evidencias y señales en el campo para el reconocimiento de deslizamientos y la identificación del tipo de movimiento general. En numerosas ocasiones la presencia de grietas puede ser la que lleva a la localización de los movimientos, así como a su identificación, si estas se saben interpretar correctamente. La interpretación visual en las visitas de campo suele ser de gran importancia, pues con base en los conocimientos por experiencias anteriores se pueden obtener una serie de datos que permiten deducir la respuesta del terreno a través del tiempo o ante una obra determinada. Es una parte demasiado significativa para poder asignar una cierta prioridad de mantenimiento a cada corte evaluado. Las condiciones de estabilidad tienen que expresarse con base en el comportamiento del talud de corte, obtenido de un conjunto continuo y suficientemente detallado de interpretaciones cualitativas y subjetivas a base de mediciones de campo. Las características observadas en campo serán la parte más importante para poder clasificar las fallas de los diferentes cortes (Ramírez & Alejano, 2007).

Al investigar las causas de falla y poder cuantificar los parámetros que determinan la estabilidad de un talud, diagnosticar y diseñar las obras de estabilización, se recomienda realizar un estudio que incluye las siguientes etapas:

- Reconocimiento e identificación del área a evaluar.
- Análisis de la información existente.



- Estudio de características superficiales del sitio que permitan la caracterización topográfica y geotécnica.
- Investigación de campo que incluye sondeos, toma de muestras, y ensayos in situ para cuantificar los parámetros del suelo.
- Investigación de laboratorio.
- Análisis de la información obtenida, modelación matemática y diseño.

### **2.2.3. Caracterización geológica**

Gonzales (2011) indica:

La caracterización geológica de macizos rocosos está en relación con la estabilidad de taludes de corte principalmente, en este contexto el macizo rocoso comprende el conjunto del material rocoso, es decir, la sustancia rocosa misma, y las discontinuidades geológicas que aíslan los bloques o fragmentos de roca que lo conforman.

En un macizo rocoso que no tuviera planos estructurales, podría mantenerse este estable, pero en el caso particular de que la roca este intensamente fracturada pueden desarrollarse fallas de tipo rotacional o semejante. Las características de resistencia y deformabilidad de los macizos rocosos dependen fundamentalmente entonces, de las características de las discontinuidades estructurales, las cuales actúan como planos débiles. Esta condición es particularmente cierta en el caso de excavaciones abiertas, como las excavaciones viales o mineras superficiales, realizadas en rocas duras.

Dentro del trabajo de campo se evalúan los macizos rocosos geológicamente que muestran condiciones de inestabilidad en forma longitudinal y transversal para obtener



los datos correspondientes de los desplazamientos, datos estructurales de fallas, fracturas, diaclasamiento y litología; después de realizar las mediciones pertinentes se identificaron las zonas críticas para su posterior tratamiento.

#### **2.2.4. Caracterización geomecánica**

La caracterización geomecánica es la disciplina que estudia las características físicas y mecánicas de los materiales geológicos que conforman macizos rocosos y suelos. La geomecánica utiliza resultados experimentales realizados in-situ y laboratorio conjuntamente con soluciones analíticas para resolver problemas geotécnicos que se presentan en el terreno de fundación de una determinada obra civiles, es posible establecer algunas propiedades geomecánicas del macizo rocoso o suelo, para analizar la estabilidad del talud (Gonzales, 2011).

#### **2.2.5. Mecánica de rocas**

Es la ciencia teórica y aplicada que trata del comportamiento mecánico de las rocas, es la rama de la mecánica que estudia la reacción de las rocas a los campos de fuerza de su entorno físico. Se define también como la ciencia que estudia el comportamiento mecánico de las masas rocosas que se encuentran bajo la acción de fuerzas producidas por fenómenos naturales (vulcanismo, tectónica de placas, flujo o presencia de agua), o impuestas por el hombre (cimentaciones, excavaciones, voladuras) (Gonzales, 2011).

Sotelo (1997) Afirma que:

La mecánica de rocas como la mayor parte de otras disciplinas de las ciencias de la tierra, encuentra su origen por una parte en la búsqueda de la explicaciones cualitativas y cuantitativas de los fenómenos naturales observados con minuciosidad por el naturalista



y por en la actividad industriosa de los ingenieros investigando las mejores soluciones técnicas para definir y controlar el comportamiento del terreno en los trabajos de exploración de recursos naturales y en obras civiles.

Para lograr la solución de problemas en este campo es necesario el conocimiento de:

- La deformabilidad de los macizos rocosos, así como la relación entre esfuerzo-deformación.
- La resistencia de los macizos rocosos, así como las condiciones provocan su ruptura.
- El estado de esfuerzo inicial o residual al que se encuentra sometido el macizo rocoso.
- Los estados de esfuerzos que se desarrollan en el macizo, en virtual de las sollicitaciones (estáticas y/o dinámicas) aplicadas, incluidas las debidas a flujo de agua.

#### **2.2.6. Caracterización geológica**

La caracterización geológica debe permitir no solo definir la geometría de superficie, en lo que dice relación con los contactos entre los diversos entre geológicos, sino también permitir una definición de los distintos tipos de unidades geotécnicas básicas que aparecen en el área de investigación, la preparación de modelo es fundamental para el proceso de diseño del talud y requiere un entendimiento básico de los conceptos esenciales de la geología física (González *et al.*, 2006).



Suarez (2015) recomienda hacer una descripción geológica local ya que muchos estudios de ingeniería de rocas no consideran esta importante fase, y saltan de la fase de la descripción geológica regional hacia la fase de investigación de ingeniería, situación que hace perder valiosa información al nivel de escala necesaria, que será de gran utilidad para entender el estado de conservación del macizo rocoso y en especial la configuración de las discontinuidades.

### **2.2.7. Litología**

Gonzales (2011) recomienda hacer una descripción breve de la geología que explica los tipos de roca que aparecen en el área de interés. Una descripción breve de cada tipo de roca, con énfasis en sus características típicas como material pétreo (dureza, degradabilidad, etc.). Estimación del posible error en la posición de los contactos litológicos.

La buena descripción de los suelos y rocas presentes es uno de los factores más importantes para una buena investigación y esta debe hacerlo un profesional muy calificado y con gran experiencia. Desafortunadamente, existen diferentes esquemas de descripción que varían no solamente en los términos utilizados sino también en la definición de cada uno de ellos.

### **2.2.8. Caracterización estructural**

Suarez (2015) indica:

El análisis estructural procura representar la orientación espacial de las diferentes estructuras geológicas, con el objetivo de entender los mecanismos de deformación en el área de investigación y también pudiéndose definir una distribución de tensiones que originan las tensiones. El objetivo principal de hacer un levantamiento geotécnico, con



datos geológicos y estructurales, las estructuras presentes en el macizo rocoso y obtener la orientación de todas las estructuras geológicas como fallas, juntas diques, brechas, discontinuidades, grietas de tracción, entre otras para posteriormente, con la información se realicen análisis de cinemático para resolver problemas estructurales.

### **2.2.9. Macizos rocosos**

Gonzales & Ferrer (2007) indica:

Se conoce cuando las masas rocosas se presentan en la naturaleza afectadas por una serie de planos de discontinuidad o debilidad que separan bloques de matriz rocosa.

$$\textit{Maciso Rocos}o = \textit{Matriz Rocosa} + \textit{Discontinuidades}$$

La caracterización del comportamiento mecánico de la masa rocosa y sus componentes; como componente de un sistema de información geomecánica, se determina mediante los ensayos de laboratorio y ensayos in-situ, cuyo objetivo es la determinación de las propiedades físico-mecánicas de la roca y minerales y el monitoreo de la masa rocosa.

### **2.2.10. Matriz rocosa**

Es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de roca intacta que quedan entre ellos. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su estructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su densidad, resistencia y deformabilidad (González *et al.*, 2006).

Para determinar las propiedades físicas de la matriz rocosa existen una serie de parámetros que se emplean para la identificación y descripción cuantitativa de las propiedades básicas de las rocas y permiten, así mismo, establecer una primera



clasificación con fines geotécnicos. Estas propiedades, serán las que determinen en primera instancia, junto con la composición mineralógica y la estructura, las propiedades y el comportamiento mecánico de la matriz rocosa. En el cuadro se incluye una lista de todas ellas y los métodos para su evaluación (Gonzales, 2011).

### **2.2.11. Discontinuidad**

Gonzales (2011) indica:

Se conoce como discontinuidad a cualquier corte (fisuras, grietas, fracturas, etc.) en el macizo rocoso con resistencia a la tracción nula o muy baja. La presencia de discontinuidades (superficies de estratificación, juntas, fallas, diques, etc.) rompe la continuidad de las propiedades mecánicas de los bloques rocosos, confiriendo al macizo un comportamiento geomecánico e hidráulico discontinuo, condicionado por la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad.

- **Influencia de las discontinuidades en el comportamiento del macizo rocoso,**  
Las superficies o planos de discontinuidad de los macizos rocosos condicionan de una forma definitiva sus propiedades y comportamiento resistente, deformacional e hidráulico. Las discontinuidades imprimen un carácter discontinuo y anisótropo a los macizos, haciéndolos más deformables y débiles, lo que supone una gran dificultad para evaluar el comportamiento mecánico de los mismos frente a las obras de ingeniería. Las discontinuidades representan planos preferentes de alteración, meteorización y fractura, y permiten el flujo de agua. Su reconocimiento, descripción y caracterización es fundamental para el estudio del comportamiento mecánico e hidrogeológico del macizo rocoso. La estabilidad de las excavaciones superficiales o subterráneas para taludes depende de la orientación y de la resistencia de las discontinuidades. La orientación relativa de



las discontinuidades con respecto a una instalación u obra de ingeniería (excavación, cimentación, etc.) puede suponer que el terreno sea o no estable. En el caso de excavaciones en superficie, para una misma configuración del macizo rocoso. La estabilidad del talud depende de su orientación con respecto a las discontinuidades; en una presa de bóveda, la presencia de discontinuidades paralelas a la dirección de la resultante de las fuerzas que transmiten la presa y el agua puede dar lugar a problemas de estabilidad; en el caso de un túnel, las discontinuidades con dirección paralela a su eje y con buzamientos elevados e son igualmente desfavorables. La importancia de la orientación aumenta si se dan otras características, como un número importante de juntas, espaciados pequeños, bajos ángulos de rozamiento, etc. La presencia de diversas familias de discontinuidades con diferente orientación define el grado de fracturamiento del macizo rocoso, la forma y el tamaño de los bloques de matriz rocosa.

- **Tipos de discontinuidades**, El termino discontinuidad hace referencia a cualquier plano de separación en el macizo rocoso, pudiendo tener origen sedimentario, como las superficies de estratificación o laminación, diagenetico o tectónico, como las diaclasas. Mientras que las familias quedan caracterizadas por la orientación estadística referida a una orientación media y por sus características generales, las discontinuidades singulares requieren una descripción y un tratamiento individualizado. Pueden llegar a controlar el comportamiento mecánico del macizo por encima de la influencia de las discontinuidades sistemáticas. Afectan a cualquier tipo de roca, atendiendo a su origen se distinguen varios tipos:
- Diaclasas de origen tectónico asociadas a plegamientos y a fallas. En el primer caso presentan una disposición característica. Las diaclasas asociadas a fallas se



- disponen paralelamente a la superficie de falla y con una frecuencia que disminuye al aumentar la distancia a la misma.
- Diaclasas en rocas ígneas formadas por contracción durante o después del emplazamiento del cuerpo ígneo. Presenta una disposición característica en tres familias ortogonales entre si. Un ejemplo de juntas de contracción por enfriamiento corresponde a las que se forman en las lavas basálticas, dando lugar a la disyunción columnar.
  - Diaclasas de relajación debidas a una reducción de la carga litostática. Se disponen subparalelamente a la superficie topográfica y su frecuencia disminuye en profundidad.
  - **Características de las Discontinuidades**, En la descripción de las diferentes familias de discontinuidades en un macizo rocoso se incluyen las siguientes características y parámetros geométricos: orientación, espaciado, continuidad o persistencia, rugosidad, abertura, relleno, filtraciones y resistencia de las paredes. Algunos de ellos, como la rugosidad, abertura, relleno y resistencia de las paredes, determinan el comportamiento mecánico y la resistencia de los planos de discontinuidad. La descripción y medidas de estos parámetros se realizan en campo.
  - La orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su buzamiento y por su dirección de buzamiento. La determinación de la orientación media de cada familia se establece a partir de valores estadísticos representativos. La representación gráfica de las discontinuidades o de su orientación permite una visión general e la geometría de los conjuntos rocosos. Los bloques diagrama representan tridimensionalmente la distribución de los planos, y se puede



visualizar de una forma sencilla la orientación del fracturamiento con respecto a una obra o estructura.

- La orientación generalmente no puede determinarse en sondeos, siendo necesarias técnicas especiales, utilizadas de forma muy ocasional. El espaciado es la distancia media perpendicular entre los planos de discontinuidad de una misma familia.
- El espaciamiento, es la distancia media perpendicular entre los planos de discontinuidad de una misma familia. Influye en el comportamiento global de macizo rocoso y define el tamaño de los bloques de matriz rocosa que forman las diferentes familias. Si los espaciados son pequeños, la resistencia del macizo rocoso disminuye de forma considerable, pudiendo en casos extremos presentar un comportamiento asimilable al de materiales granulares sin cohesión. El espaciado entre discontinuidades juega un papel muy importante en la permeabilidad del macizo rocoso. En general, la conductividad hidráulica referida a una determinada familia es inversamente proporcional a su espaciado, siempre que la abertura de las discontinuidades individuales sea comparable.
- La persistencia es la extensión del plano de discontinuidad. Define en gran parte si la matriz rocosa va a estar involucrada o no en los procesos de rotura del macizo rocoso. Y en qué grado condiciona los parámetros resistentes globales del mismo.
- La rugosidad de un plano de discontinuidad determina su resistencia al corte. A mayor rugosidad mayor es la resistencia. La presencia de irregularidades dificulta el movimiento durante los procesos de desplazamiento tangencial por corte a favor de las discontinuidades. La rugosidad en los planos puede controlar las posibles direcciones de desplazamiento, y definen la resistencia al corte para las distintas

direcciones: la resistencia puede ser muy variable según la dirección de movimiento coincida con la de las rugosidades o sea transversales a ella.

- La apertura o abertura, es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. Este parámetro puede sufrir gran variación en diferentes zonas del macizo rocoso: mientras que en superficie la abertura puede ser elevada, al aumentar la profundidad esta se reduce, pudiendo llegar a cerrarse. La influencia de la abertura en la resistencia al corte es importante incluso en discontinuidades muy cerradas, al modificar las tensiones efectivas que actúan sobre las paredes.



**Figura 1.** Descripción de las condiciones de las discontinuidades

### 2.2.12. Meteorización de los macizos rocosos

Gonzales (2011) indica:

Los procesos de meteorización que actúan sobre el macizo rocoso afectan tanto a los bloques de matriz rocosa como a los planos de debilidad o discontinuidad existentes.



Como consecuencia de la meteorización mecánica o física de los macizos rocosos se pueden abrir las discontinuidades existentes o crearse otras nuevas por fractura de la roca, al romperse los contactos entre granos o producirse la rotura de los minerales de la matriz rocosa. Las discontinuidades son caminos preferentes para el agua, contribuyendo a incrementar la meteorización física y química. Algunos tipos de roca se meteorizan rápidamente cuando entran en contacto con el aire, afectando a tres parámetros.

El producto final de la meteorización en situ de los macizos son los suelos residuales. En ocasiones se denomina saprofito o regolito al macizo rocoso meteorizado que conserva la estructura rocosa, aunque la composición de la roca matriz se haya alterado y tenga menos resistencia que la roca sana, pudiendo presentar, además de las discontinuidades originales del macizo, otros planos de debilidad por alteración preferencia. Según el grado de meteorización pueden conservar los bloques de matriz rocosa o presentar un comportamiento de suelos. Las diferentes litologías son afectadas desigualmente por los procesos de meteorización, siendo estos más intensos cuanto mayor es el tiempo de exposición a los agentes atmosféricos.

### **2.2.13. Meteorización de la matriz rocosa**

Gonzales (2011) indica:

La meteorización física de la matriz rocosa da lugar a exfoliación por planos de direcciones preferentes, apertura de micro discontinuidades por hielo o por crecimiento de sales, cambios de volumen por cambios de humedad o temperatura, etc. Alteración natural de los materiales rocosos por agentes atmosféricos, que conlleva procesos físicos de disgregación y químicos de descomposición. Desintegración y descomposición de rocas y minerales en la superficie terrestre como resultado de procesos físicos, químicos y biológicos.



#### **2.2.14. Resistencia de los macizos rocosos**

Gonzales (2011) indica:

El comportamiento de las rocas, están definidas por su resistencia y su deformabilidad. La resistencia, se conoce como el esfuerzo que soporta una roca para determinadas deformaciones. Cuando la resistencia se mide en probetas de roca sin confinar se denomina resistencia a compresión simple, y su valor se emplea para la clasificación geotécnica de las rocas (mediante ensayo uniaxial). Así de una forma indirecta los ensayos de compresión miden la resistencia al corte de las rocas.

La resistencia de los macizos rocosos es función de la resistencia de la matriz rocosa y de las discontinuidades, siendo ambas extremadamente variables, y de las condiciones geoambientales a las que se encuentra sometido el macizo, como las tensiones naturales y las condiciones hidrogeológicas.

La naturaleza de la resistencia de la roca se caracteriza por ser de una gran complejidad y su magnitud puede variar en grandes límites, en dependencia de una serie de factores:

- Tamaño de los granos componentes
- Tipo y composición del cemento mineral
- Porosidad
- Humedad
- Grado de saturación
- Existencia de superficies de debilitamiento



- Grado de deterioro y
- Tamaño y forma de las muestras ensayadas.

### **2.2.15. Los criterios de rotura**

Gonzales (2011) menciona:

También conocida de resistencia, constituyen la base de los métodos empíricos, y permiten evaluar la resistencia de los macizos rocosos a partir de los esfuerzos actuantes y de las propiedades del material rocoso, proporcionado:

- La respuesta de la roca intacta ante diversas condiciones de esfuerzos
- La predicción de la influencia de las discontinuidades en el comportamiento del macizo.
- La predicción del comportamiento global de un macizo rocoso.

En el caso de una fracturación intensa el grado de imbricación de bloques y sus posibilidades de movimiento juegan un papel importante, pudiendo adoptarse la hipótesis de rotura circular. Los cálculos de estabilidad de equilibrio límite (basados en la mecánica de los sólidos no deformables) se pueden aplicar para los diferentes tipos de roturas indicadas.

### **2.2.16. Criterios de rotura para macizos rocosos**

#### **2.2.16.1. Criterio de HOEK y BROWN**

Es un criterio de rotura válido para macizos rocosos isótropos, y tiene en cuenta los factores que determinan la rotura de un medio rocoso a gran escala, como son la no linealidad con el nivel de tensiones, la influencia del tipo de roca y del estado del macizo,



la relación entre la resistencia a la compresión y a la tracción, la disminución del ángulo de rozamiento con el aumento de la tensión de confinamiento, etc. (Gonzales, 2011).

El criterio fue desarrollado inicialmente para su aplicación a macizos rocosos fracturados sin alterar con matriz rocosa resistente, asumiendo que los bloques de roca están en contacto unos con otros y que la resistencia del macizo esta controladas por la resistencia de las discontinuidades. La resistencia del macizo queda definida por la expresión (Hoek & Brown, 1980).

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \left( \sigma_{ci} * \left( m * \left( \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} \right) + s \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

Donde:

- $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  : Esfuerzos principal mayor y menor en rotura.
- $\sigma_{ci}$  : Resistencia a compresión simple de la matriz rocosa.
- $m$  y  $s$  : Constantes adimensionales que dependen de las propiedades del macizo rocoso del tipo de roca y de la frecuencia y características de las discontinuidades.

Los valores de  $m$  y  $s$ , se pueden obtenerse a partir del índice RMR:

- Para macizos rocosos sin alterar y no afectados por voladuras (undisturbed):

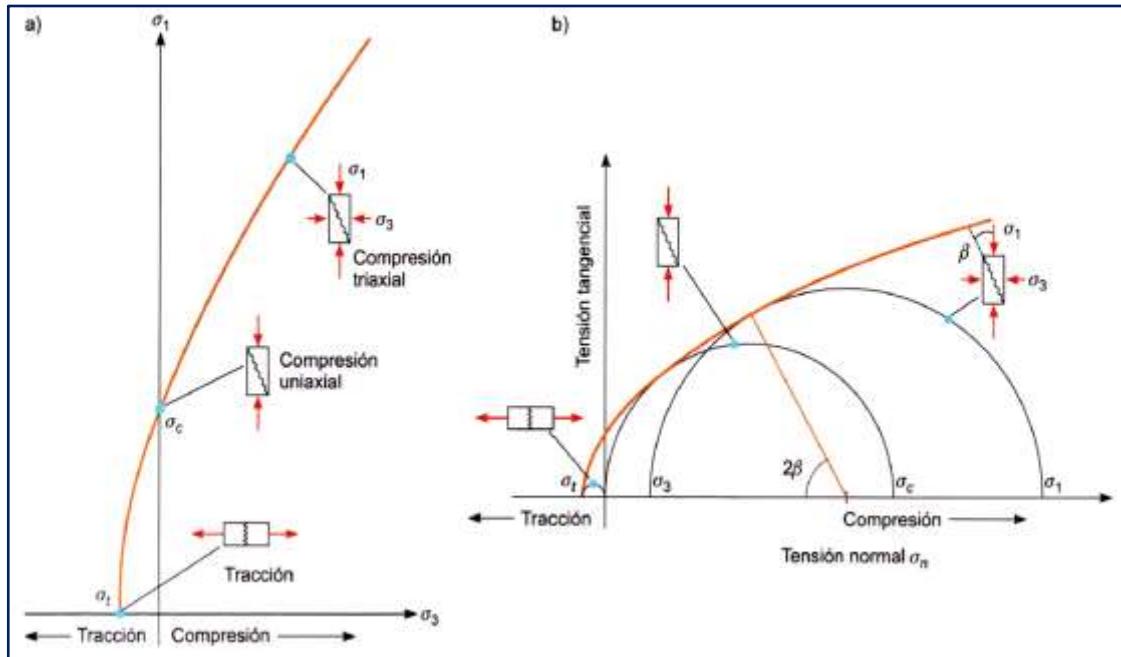
$$m = m_i * e^{\frac{RMR-100}{28}}$$

$$s = e^{\frac{RMR-100}{9}}$$

- Para macizos rocosos alterados o afectados por voladuras (disturbed):

$$m = m_i * e^{\frac{RMR-100}{14}}$$

$$s = e^{\frac{RMR-100}{6}}$$



**Figura 2.** Envolturas de rotura de Hoek y Brown en función de los esfuerzos principales (a) y de los esfuerzos normal y tangencial (b)

### 2.2.16.2. Criterio de MOHR-coulomb

La ventaja del criterio de Mohr-Coulomb es su simplicidad. Sin embargo, presenta los inconvenientes, sobre todo los relacionados con el comportamiento tensión-deformación no lineal de los macizos rocosos, por lo que no es un criterio adecuado para la estimación de su resistencia. No obstante, en determinados casos el criterio puede ser empleado para macizos rocosos resistentes en los que la rotura se produzca a favor de superficies de discontinuidad, teniendo en cuenta que deben adoptarse valores para la cohesión y para el Angulo de rozamiento representativo del macizo rocoso. Bieniawski (1989) propone unos valores orientados para ambos parámetros, en función de la calidad del macizo rocoso dada por el índice RMR.



### **2.2.17. Filtraciones de agua en las discontinuidades**

Ramirez & Alejano (2004) menciona:

Generalmente, la circulación de agua en los macizos rocosos se realiza a lo largo de las discontinuidades (permeabilidad secundaria), excepto en las rocas sedimentarias con un alto índice de poros, en las cuales el agua circula por la propia roca (permeabilidad primaria). Esta permeabilidad necesita que los estratos permeables conecten unos con otros, frecuentemente a través de discontinuidades. La permeabilidad secundaria es más propia de los macizos de rocas ígneas y metamórficas. Por lo que se acaba de exponer, la permeabilidad en los macizos rocosos suele ser muy anisotrópica.

### **2.2.18. Clasificaciones geomecánicas**

Gonzales (2011) indica que:

Los macizos rocosos, como medios discontinuos, presentan un comportamiento geomecánico complejo que, de una forma simplificada puede ser estudiado y categorizado en función de su actitud para distintas aplicaciones. Las clasificaciones geomecánicas, que aportan, mediante la observación directa de las características de los macizos rocosos y la realización de sencillos ensayos, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo y sus características frente a los sostenimientos de túneles y taludes y la excavabilidad de las rocas, entre otros.

### **2.2.19. Clasificación RMR**

Las clasificaciones geomecánicas más utilizadas en la actualidad son la RMR y la Q; la primera se emplea tanto para la caracterización de los macizos rocosos y sus propiedades en la estabilidad de la estructura rocosa. La clasificación Q se emplea casi exclusivamente para túneles.



Esta clasificación geomecánica se basa en el índice RMR “Rock Mass Rating”, que da una estimación de la calidad del macizo rocoso, desarrollado por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles. Existen factores que cuantifican mediante una serie de parámetros, definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el índice de Calidad del RMR que varía entre 0- 100. Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa
- Grado de fracturamiento en términos del RQD
- Espaciado de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Condiciones hidrogeológicas
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

Los objetivos de esta clasificación son:

- Determinar y/o Estimar la calidad del macizo rocoso.
- Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
- Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.

- Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.

| Parámetros                     | ESCALA DE VALORES                 |  |   |  |   |   |                           |                          |
|--------------------------------|-----------------------------------|--|---|--|---|---|---------------------------|--------------------------|
|                                | Carga Puntual                     | 80 kg/cm <sup>2</sup>                                      | 40-80 kg/cm <sup>2</sup>                                      | 20-40 kg/cm <sup>2</sup>                                       | 10-20 kg/cm <sup>2</sup>  | 10 kg/cm <sup>2</sup>   |                           |                          |
| Resistencia de la roca intacta | A Compresión Simple               | 2000 Kg/cm <sup>2</sup>                                    | 1000 - 2000 Kg/cm <sup>2</sup>                                | 500 - 1000 Kg/cm <sup>2</sup>                                  | 250 - 500 kg/cm <sup>2</sup>  | 100-250 kg/cm <sup>2</sup>  | 30-100 kg/cm <sup>2</sup> | 10-30 Kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>VALOR</b>                   |                                   | <b>15</b>  | <b>12</b>   | <b>7</b>   | <b>4</b>  | <b>2</b>  | <b>1</b>                  | <b>0</b>                 |
| R.Q.D.                         |                                   | 90-100%  | 75-90%  | 50-75%   | 25-50%  | 25%   |                           |                          |
| <b>VALOR</b>                   |                                   | <b>20</b>  | <b>17</b>   | <b>13</b>  | <b>8</b>  | <b>3</b>  |                           |                          |
| Espaciado de Juntas            |                                   | 3 m  | 1 - 3 m   | 0.3 - 1 m  | 50-300 mm   | 50 mm   |                           |                          |
| <b>VALOR</b>                   |                                   | <b>30</b>  | <b>25</b>   | <b>20</b>  | <b>10</b>   | <b>5</b>  |                           |                          |
| Condición de Juntas            |                                   | Muy rugosas sin continuidad cerradas. Paredes de roca dura | Ligeramente rugosa < 1 mm. de separación Paredes de roca dura | Ligeramente rugosa < 1 mm. de separación Paredes de roca suave | Espejo de falla o relleno de espesor < 5mm ó abiertos 1-5mm Fisuras Continuas | relleno blando de espesor < 5mm. ó abiertas < 5 mm. fisuras continuas |                           |                          |
| <b>VALOR</b>                   |                                   | <b>25</b>  | <b>20</b>   | <b>12</b>  | <b>6</b>  | <b>0</b>  |                           |                          |
| Aguas Subterráneas             | Cant. Infiltración 10 m. de túnel | Ninguna  |   | 25 litros/min  | 25-125 litros/min   | >125 litros/min.  |                           |                          |
|                                | Presión de agua                   |  |   |  |   |   |                           |                          |
|                                | Esfuer. principal                 | Cero   |   | 0.0-0.2  | 0.2-0.5   | 0.5   |                           |                          |
|                                | Situación General                 | Totalmente Seco  |   | Solo húmedo agua interst.                                      | Ligera presión de agua  | Serios problemas de agua  |                           |                          |
| <b>VALOR</b>                   |                                   | <b>10</b>  |   | <b>7</b>   | <b>4</b>  | <b>0</b>  |                           |                          |

**Figura 3.** Parámetros de calificación de RMR

Fuente: Bieniawski (1979).

El valor del RMR resulta por la sumatoria de los valores numéricos que es asignado a cada factor, de acuerdo a los rangos dados. La suma de los valores encontrados para los seis factores indicará el tipo o clase de macizo rocoso.

$$RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + B$$

**Tabla 1.** Orientación de las discontinuidades (b)

| Dirección y buzamiento |               | Muy favorables | Favorables | Medias | Desfavorables | Muy desfavorables |
|------------------------|---------------|----------------|------------|--------|---------------|-------------------|
| Puntuación             | Túneles       | 0              | -2         | -5     | -10           | -12               |
|                        | Cimentaciones | 0              | -2         | -7     | -15           | -25               |
|                        | Taludes       | 0              | -5         | -25    | -50           | -60               |

Fuente: Bieniawski (1989).

**Primer Parámetro (A1):** Valoración de la compresión uniaxial, se muestra en el siguiente cuadro:

**Tabla 2.** Resistencia de la roca sana

| DESCRIPCION         | RESISTENCIA A COMPRESION SIMPLE (MPa) | ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (MPa) | VALORACION |
|---------------------|---------------------------------------|-------------------------------|------------|
| Extremadamente dura | > 250                                 | > 10                          | 15         |
| Muy dura            | 100 – 250                             | 4 - 10                        | 12         |
| Dura                | 50 – 100                              | 2 – 4                         | 7          |
| Moderadamente dura  | 25 – 50                               | 1 – 2                         | 4          |
| Blanda              | 1 – 5                                 |                               | 2          |
| Muy blanda          | < 1                                   | < 1                           | 1          |
|                     |                                       |                               | 0          |

Fuente: Bieniawski (1989).

**Segundo Parámetro (A2):** La valoración del RQD, se muestra en el siguiente cuadro:

**Tabla 3.** Valoración del RQD

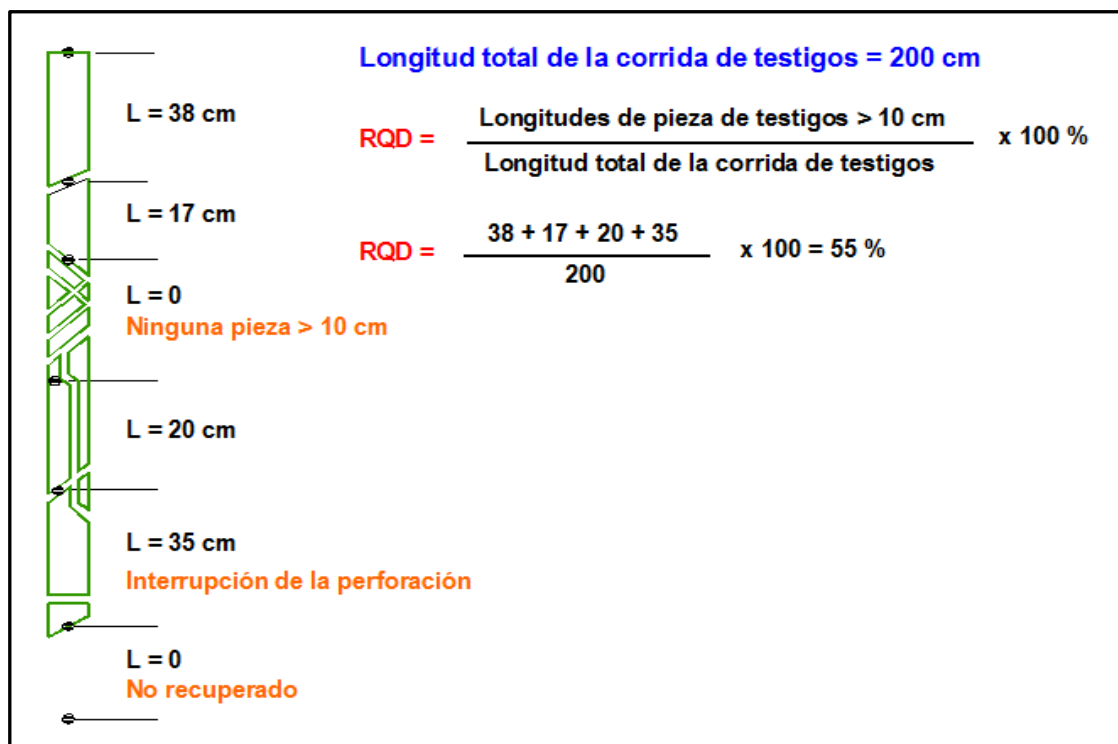
| Índice de Calidad RQD (%) | Calidad   | Valoración |
|---------------------------|-----------|------------|
| 0 – 25                    | Muy mala  | 3          |
| 25 – 50                   | Mala      | 8          |
| 50 – 75                   | Regular   | 13         |
| 75 – 90                   | Buena     | 17         |
| 90 – 100                  | Excelente | 20         |

Fuente: Bieniawski (1989).

La Calidad de la roca se determina mediante el RQD (Rock Quality Designation) por los siguientes tres métodos:

### Primer método:

Se basa en la recuperación en porcentaje de piezas enteras mayores a 100 mm., con relación a longitud total de una perforación diamantina.



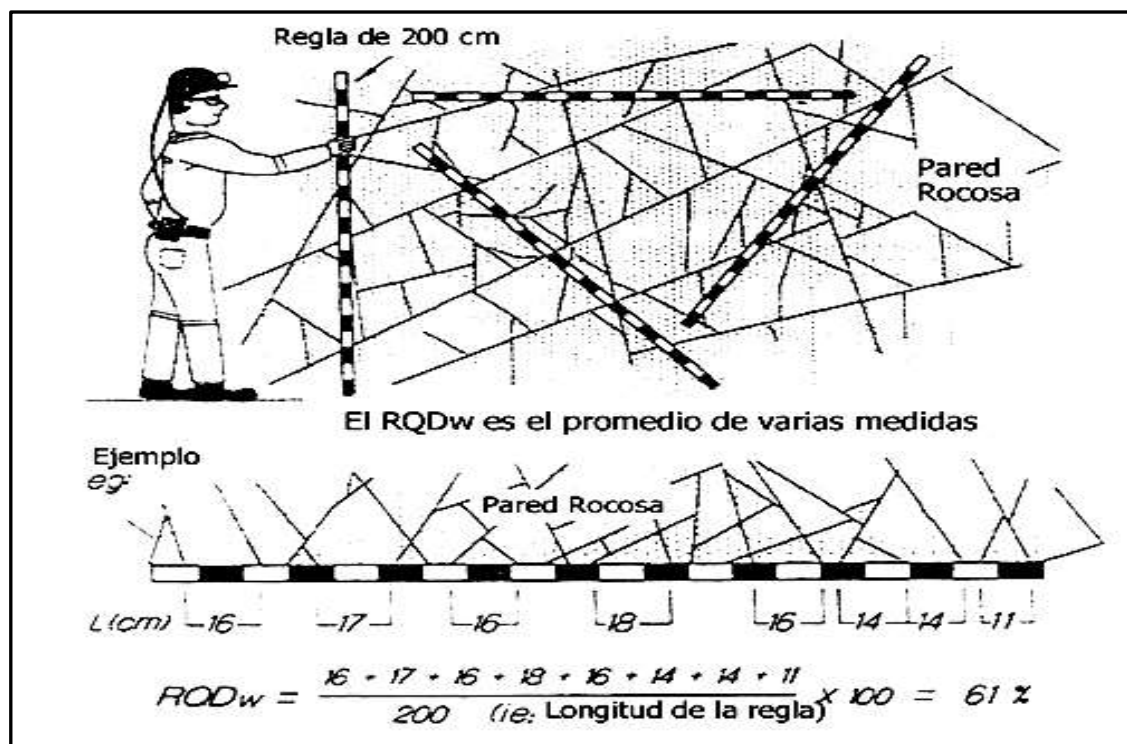
**Figura 4.** Procedimiento de medición y cálculo del *RQD*

Fuente: Deere (1968).

### Segundo método - Empírico:

Se basa en el número de discontinuidades en una longitud base, En caso de no disponer de testigos de roca, el RQD se puede estimar del levantamiento de las fracturas expuestas en el macizo rocoso. Se coloca una regla de longitud conocida, en este caso de 2.00 m. en varias direcciones. Es importante no considerar las fracturas frescas creadas con las voladuras o por las concentraciones de esfuerzos.

De acuerdo a las condiciones y posibilidades del tipo de proyectos, esto es aplicable para trabajos superficiales como en taludes o cimentaciones, en la cual se recomienda tener la superficie de la roca limpia y sin roca suelta, en el cual se hallará el RQD en varias direcciones (mínimamente 3 direcciones), pudiéndose realizarse en más de 3 direcciones para tener un mejor resultado del RQD de la masa rocosa, siendo representada su RQD por el promedio de las mediciones hechas en cada dirección.



**Figura 5.** Estimación del RQD a partir de la separación de las fracturas en el macizo rocoso

Fuente: Deere (1968).

### Tercer método:

Palmstrom (1982) sugirió que, el RQD puede ser estimado a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen, visibles en afloramientos rocosos o socavones.

La relación sugerida para masas rocosas libres de arcillas es:





$$RQD = 115 - 3.3Jv$$

$$Jv = \sum \left( \frac{1}{S_i} \right)$$

Donde  $Jv$  es la suma del número de discontinuidades por unidad de longitud de todas las familias de discontinuidades, conocido como el conteo volumétrico de discontinuidades. Si es el espaciado medio de cada familia de juntas.

$$RQD = 100; \text{ cuando } Jv < 4.5$$

También podría aplicarse el método de Priest y Hudson, cuya relación matemática es la siguiente:

$$RQD = 100e - 0.1\lambda(0.1\lambda + 1); \text{ donde } \lambda = \text{juntas por metro lineal}$$

El RQD es un parámetro direccionalmente dependiente y su valor puede cambiar significativamente, dependiendo sobre todo de la orientación del taladro. El uso del conteo volumétrico de discontinuidades puede ser muy útil en la reducción de esta dependencia direccional.

El RQD pretende representar la calidad del macizo rocoso in situ. Cuando se utiliza la perforación diamantina, se debe tener mucho cuidado para garantizar que las fracturas causadas por el manipuleo o el proceso de perforación sean identificadas e ignoradas cuando se determine el valor del RQD. Es utilizado ampliamente en las aplicaciones de la mecánica de rocas.

**Tercer Parámetro (A3):** Conocido como espaciamiento.

**Tabla 4.** Se presenta los parámetros de espaciamiento

| Descripción          | Espaciado de las juntas | Tipo de Macizo Rocoso | Valoración |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| Muy separadas        | >2 m.                   | Solido                | 20         |
| Separadas            | 0.6 – 2 m.              | Masivo                | 15         |
| Moderadamente juntas | 200 – 600 mm.           | En Bloques            | 10         |
| Juntas               | 60 – 200 mm             | Fracturado            | 8          |
| Muy Juntas           | < 60 mm.                | Machacado             | 5          |

Fuente: Bieniawski (1989).

**Cuarto Parámetro (A4):** Se trata de las condiciones de las discontinuidades.

**Tabla 5.** Aberturas de las discontinuidades

| Grado | Descripción       | Separación de las caras | Valoración |
|-------|-------------------|-------------------------|------------|
| 1     | Abierta           | >5 mm.                  | 0          |
| 2     | Moderada. Abierta | 1 - 5 mm.               | 1          |
| 3     | Cerrada           | 0.1 – 1 mm.             | 4          |
| 4     | Muy Cerrada       | < 0.1 mm.               | 5          |
| 5     | Ninguna           | 0                       | 6          |

Fuente: Bieniawski (1989).

**Tabla 6.** Continuidad o persistencia de las discontinuidades

| Grado | Descripción | Continuidad | Valoración |
|-------|-------------|-------------|------------|
| 1     | Muy baja    | < 1 m.      | 6          |
| 2     | Baja        | 1 - 3 m.    | 4          |
| 3     | Media       | 3 – 10 m.   | 2          |
| 4     | Alta        | 10 - 20 m.  | 1          |
| 5     | Muy Alta    | >20 m.      | 0          |

Fuente: Bieniawski (1989).



**Tabla 7.** Rugosidad de las discontinuidades

| <b>Grado</b> | <b>Descripción</b>      | <b>Valoración</b> |
|--------------|-------------------------|-------------------|
| 1            | Muy rugosa              | 6                 |
| 2            | Rugosa                  | 5                 |
| 3            | Ligeramente rugosa      | 3                 |
| 4            | Lisa                    | 1                 |
| 5            | Plana (Espejo de Falla) | 0                 |

Fuente: Bieniawski (1989).

**Tabla 8.** Relleno de las discontinuidades

| <b>Grado</b> | <b>Descripción</b> | <b>Valoración</b> |
|--------------|--------------------|-------------------|
| 1            | Blando > 5 mm.     | 0                 |
| 2            | Blando < 5 mm.     | 2                 |
| 3            | Duro > 5 mm.       | 2                 |
| 4            | Duro < 5 mm.       | 4                 |
| 5            | Ninguno            | 6                 |

Fuente: Bieniawski (1989).

**Tabla 9.** Alteración de las discontinuidades

| <b>Grado</b> | <b>Descripción</b>     | <b>Valoración</b> |
|--------------|------------------------|-------------------|
| 1            | Descompuesta           | 0                 |
| 2            | Muy alterada           | 1                 |
| 3            | Moderadamente alterada | 3                 |
| 4            | Ligeramente alterada   | 5                 |
| 5            | No alterada            | 6                 |

Fuente: Bieniawski (1989).

**Quinto Parámetro (A5): Presencia del agua.****Tabla 10.** Presencia del agua

| <b>Caudal por 10 m. de recorrido</b> | <b>Relación Presión agua – Tensión</b> | <b>Descripción</b> | <b>Valoración</b> |
|--------------------------------------|--|--------------------|-------------------|
| Nulo                                 | 0                                      | Seco               | 15                |
| < 10 lt/min                          | < 0.1                                  | Ligeramente Húmedo | 10                |
| 10-25 lt/min                         | 0.1 – 0.2                              | Húmedo             | 7                 |
| 25-125 lt/min                        | 0.2 – 0.5                              | Goteando           | 4                 |
| >125 lt/min                          | >0.5                                   | Fluyendo           | 0                 |

Fuente: Bieniawski (1989).

**2.2.20. Índice de resistencia geológica (GSI)**

Manske y Paul (2002) desarrollaron el GSI (Geological Strength Index), índice de resistencia geológica, con la finalidad de estimar la resistencia del macizo rocoso. El sistema de clasificación GSI grandemente respeta las restricciones geológicas que ocurren en la naturaleza y están reflejadas en la información geológica. Por otro lado, el RMR de Bieniawski (1989) está correlacionado al GSI de Marinos & Hoek (2000) para el caso  $RMR > 23$  y considerando condiciones secas, se utiliza la siguiente expresión:

$$GSI = RMR - 5$$

En este criterio, para definir la estructura de la masa rocosa, se considera por un lado el grado de fracturamiento o la cantidad de fracturas (discontinuidades) por metro lineal, según esto, se toman en cuenta las siguientes cinco categorías de fracturamiento:

- Masiva o Levemente Fracturada (LF)
- Moderadamente Fracturada (F)
- Muy Fracturada (MF)



- Intensamente Fracturada (IF)
- Triturada o brechada (T)

Por otro lado, se considera la condición superficial de la masa rocosa, que involucra a la resistencia de la roca intacta y a las propiedades de las discontinuidades: resistencia, apertura, rugosidad, relleno y la meteorización o alteración. Según esto, las cinco categorías que se toman en cuenta se definen así:

- Masa rocosa Muy Buena (MB)
- Masa rocosa Buena (B)
- Masa rocosa Regular (R)
- Masa rocosa Pobre (P)
- Masa rocosa Muy Pobre (MP)

En el GSI modificado se consideran 5 categorías, para compatibilizar con el criterio RMR. El GSI Introducido por Hoek *et al.* (1995) es considerado como un índice que indica la reducción de la resistencia de un macizo rocoso, con respecto a la roca intacta, para diferentes condiciones geológicas. El GSI se debe dar en un rango de valores, el cual se define en el terreno por observación de dos parámetros principales: estado de fracturamiento; y calidad de las discontinuidades. Es un buen descriptor de la calidad del macizo rocoso, más rápido de estimar que RMR y en especial Q. El GSI Se utiliza como una de las variables para obtener la resistencia del macizo rocoso mediante el criterio de falla de Hoek-Brown.

| <b>CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGUN GSI MODIFICADO</b><br><br>Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidas insitu con una wincha. La resistencia se determina golpeando o indentando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de las paredes y relleno de las discontinuidades. |  | <b>CONDICION SUPERFICIAL</b><br><b>MUY BUENA</b> (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota)<br><b>BUENA</b> (muy resistente, levemente alterada) discontinuidades rugosas, lev. alterada, manchas de oxidación, lig. abierta. (Rc 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de picota)<br><b>REGULAR</b> (resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta. (Rc 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota)<br><b>POBRE</b> (moderadamente resist. moderam. alter.) superficie pulida o con estrías, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca. (Rc 25 a 50 MPa), (se indenta superficialmente)<br><b>MUY POBRE</b> (blanda, muy alterada) Superficie pulida y estriada, muy abierta, con relleno de arcillas blandas. (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente) |      |      |      |       |  |
|---|--|---|------|------|------|-------|--|
| <b>ESTRUCTURA</b>   |  |   |      |      |      |       |  |
|   | <b>LEVEMENTE FRACTURADA</b><br>Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%)<br>(2 a 6 fracturas por metro)<br>(RQD = 115 - 3.3 Jn)                             | LF/MB   | LF/B | LF/R | LF/P | LF/MP |  |
|   | <b>MODERADAMENTE FRACTURADA</b><br>Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%)<br>(6 a 12 fracturas por metro)     | F/MB  | F/B  | F/R  | F/P  | F/MP  |  |
|   | <b>MUY FRACTURADA</b><br>Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%)<br>(12 a 20 fracturas por metro) | MF/MB   | MF/B | MF/R | MF/P | MF/MP |  |
|   | <b>INTENSAMENTE FRACTURADA</b><br>Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 -25%)<br>(Más de 20 fracturas por metro)    | IF/MB   | IF/B | IF/R | IF/P | IF/MP |  |
|   | <b>TRITURADA O BRECHADA</b><br>Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)                       | T/MB  | T/B  | T/R  | T/P  | T/MP  |  |

Figura 6. Carta para evaluar GSI en macizos rocosos fracturados

Fuente: Marinos & Hoek (2000).



Como ejemplo de aplicación de este criterio, consideremos una roca que puede endentarse profundamente al golpearlo con la punta de la picota, correspondiéndole una resistencia muy baja. Si sus fracturas están muy abiertas con relleno de arcillas blandas, su condición será la de Muy Pobre. Si esta roca tuviera 10 fracturas/metro, su clasificación según el GSI será: Moderadamente Fracturada y Muy Pobre (MF/MP).

| <b>(GSI) MODIFICADO</b>   |  | <b>CONDICION SUPERFICIAL</b>  |  |  |   |  |
|---|--|---|--|--|---|--|
| <p>De los códigos de letra definidos que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades, seleccione el cuadro apropiado es esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor por ejemplo 38.</p> |  | <b>MUY BUENA</b> (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota) | <b>BUENA</b> (muy resistente, levemente alterada) discontinuidades rugosas, lev. alterada, manchas de oxidación, lig. abierta. (Rc 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de picota) | <b>REGULAR</b> (resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, moderadamente alterada, ligeramente abierta. (Rc 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota) | <b>POBRE</b> (moderadamente resist. moderam. alter.) superficie pulida o con estricciones, muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca. (Rc 25 a 50 MPa), (se indenta superficialmente) | <b>MUY POBRE</b> (blanda, muy alterada) Superficie pulida y estriada, muy abierta, con relleno de arcillas blandas. (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente) |
| <b>ESTRUCTURA</b>   |  |   |  |  |   |  |
|   | <b>LEVEMENTE FRACTURADA</b><br>Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%)<br>(2 a 6 fracturas por metro)<br>(RQD = 115 - 3.3 Jn)                             | 95<br>90<br>85  | 80   |  |   |  |
|   | <b>MODERADAMENTE FRACTURADA</b><br>Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%)<br>(6 a 12 fracturas por metro)     |   | 75<br>70<br>65   |  |   |  |
|   | <b>MUY FRACTURADA</b><br>Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%)<br>(12 a 20 fracturas por metro) |   |  | 60<br>55<br>50<br>45   |   |  |
|   | <b>INTENSAMENTE FRACTURADA</b><br>Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 -25%)<br>(Más de 20 fracturas por metro)    |   |  |  | 40<br>35<br>30<br>25  |  |
|   | <b>TRITURADA O BRECHADA</b><br>Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)                       |   |  |  |   | 20<br>15<br>10<br>5  |

**Figura 7.** Carta para evaluar GSI en macizos rocosos fracturados estratificados y heterogéneos

Fuente: Marinós & Hoek (2000).



### 2.2.21. Determinación de las propiedades del macizo rocoso

Gonzales (2011) indica:

Es el aspecto que constituye el mayor problema, en el análisis de estabilidad de los macizos rocosos y la toma de decisiones para el diseño del su tratamiento en casos de inestabilidad, se tendrá en cuenta el problema que surge con la selección del tipo de modelo que caracteriza al macizo, modelos continuos (Homogéneos) o discontinuos (discretos). Para el cual es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Las propiedades de las rocas son muy variables debido a la variedad de estructuras y componentes.
- Interesa disponer de una descripción cuantitativa de las rocas con un cierto número de propiedades básicas.
- Los índices se obtienen a partir de ensayos estandarizados y ofrecen valores que permiten la aplicación de métodos ingenieriles cuantitativos.
- Las propiedades o índices que se obtienen a partir de probetas de roca intacta, reflejan en general el comportamiento de la roca matriz sin discontinuidades.

Las propiedades básicas o índices más comunes en Macizos Rocosos, son las siguientes:

- Resistencia: Relacionada con los enlaces entre los componentes de la roca. La resistencia es una propiedad esencial desde el punto de vista mecánico, realizado en matriz rocosa, la mejor medida es mediante el ensayo de compresión simple o carga puntual, realizado en el laboratorio.





- Permeabilidad: Relacionada con la interconexión relativa de los poros de la roca. Propiedad esencial en fenómenos de flujo
- Porosidad: Proporción relativa del volumen de huecos o intersticios en la roca.
- Densidad: Añade información acerca de la composición mineralógica. El rango de variabilidad de la densidad de las rocas es mucho mayor que el de los suelos, además el conocimiento de la densidad es importante en ingeniería para evaluar el peso propio y las tensiones naturales.
- Velocidad de transmisión de ondas: Permite estimar propiedades como módulos, grado de fisuramiento (en combinación con un estudio petrográfico), etc.
- Durabilidad: Índice que muestra la tendencia a la descomposición de los componentes o estructuras internas de la roca, con la consiguiente degradación de su calidad.

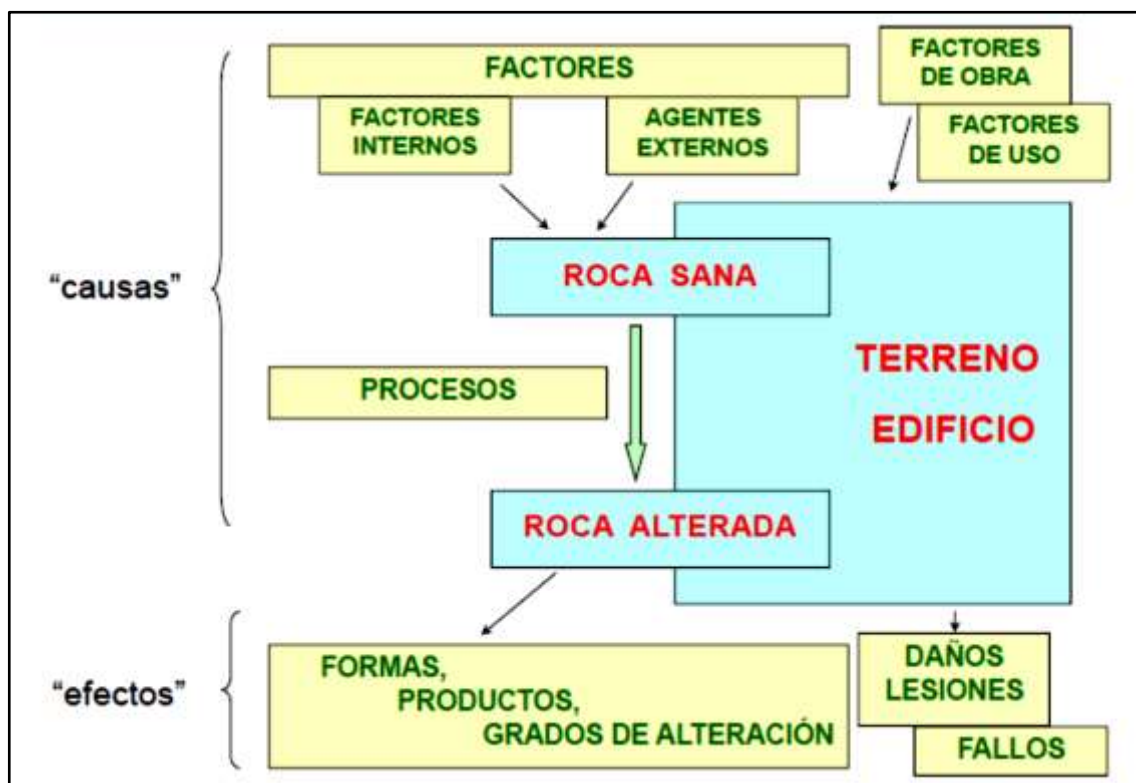
Es conveniente usar el criterio de falla de Hoek y Brown teniendo en cuenta los supuestos considerandos en su evaluación y utilizar los cálculos retroactivos para verificar si los parámetros asumidos en el criterio de falla son correctos, se recomienda el empleo de métodos probabilísticos.

El módulo de deformación in situ de la masa rocosa es un parámetro importante en cualquier forma de análisis numérico y en la interpretación de las deformaciones monitoreadas alrededor de aberturas subterráneas. Desde que este parámetro es muy dificultoso y costoso de determinarlo en el campo, muchos intentos se han hecho para desarrollar métodos de estimación de su valor, basados sobre todo en las clasificaciones de la masa rocosa.

### 2.2.22. Efecto de la alteración del macizos rocoso

Gonzales & Ferrer (2007) mencionan:

La mineralización en muchos casos está asociada a zonas de alteración que tienen impacto sobre la resistencia del macizo rocoso y, por lo tanto, su estabilidad. Durante el mapeo geológico se deben identificar zonas de alteración mostrando sus grados y tipo de alteración. El mapeo geológico debe precisar el efecto de la alteración en la resistencia y calidad de los macizos rocosos. Para definir la alteración se debe utilizar la observación de campo, complementada por investigaciones geofísica y ensayos de laboratorio. El análisis de la alteración de las rocas distingue entre las “causas” que originan el deterioro y los “efectos” presentados en las rocas.



**Figura 8.** Análisis de alteración de las rocas

Fuente: Gonzales & Ferrer (2007).



### 2.2.23. DIPS

La proyección estereográfica proporciona una herramienta fundamental en el campo de la mecánica de rocas. Su principal interés es que con ella podemos representar orientaciones (dirección) e inclinación (buzamiento o inmersión). Entre sus aplicaciones más importantes se encuentra el reconocimiento de familias de discontinuidades en un afloramiento rocoso, la determinación de la dirección y el buzamiento de un plano de estratificación o discontinuidades, la determinación del tipo de rotura en un movimiento de ladera.

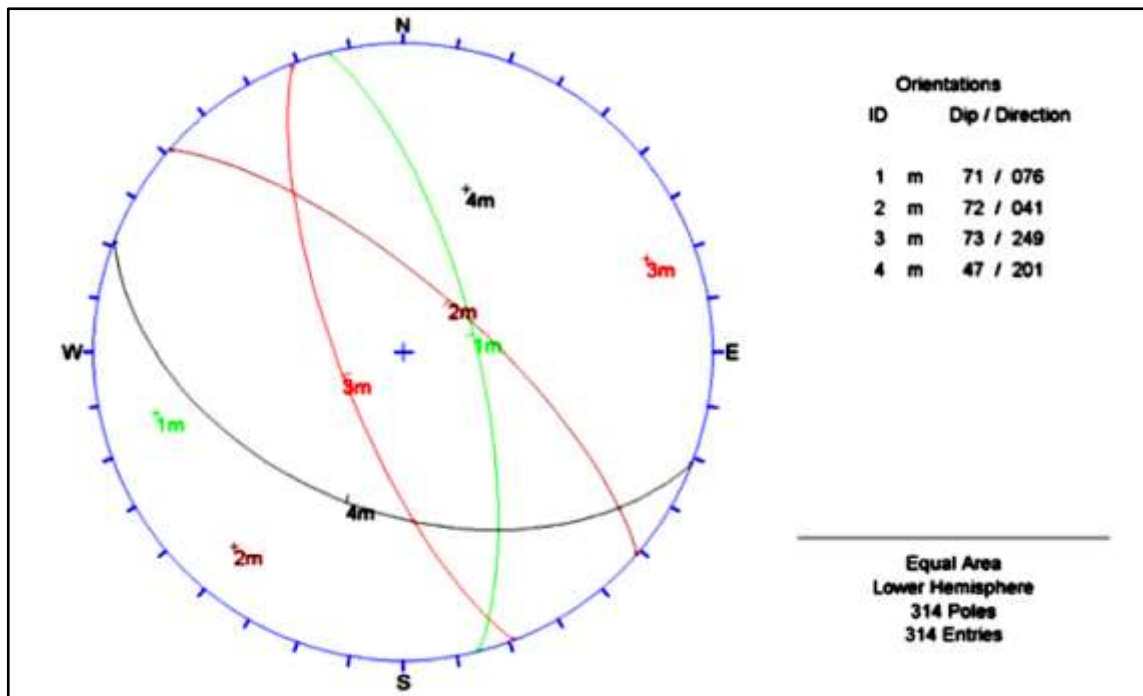
Con este trabajo se pretende mostrar la utilidad de la proyección estereográfica, explicando las modalidades existentes y algunas de sus aplicaciones prácticas en proyectos de ingeniería.

El software DIPS está diseñado para el análisis de las características relacionadas con el análisis de ingeniería de estructuras de la roca, sin embargo, el formato libre del archivo de datos, permite el análisis de los datos basados en la orientación basados en datos geológicos.

El programa es capaz de muchas aplicaciones y está diseñado para el usuario principiante u ocasional, y para el usuario consumado de la proyección estereográfica que desee utilizar las herramientas más avanzadas en el análisis de datos geológicos. Dips permite al usuario analizar y visualizar datos estructurales después las mismas técnicas utilizadas en estereoscopios manuales.

Además, tiene muchas características computacionales, tales como contorno de estadística de la agrupación de orientación, el cálculo del promedio de orientación y la confianza, la variabilidad del clúster, y el análisis de atributo de rasgo cualitativo y cuantitativo.

El avance tecnológico en informática ha mejorado y sigue desarrollándose aún más desde su aparición. Ha llegado incluso a que los equipos informáticos aumenten sus prestaciones y accesibilidad de forma vertiginosa y que cada día sea mayor la cantidad de programas o herramientas informáticas especiales dedicadas exclusivamente para su aplicación en excavaciones subterráneas y operaciones a cielo abierto.



**Figura 9.** Proyección Estereográfica de discontinuidades

#### 2.2.24. ROCLAB

RocLab (2004):

Es un programa de computación que permite determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso, de acuerdo al criterio de rotura Generalizado de Hoek-Brown. Uno de los mayores obstáculos que se encuentran en el campo de los modelos numéricos en la mecánica de rocas, es el problema de la definición de datos referentes a las propiedades de los macizos rocosos. La utilidad de los modelos constitutivos elaborados del material y de los programas de análisis numérico de avanzada, disponibles



actualmente, está enormemente limitada si el analista no dispone de datos fiables referentes a las propiedades del macizo rocoso.

La última versión del criterio de rotura de Hoek-Brown, conjuntamente con su implementación en el programa RocLab, da un paso considerable en la dirección adecuada para remediar tal situación. Algunos de los puntos anteriormente confusos en el criterio de rotura de Hoek-Brown quedan ahora resueltos, entre ellos se destacan:

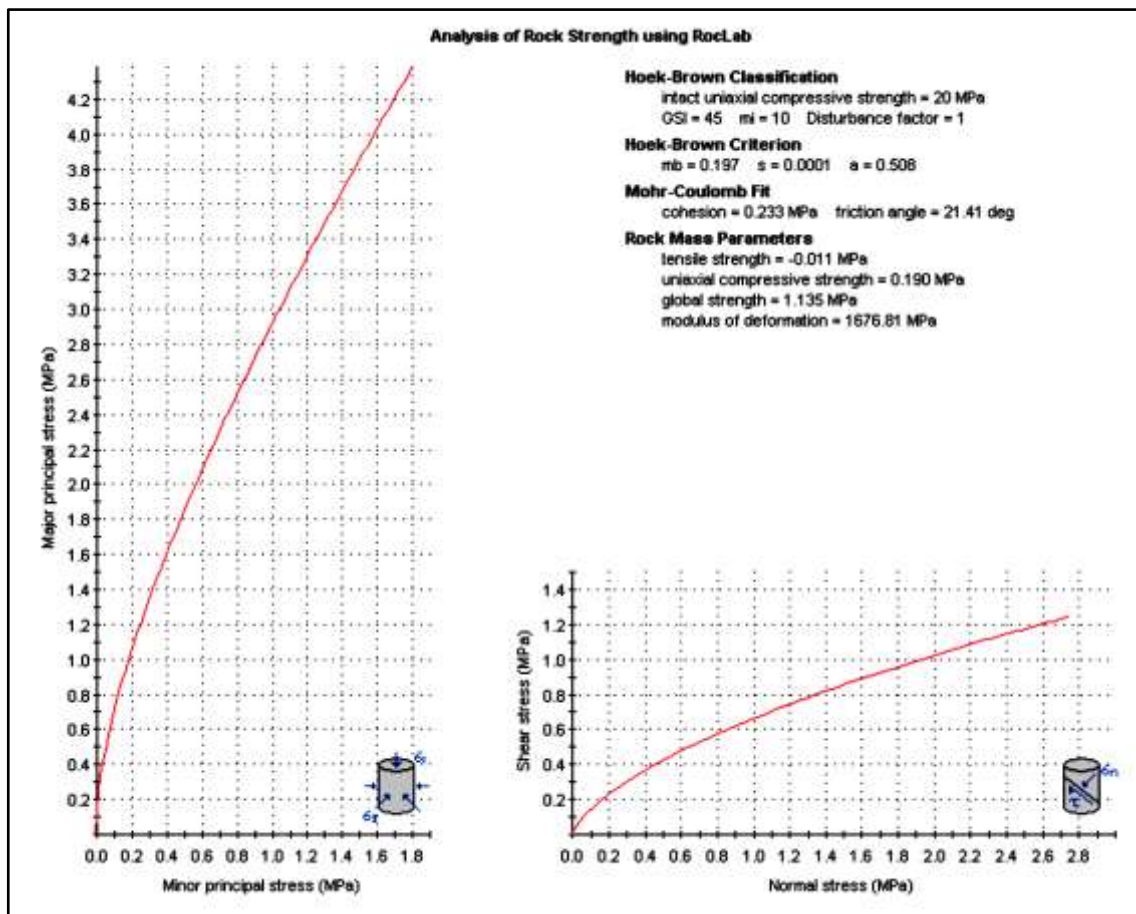
- La aplicabilidad del criterio a macizos rocosos muy poco resistentes.
- El cálculo de los parámetros equivalentes del criterio de Mohr-Coulomb, a partir de los de la envolvente de rotura de Hoek-Brown.

El programa RocLab proporciona una puesta a punto sencilla e intuitiva del criterio de rotura de Hoek-Brown, que permite al usuario una fácil obtención de estimaciones fiables de propiedades del macizo rocoso, así como también la visualización de los efectos que el cambio de parámetros del macizo rocoso produce sobre la envolvente de rotura.

La tarea de determinar propiedades del macizo rocoso no es normalmente un fin en sí mismo. Esta tarea se realiza para proporcionar datos de entrada a los programas de análisis numérico, que requieren definición de las propiedades del material para ejecutar cálculos de estabilidad o análisis de tensiones. Las propiedades determinadas por RocLab se pueden emplear como datos de entrada en programas de análisis numérico tales como Phase2 (análisis de elementos finitos y diseño de soportes para excavaciones) o Slide (análisis de estabilidad de taludes mediante equilibrio límite).

Se puede realizar el cálculo de los parámetros de resistencia equivalentes de Mohr-Coulomb (cohesión y ángulo de fricción).

- La envolvente de resistencia de Mohr-Coulomb que mejor se ajusta a un rango de tensiones de confinamiento se puede determinar en base al tipo de problema analizado (por ejemplo, problemas de túneles o de estabilidad de taludes).
- La envolvente de rotura equivalente de Mohr-Coulomb se puede proyectar en términos de tensiones principales y/o tensiones de corte y normales.



**Figura 10.** Diagrama de resultados del comportamiento de la roca según RocLab

Fuente: RocLab (2004).

### 2.2.25. Factor de seguridad

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre

la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla en taludes de roca o suelos (Ramírez *et al.*, 2004) y (Bieniawski, 1989).

**Tabla 11.** Factor de seguridad

| <b>Significación</b>      | <b>Factor de seguridad</b> |
|---------------------------|----------------------------|
| Inseguro                  | 1.0                        |
| Seguridad dudosa          | 1.0 – 1.2                  |
| Satisfactorio para cortes | 1.3 – 1.4                  |
| Seguro para taludes       | >1.5                       |

Fuente: Sowers & Sowers (2013).

#### **2.2.26. Taludes en roca**

A diferencia de los suelos, la estructura que presentan las rocas es complicada, ya que bajo su apariencia sólida y homogénea se esconden anisotropías originadas por las grietas, planos de fractura o estratificación, diaclasas y plegamientos que hacen que su comportamiento mecánico no sea el esperado a primera vista.

Los taludes naturales o los excavados en roca están sujetos de manera permanente a procesos de inestabilidad, provocadas por la acción de agentes erosivos, la presencia de aguas superficiales y subterráneas a las que se une la propia geometría del talud artificial. Otro factor que también influye en la estabilidad es la sismicidad natural o provocadas por las voladuras realizadas por excavar dicho talud. Este tipo de taludes es característico de las zonas de desmonte, donde muchas veces es necesario modificar el relieve para ajustar la traza de la carretera, con la consiguiente ruptura del equilibrio natural existente en sus taludes.



### 2.2.27. Tratamiento de estabilidad de los macizos rocosos

Sotelo (1997) menciona:

Para acometer el diseño de tratamiento de una estructura rocosa, así como de sus elementos, es necesario contar con un volumen de información, que caracterice al macizo rocoso y su comportamiento en el tiempo, para poder tomar las decisiones de diseño de tratamiento de macizos rocosos fracturados. Esta información la podemos agrupar de la siguiente forma:

- Características geológicas de la estructura rocosa
- Propiedades del macizo rocoso
- Condiciones hidrogeológicas del macizo rocoso
- Efectos de la alteración de las rocas
- Esfuerzos in situ
- Efectos del tratamiento del macizo rocoso inestable

Gonzales (2011) indica:

Para el diseño y ejecución de tratamiento de macizos rocosos, y poner al servicio en la solución de problemas de erosión, en estructuras rocosas o inestabilidad de paredes y laderas, se considera como acciones de tratamiento lo siguiente:

- Concreto lanzado; Define la erosión, estabiliza las paredes en superficie y subterráneas, mejorando la apariencia de los taludes y de toda la masa rocosa.
- Inyecciones; Mejora las condiciones mecánicas del terreno a través de la introducción de mezclas cementantes.





- Drenaje; Alivia presiones no deseadas por la presencia de fluidos en laderas y estructuras civiles.
- Anclaje; Evita el desprendimiento de grandes bloques de roca en laderas y paredes superficiales y subterráneas.

### **2.2.28. Factores influyentes en la estabilidad de taludes**

La estabilidad de un talud está determinada por factores:

- Factores Geométricos (altura e inclinación)
- Factores geológicos (que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud)
- Factores hidrogeológicos (presencia de agua)
- Factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad).

La combinación de los factores citados puede determinar la condición de rotura a lo largo de una o varias superficies, y que sea cinemáticamente posible el movimiento de un cierto volumen de masa de suelo o roca. La posibilidad de rotura y los mecanismos, y modelos de inestabilidad de los taludes están controlados principalmente por factores geológicos y geométricos (Gonzales, 2011).

Gonzales (2011) además indica:

Los factores geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos se consideran factores condicionantes, y son intrínsecos a los materiales. En los suelos, la litología, estratigrafía y las condiciones hidrogeológicas determinan las propiedades resistentes y el comportamiento del talud. En el caso de macizos rocosos competentes el principal factor



condicionante es la estructura geológica: la disposición y frecuencia de las superficies de discontinuidad y el grado de fracturación, la litología y el grado de alteración juegan también un papel predominante. Junto a los factores condicionantes de la estabilidad de los taludes (también denominados pasivos), los factores desencadenantes o activos provocan la rotura una vez que se cumplen una serie de condiciones. Estos últimos son factores externos que actúan sobre los suelos o macizos rocosos, modificando sus características y propiedades y las condiciones de equilibrio del talud. El conocimiento de todos ellos permitirá un correcto análisis del talud, la evaluación del estado de estabilidad del mismo y, en su caso, el diseño de las medidas que deberán ser adoptadas para evitar o estabilizar los movimientos.

#### **2.2.29. Análisis de taludes en suelos**

El Método de Bishop es el más conocido y utilizado, supone, además, que las fuerzas de contacto entre cada dos rebanadas no influye, por estar equilibradas. La superficie de rotura circular; en el cual la masa deslizante se divide en  $n$  rebanadas o fajas verticales. Estableciendo un equilibrio de momentos de fuerzas actuantes en cada rebanada con respecto al centro del, círculo. Dependiendo de esta condición el equilibrio de fuerzas verticales en cada rebanada se obtiene las fuerzas  $N$  (normales a la superficie de rotura) y sustituyen en la ecuación resultante de equilibrio de momentos.

El objetivo principal de un estudio de estabilidad de taludes en suelos, es diseñar medidas de prevención, control, remediación y/o estabilización para reducir los niveles de amenaza y riesgo. Se han desarrollado gran cantidad de técnicas probadas para el manejo de los taludes inestables o los deslizamientos. Generalmente, los beneficios más significativos desde el punto de vista de reducción de amenazas y riesgos, se obtienen con las medidas de prevención.



Sin embargo, no es posible la eliminación total de los problemas mediante métodos preventivos en todos los casos y se requiere establecer medidas de control o de remediación de los taludes susceptibles a deslizamiento o en los deslizamientos activos. La estabilización de los deslizamientos en actividad o potencialmente inestables, es un trabajo relativamente complejo que requiere de metodologías especializadas de diseño y construcción. Cada sistema tiene su base teórica y sus procedimientos constructivos.

La solución de cada problema requiere un análisis conceptual y determinístico de las causas y mecanismos del problema y un diseño detallado de la remediación. Uno de los factores más importantes que define la alternativa de manejo, es la disponibilidad de recursos. Algunos proyectos disponen de grandes presupuestos, lo cual permite la construcción de obras de gran magnitud; sin embargo, es muy común que los recursos económicos sean limitados y se requiera utilizar tecnologías de bajo costo.

Con frecuencia, al aumentar el factor de seguridad también aumentan los costos requeridos para la construcción del talud. En ocasiones, la construcción de taludes estables podría resultar no sólo costosa sino poco práctica y se deben asumir los riesgos inherentes a la construcción de un talud relativamente inestable.

#### **2.2.29.1. Metodologías de remediación de taludes en suelos**

Una vez analizado el talud, definidos los niveles de amenaza y riesgo, el mecanismo de falla y analizados los factores de equilibrio, se puede pasar al objetivo final que es el diseño del sistema de prevención, control o estabilización. Existen varias formas de enfocar y resolver cada problema específico y la metodología que se requiere emplear en cada caso, depende de una serie de factores técnicos, sociales, económicos y políticos, con una gran cantidad de variables en el espacio y en el tiempo. Las técnicas de remediación comprenden las siguientes alternativas generales:



- Prevención para evitar que ocurra la amenaza o el riesgo.
- Elusión de la amenaza para evitar que ésta genere riesgos.
- Control de los movimientos para disminuir la vulnerabilidad.
- Estabilización para disminuir la probabilidad de ocurrencia de la amenaza aumentando el factor de seguridad.

Para la planeación, diseño, construcción y monitoreo de las obras de remediación de un deslizamiento, Popescu *et al.* (2000) proponen un programa que incluye una fase de estudios geotécnicos y geomorfológicos para escoger, conceptualmente, el sistema de remediación y una fase de viabilidad para pasar finalmente, al diseño y a la construcción. En el estudio preliminar, se propone como un paso obligatorio, analizar si es posible eludir el deslizamiento. Si no es posible eludirlo, se pasa a una segunda etapa, seleccionar y diseñar la mejor alternativa de estabilización. Después de construidas las obras, se requiere, además, la realización de un proceso de monitoreo y actualización.

#### **2.2.29.2. Estabilización de taludes en suelos**

Los métodos de estabilización de taludes generalmente, están dirigidos a reducir las fuerzas actuantes, a incrementar las fuerzas resistentes o una combinación de los dos efectos. Es común que existan varios factores que determinen las fuerzas actuantes y resistentes y se requieran varios métodos de estabilización para lograr un efecto combinado.

Las fuerzas actuantes pueden reducirse de varias formas:

- Excavando el material de un sector apropiado del talud.
- Construyendo sistemas de drenaje para reducir las presiones hidrostáticas.



Las fuerzas resistentes pueden incrementarse de varias formas:

- Drenaje para incrementar la resistencia de los materiales.
- Eliminación de estratos débiles o zonas potenciales de falla.
- Estructuras de contención.
- Refuerzo del suelo.
- Tratamiento químico

### **2.2.29.3. Procedimiento de estabilización de taludes en suelos**

La estabilización de un talud comprende las siguientes etapas:

- Determinación del sistema o combinación de sistemas de estabilización más apropiados, teniendo en cuenta todas las circunstancias del talud estudiado.
- Diseño en detalle, el sistema que se va a emplear, incluyendo planos y especificaciones.
- Construcción de las obras de estabilización.
- Instrumentación y control del comportamiento durante y después de la estabilización.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación: “Evaluación Geotécnica para la Estabilidad de Taludes en la Trocha Carrozable - Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya - Puno”, (Tiene el propósito de realizar el estudio geotécnico de las estructuras de rocas y suelos, de ejecutar el diseño y tratamiento de cortes para taludes en dicha vía), para el cual se hace uso de los procedimientos metodológicos establecidos en los mecanismos de estabilidad de taludes realizando trabajos de campo y laboratorio en macizos rocosos y suelos a partir de la caracterización geológica y geomecánica.

##### 3.1.1. Localización y descripción del proyecto

La Construcción de la trocha carrozable de la localidad de Acconsaya – Sector Cruzhuasa. Distrito de Corani – Carabaya – Puno, políticamente está ubicado en:

- Región : Puno
- Provincia : Carabaya
- Distrito : Corani
- Localidad : Acconsaya

Geográficamente la Localización del área de estudio presenta la siguiente ubicación: (Ver Plano – Anexo 8)

**Tabla 12.** Ubicación geográfica del área de influencia de la construcción de la trocha carrozable

| LUGAR     | PROGRESIVA | ALTITUD<br>(m.s.n.m) | COORDENADAS |         |
|-----------|------------|----------------------|-------------|---------|
|           |            |                      | NORTE       | ESTE    |
| ACONSAYA  | 0+000      | 3954.783             | 8 466 000   | 329 300 |
| CRUSHUASA | 4+500      | 3828.610             | 8 467 000   | 332 100 |

Fuente: Elaborado por consultor según la información cartográfico (IGN hoja 29 U) contrastada con información instrumenta GPS – GARMIN (DAT MAPA WGS-84)

**Tabla 13.** Accesibilidad y distancia

| DE       | A         | TIPO DE VIA | MEDIO DE TRANSPORTE | DISTANCIA<br>(KMS) | TIEMPO<br>(HRS,<br>MIN.) |
|----------|-----------|-------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| Puno     | Juliaca   | Asfaltada   | Veh. Motorizado     | 44                 | 0.45                     |
| Juliaca  | Pucara    | Asfaltada   | Veh. Motorizado     | 60                 | 1.00                     |
| Pucara   | Macusani  | Afirmada    | Veh. Motorizado     | 150                | 3.30                     |
| Macusani | Acconsaya | Afirmada    | Veh. Motorizado     | 75                 | 3.30                     |

### 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales empleados en la presente investigación son los siguientes:

Materiales:

- Brújula.
- Martillo de geólogo.
- Lupa de geólogo.
- Flexómetro.
- Cinta métrica.
- Tablero.



- Libreta de notas.

Equipos:

- Martillo Schmidt tipo L.
- GPS.
- Impresora.
- Cámara.
- Laptop.
- Softwares especializados

### **3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

El método de investigación, es de tipo Descriptivo, orientándose al análisis de estabilidad de taludes, razón por la cual se utilizarán todos los medios necesarios que estén enmarcados en la presente evaluación geotécnica para taludes en carreteras.

El proceso de investigación se realizó en dos etapas, siendo de la siguiente manera:

- A.** Se sistematizó la información sobre la caracterización de los macizos rocosos y suelos, medición de elementos de yacencia de discontinuidades y toma de muestras de rocas representativas existentes en el área de estudio, todo esto corresponde a una investigación de carácter descriptivo. Como método de deducción de los parámetros deformacionales del macizo de rocosos, se emplearán las correlaciones basadas en la Clasificación Geomecánica de Macizos Rocosos de Bieniawski, por otra parte, el coeficiente de Poisson se estimará en





función de la calidad de la roca. En cuanto a los parámetros que definen la resistencia del macizo rocoso, el análisis a realizarse utilizará muestras de matriz rocosa, para su prueba en laboratorio, y la evaluación in-situ de las discontinuidades en los afloramientos presentes a lo largo de la trocha carrozable.

- B.** Se analizará el comportamiento geotécnico de los suelos que conforman los cortes de taludes tales como la cohesión y el ángulos de fricción y rozamiento interno, para la: determinación de las condiciones y causales de las inestabilidades, identificar los posibles mecanismo de falla así considerar su tratamiento utilizando métodos adecuados de cálculo de estabilidad, lo cual corresponde a una investigación de caracterización y cuantificación del factor de seguridad de las estructuras de suelos para finalmente recomendar las medidas correctivas para el tratamiento de estabilización de los taludes inestables.

### **3.3.1. Diseño de la investigación**

La evaluación geotécnica de los macizos rocosos y suelos, empezó por el estudio de las condiciones geológicas de los terrenos, la cual facilitara en forma significativa y hacer más confiable el pronóstico sobre el comportamiento geotécnico, lo que disminuye la probabilidad de que se produzcan afectaciones de diferentes índoles que puedan atentar tanto la economía como la seguridad de las obras y los trabajadores que se encuentran en ellas. Para cumplir la tarea planteada se emplea una metodología integral de investigación que consta de trabajos analíticos y experimentales.

La metodología que se desarrollara puede ser aplicada en la caracterización geomecánica de macizos rocosos y el estudio geotécnico de los suelos, para obras civiles de superficie. Como tal esta metodología constituye medio de estudio para taludes, ya que incluye aspectos que permiten evaluar y pronosticar el comportamiento del terreno y



plantear algún procedimiento de tratamiento y estabilización de los taludes que estos conforman. A continuación, se relacionan las etapas de la investigación:

### **3.3.1.1. Primera etapa**

En esta etapa se estableció el área de investigación, que estuvo condicionado por la construcción de la trocha carrozable y el criterio de implementación de la metodología en macizos rocosos y suelos de diferentes génesis y comportamiento. Como objeto de la investigación se definió los macizos rocosos y suelos que están ubicadas en la vía de la trocha carrozable desde Acconsaya al sector Cruzhuasa.

Se realizó la revisión bibliográfica de los temas, en la que está relacionada con este tipo de estudio, como es los trabajos efectuados en nuestro país, relacionados con el estudio geotécnico de los macizos rocosos y suelos como terrenos superficiales aplicadas a taludes. Sobre la base de esta información existente se determinará el conjunto de métodos a aplicar.

### **3.3.1.2. Segunda etapa**

Se realizó los trabajos de campo y laboratorio, que permitió obtener los datos necesarios para realizar la evaluación geotécnica, que incluyó los siguientes aspectos.

- Estudio y evaluación de las condiciones geológicas de los macizos rocosos y suelos de todo el trayecto de la trocha carrozable en estudio.
- Con el empleo de métodos de laboratorio se realizó pruebas para la determinación complementaria de las propiedades físico – mecánicas de las rocas y suelos incluyendo su procesamiento mediante cálculos



- Con el empleo del método geotécnico se realizó el estudio de las discontinuidades o agrietamiento de los macizos rocosos y las condiciones geomecánicas de los suelos, donde se incluyó todas las superficies de debilitamiento presentes en los mismos, se analizó las condiciones de las discontinuidades como: la abertura, espaciamiento, rugosidad, alteración, dirección y ángulos de buzamientos y la afluencia de agua, entre otros aspectos.
- Se analizó las principales formas de pérdidas de estabilidad y el mecanismo con que ellas se manifiestan en los macizos rocosos y suelos, así como las causas que las provocan.
- Evaluación de la estabilidad de taludes en rocas y suelos por varias metodologías de evaluación de estabilidad de gran actualidad. Este estudio se realizó por procesos geotécnicos analizando los macizos rocosos y estructuras de suelos de forma diferenciada de acuerdo a su comportamiento y estado.

### **3.3.1.3. Tercera etapa**

Se efectuó trabajos de evaluación in-situ y de gabinete, en el cual en esta etapa se procedió a la interpretación y procesamiento de la información, realizando la investigación integral y diferenciada de los macizos rocosos y suelos, lo que permitió efectuar su caracterización geomecánicas. Sobre la base de lo cual se logran obtener los parámetros geotécnicos las cuales influenciaran en el comportamiento de las estructuras de los terrenos en la trocha carrozable.

### **3.3.1.4. Cuarta etapa**

Se consideró criterios geotécnicos, teniendo como base los resultados obtenidos de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos y de suelos, tales como: La



estimación de la resistencia de las rocas y suelos, calidad de roca según RMR, densidad de roca, parámetros geotécnicos de los suelos se recomendarán los esquemas de interacción macizos – suelos, proponiendo medidas de tratamiento y estabilización de dichos terrenos donde se emplazan los taludes.

### **3.4. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

En el área de estudio afloran rocas cuyas edades van del Paleozoico inferior al Cuaternario. Sus distribuciones están direccionadas por una serie de bloques que se encuentran delimitados por fracturas con la dirección de rumbo NO – SE. Evaluando el estudio geológico en todo el Tramo de Trocha Carrozable Acconsaya – Cruzhuasa (Ver Anexo 7 – Plano Geológico), se tiene la siguiente descripción:

#### **3.4.1. Grupo MITU (PST-MI)**

Consiste esencialmente en rocas clásticas que ocurren en estratos medianos a gruesos y que se diferencian fácilmente por su color rojo morado y su resistencia a la erosión a excepción en lugares donde afloran horizontes de lutitas y limolitas.

Está constituida principalmente por rocas areniscas, lodolitas, lutitas en proporción, conglomerados de color rojo morado que recurren en estratos medios a gruesos, que se caracteriza por su alta resistencia. En la base permanecen las areniscas líticas y arcósicas de grano grueso a medio subangulosas a angulosas, en estratos medios a gruesos (grosor mayor que 30 cm.), intercalados con niveles delgados de lodolitas rojas, incrementándose hacia el techo de lodolitas y limolitas rojas si bien con una proporción importante de areniscas.



### **3.4.2. Formación QUENAMARI**

Se trata de un evento volcánico de carácter ignimbrítico. Estos volcánicos son tobas riolíticas con abundantes amígdalas de calcedonia, en estructura columnar de edad miocena y que sobreyacen el basamento de areniscas rojas del Grupo Mitu (PsT-mi) (Pérmico superior y triásico inferior). Se han diferenciado tres miembros volcánicos: Chacacuniza (Nm-ch), Sapanuta (Nm-sa) y Yapamayo (Np-ya). (Ver anexo 7- Plano geológico)

#### **3.4.2.1. Miembro CHACACUNIZA (nM-ch)**

Este miembro pertenece a la Formación Quenamari, describiéndose además que existen muestras con contenidos de cuarzo y biotita, un nivel de andesita en la parte superior, donde se emplaza la mineralización, controlada por fallas normales, que las han afectado y generado vetas de cuarzo bandeado con sulfuros y brechas verticales tectónicas en el bloque techo de las fallas; mientras se han generado stockwork en el bloque piso. Se puede mencionar además que la alteración hidrotermal es amplia y comprende illita-smectita-caolinita-sericita, así como también clorita.

#### **3.4.2.2. Miembro SAPANUTA (NM-sa)**

Aflora en los alrededores de la quebrada Chacacuniza. Este miembro se caracteriza por presentar una sucesión de aproximadamente de tres unidades ignimbríticas, conocidos como Yapamayo (miembro superior), Sapanuta (miembro medio) y Chacaconiza (miembro inferior). Desde el punto de vista geo-económico, el miembro superior y medio son los de mayor importancia. La presencia de clastos de origen sedimentario es muy común, llegando estos a medir más de 5 cm, lo que evidencia el carácter explosivo de la estructura volcánica. Estas rocas volcánicas del Mioceno –



Plioceno tiene como basamento rocas del Paleozoico superior (Grupo Mitu). (Ver anexo 7 – Plano geológico)

### **3.4.3. Depósitos aluviales (QH – AL)**

Los Depósitos Aluviales son Compuestos de arenas, gravas (mal graduadas), arcillas y limos, terrazas bajas, depósitos cuaternarios reciente acumulaciones arrastrados por los ríos formando extensos depósitos sedimentarios en planicies en todo el trayecto de la trocha carrozable, las cuales también constituyen materiales no litificados que se encuentran ubicadas en la desembocadura del río y quebradas de recorrido corto en forma de abanico aluviales polimicticos de limos y arcillas orgánicas.

### **3.5. ESTUDIO DE TOPOGRAFIA, TRAZO Y DISEÑO GEOMETRICO**

El Estudio de Topografía, Trazo y Diseño Geométrico ha sido elaborado de acuerdo a lo establecido por el Manual para el Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Transito y en conformidad a lo previsto por los Términos de Referencia.

Por lo que concierne a la longitud del tramo, este se desarrolla a lo largo de 4.5 Km, que es la distancia total de recorrido entre la localidad Acconsaya, inicio del tramo, y el sector de Cruzhuasa, donde se ubican los puntos finales de la carretera. El estudio de topografía y trazo comprende las siguientes partes: Alineamiento Horizontal, Perfil Longitudinal secciones transversales, los mismos que son tratados a continuación.

En todo su recorrido el camino se desarrolla totalmente en ladera, por lo que el alineamiento en las Rutas de Acconsaya - Sector Cruzhuasa, presenta 68 curvas horizontales y 15 curvas verticales respectivamente, de las cuales se tienen curvas de volteo sucesivamente y muchas curvas cerradas, en especial en el cruce con las quebradas. La presencia de tantas curvas hace que los rectilíneos sean muy cortos.



- Tramos en tangente: estacado cada 20 m;
- Tramos en curvas: estacado cada 10 m;
- Tramos en curvas de volteo: estacado cada 5 m;
- P.I. : Monumentados.
- Por lo que concierne a los Bench Marks (B.M.), estos se encuentran ubicados firmemente y son mucho más frecuentes de lo establecido en los Términos de Referencia.

La trocha carrozable prevé que la nueva subrasante tenga una pendiente máxima normal del 10% y una pendiente máxima excepcional del 15%, mientras la pendiente máxima de la carretera existente es del 18.4%. resumiendo, se puede decir que la subrasante del nuevo alineamiento vertical existente, por lo que el movimiento de tierras resulta reducido al mínimo.

Para establecer la pendiente transversal que garantiza el natural escurrimiento del agua superficial hacia la cuneta lateral se han considerado:

- Los datos relativos a la precipitación pluvial de la zona proporcionados por SENAMHI:
- Coeficiente de escurrimiento correspondiente al tipo de superficie sobre la cual corre el agua (afirmado con material granular):
- Ancho de la plataforma, que corresponde a la distancia que el agua debe recorrer para llegar a la cuneta.



Estos factores, juntamente con la observación de obras existentes y la experiencia en otras carreteras han demostrado que la pendiente transversal del 2% es suficiente para mantener la superficie de la plataforma libre del agua superficial.

Estos elementos se han establecido considerando los valores establecidos por el Manual para el Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Transito, para los cuales se han tornado en cuenta los siguientes factores:

- Velocidad Directriz:
- Radio de Curvatura;
- Distancia entre los ejes del vehículo.

Por cuanto se refiere al movimiento de tierra, su magnitud está determinada por la geometría global de la sección transversal, o sea, por la pendiente transversal, por la eventual presencia del peralte y del sobreancho, por la cota de la subrasante y del terreno natural y por los taludes de corte y/o relleno, según sea el caso.

Por tanto, con relación a los Términos de Referencia del Estudio, la carretera responde a una clasificación según los siguientes criterios:

- Camino de bajo transito :  $IMD < 15$  Vehículos/día.
- Camino de transito intermedio :  $15 \text{ Vehículos/día} < IMD < 50 \text{ Veh/día}$ .
- Camino de alto transito :  $IMD > 50 \text{ Veh/día}$ .

Teniendo en cuenta que el camino se desarrolla totalmente en ladera, la velocidad directriz que en este momento se considera es de 20 Km/hr, correspondiente a una topografía muy accidentada, pero casos excepcionales como es el recorrido por las curvas de volteo, se considera una velocidad directriz de 15 Km/hr.





La pendiente máxima normal, teniendo en cuenta que la carretera se ubica en terreno montañoso y la velocidad de diseño es de 20 Km/hr, no deberá exceder el valor del 10%.

### 3.5.1. Resumen de las características técnicas de la vía

Clasificación : Camino Vecinal Tipo TO.

Según los Términos de Referencia :

- IMDA : 09 veh/dia
- Tipo de camino : Bajo Transito.
- Velocidad Directriz : 25 Kph y 15 Kph en las curvas.
- Radio mínimo normal : 15 m
- Radio mínimo excepcional : 10 m (curvas de volteo)
- Peralte máximo normal : 2.5%
- Peralte máximo excepcional : 4%
- Pendiente mínima : 0.50%
- Pendiente máxima : 10%
- Pendiente máxima excepcional : 12%
- Ancho de la superficie de rodadura : 3.50 m
- Sobreancho : desde 0.00 m a 2.00 m
- Bombeo : 2% a 3%



### **3.6. ESTUDIO DE HIDROLOGÍA Y DRENAJE**

El estudio corresponde a la hidrología local, tiene por finalidad determinar la descarga máxima para periodo de retorno de diseño de la trocha carrozable y la estructura del puente, para lo cual se ha recopilado y analizado la información necesaria.

El propósito del estudio es elaborar el estudio hidrológico para evaluar el comportamiento de los ríos y quebradas existentes en el tramo de la construcción de trocha carrozable de la localidad de Acconsaya - Cruzhuasa, en una extensión de 4.5 km, con el propósito de conocer los requerimientos de obras de drenaje de la carretera, con el cruce de las quebradas mencionadas. Con el fin de reunir los criterios adecuados para conocer las características hidrológicas de las quebradas, los ríos de la zona de influencia del estudio. La escorrentía existente y producida en el área de estudio, proviene exclusivamente de las precipitaciones pluviales caídas en la zona.

Las estaciones pluviométricas localizadas en la zona de estudio o cercanas a ella, están siendo administradas por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), y la que se encuentra en la zona de estudio es la estación de Macusani.

#### **3.6.1. Dimensionamiento de las obras de drenaje**

El planeamiento de un sistema de drenaje superficial eficiente comprende dos fases el análisis hidrológico y el diseño hidráulico. Por lo tanto, un buen diseño de drenaje requiere una razonable exactitud en las predicciones de las escorrentías máximas para determinados intervalos de ocurrencia.

La mayoría de las veces, como el caso del presente estudio, el factor limitante es la carencia de información básica ya que no existe información de frecuencia, intensidad,

duración de lluvias, etc. Para la zona en estudio, datos que son de suma importancia para la predicción de escorrentías máximas.

Los métodos usuales para el diseño hidráulico son:

- Inspección de estructuras existentes, aguas arriba o aguas abajo.
- La aplicación de fórmulas empíricas para determinar directamente el tamaño de la abertura requerida.
- La aplicación de métodos para determinar la cantidad de agua que llega a la estructura y luego la aplicación de un cálculo matemático para el diseño del tamaño adecuado para descargar dicho caudal.

Dado las características de la zona, relieve plano y precipitaciones abundantes, se presentan problemas en quebradas que requieren de badenes. En el camino vecinal se presentan problemas de filtraciones, los cuales deben ser controlados con subdrenes.

### 3.6.2. Descripción de la hidrología

#### 3.6.2.1. Clima y meteorología

El análisis de los elementos meteorológicos y climatológicos del Estudio ha sido efectuado considerando la información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, para los periodos entre 2012 y 2015.

**Tabla 14.** Ubicación geográfica y política de la estación de monitoreo

| Estación | Latitud  | Longitud | Altitud<br>m.s.n.m | Distrito | Provincia | Región |
|----------|----------|----------|--------------------|----------|-----------|--------|
| Macusani | 14°21' S | 70° 1' W | 4345               | Macusani | Carabaya  | Puno   |

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, diciembre 2016.

### 3.6.2.2. Temperatura

Para un mejor análisis de este elemento se ha procedido a disgregar el estudio de este en temperatura máxima media mensual, temperatura mínima mensual y temperatura media mensual, la temperatura máxima media mensual son de 13.48 °C en el mes de julio a 15.86°C en el mes de noviembre.

**Tabla 15.** Temperatura máxima media mensual (°C) Estación Macusani

| AÑO   | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY  | JUN   | JUL   | AGO   | SEP   | OCT   | NOV   | DIC   |
|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2008  | 14.3  | 13.9  | 14.5  | 15.8  | 16.3 | 14.6  | 14.2  | 15.0  | 16.4  | 14.2  | 17.2  | 14.0  |
| 2009  | 12.7  | 13.8  | 13.8  | 14.8  | 14.3 | 14.1  | 13.5  | 14.3  | 15.7  | 15.5  | 16.1  | 15.6  |
| 2010  | 15.2  | 13.9  | 14.7  | 14.3  | 15.3 | 14.8  | 12.6  | 14.6  | 15.3  | 15.1  | 15.5  | 15.3  |
| 2011  | 14.6  | 15.0  | 14.8  | 15.0  | 15.0 | 14.7  | 14.1  | 14.3  | 14.9  | 15.8  | 15.2  | 14.4  |
| 2012  | 13.1  | 14.1  | 14.4  | 14.9  | 14.6 | 13.0  | 13.0  | 13.2  | 14.3  | 15.1  | 15.3  | 14.4  |
| PROM. | 13.99 | 14.14 | 14.44 | 14.96 | 15.1 | 14.24 | 13.48 | 14.28 | 15.32 | 15.14 | 15.86 | 14.74 |

Fuente: Servicio de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, diciembre 2015.

### 3.6.2.3. Temperatura mínima media mensual

En cuanto a la temperatura mínima promedio mensual, estas pueden alcanzar valores bajo cero, los que frecuentemente se presentan a partir de abril, es decir desde mediados del otoño y duran hasta noviembre. El mayor valor promedio corresponde al registrado en el mes de enero 2.26°C y el valor mínimo promedio es de -7.92°C registrado en julio.

**Tabla 16.** Temperatura mínima media mensual (°C) Estación Macusani

| AÑO   | ENE  | FEB | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC |
|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 2008  | 1,8  | 1,2 | 1    | -2,4 | -5,4 | -7,4 | -9   | -5,9 | -4   | -0,3 | -0,6 | 1,4 |
| 2009  | 2,9  | 2,9 | 2,5  | -0,7 | -3,4 | -7,7 | -6,4 | -7   | -2,7 | -0,2 | 1,1  | 1,9 |
| 2010  | 2,3  | 3,2 | 2,8  | 0,9  | -4,1 | -5,9 | -6,2 | -6   | -2,4 | 0,5  | 1,2  | 3   |
| 2011  | 3,3  | 2,9 | 2,4  | -0,4 | -4   | -8,4 | -9,4 | -7   | -4,2 | -2,6 | -1,2 | 1,7 |
| 2012  | 2,8  | 1,8 | 0,5  | -1,1 | -6,9 | -8,9 | -8,6 | -7,3 | -3,5 | -1,3 | 0,8  | 0,5 |
| PROM. | 2.62 | 2,4 | 1,84 | 0,74 | -4,8 | -7,7 | -7,9 | -6,6 | -3,4 | -0,8 | 0,26 | 1,7 |

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología- SENAMHI, diciembre 2016.

### 3.6.2.4. Temperatura media mensual

La medida de este valor nos permite identificar su tendencia y predecir cual será el comportamiento de este parámetro en los meses en que se desarrolle el estudio, debiendo señalar que el promedio de la Temperatura media oscila entre 2.78°C Julio y 1.3°C en noviembre.

**Tabla 17.** Temperatura media mensual (°C) Estación Macusani

| AÑO   | ENE | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  |
|-------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2008  | 8,1 | 7,6  | 7,8  | 6,7  | 5,5  | 3,6  | 2,6  | 4,6  | 6,2  | 7    | 8,3  | 7,7  |
| 2009  | 7,8 | 8,4  | 8,2  | 7,1  | 5,5  | 3,2  | 3,6  | 3,7  | 6,5  | 7,7  | 8,6  | 8,8  |
| 2010  | 8,8 | 8,6  | 8,8  | 7,6  | 5,6  | 4,5  | 3,2  | 4,3  | 6,5  | 7,8  | 8,4  | 9,2  |
| 2011  | 9   | 9    | 8,6  | 7,3  | 5,5  | 3,2  | 2,4  | 3,7  | 5,4  | 6,6  | 7    | 8,1  |
| 2012  | 8   | 8    | 7,5  | 6,9  | 3,9  | 2,1  | 2,2  | 3    | 5,4  | 6,9  | 8,1  | 7,5  |
| PROM. | 8,3 | 8,27 | 8,14 | 7,11 | 5,17 | 3,29 | 2,78 | 3,82 | 5,98 | 7,18 | 8,06 | 8,22 |

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología- SENAMHI, diciembre 2016.

Como se aprecia en el cuadro 18, los valores más bajos se alcanzan en los meses de invierno. Tendiendo a mantenerse constante de noviembre hasta marzo, a partir de donde empieza un descenso hasta julio, donde nuevamente se incrementa.

Esta información deberá de ser tomada en cuenta en el desarrollo del Estudio, pues permitirá tomar las previsiones necesarias en la etapa de perfilado de los taludes y la conservación y construcción del puente, sobre todo teniendo en cuenta que mucha de la mano de obra calificada que se empleara no es propia del lugar.

### 3.6.2.5. Precipitación

Se cuenta con las precipitaciones medias mensuales registradas en la estación de Macusani. El registro de las precipitaciones se muestra en el cuadro 3.2.1.8, estas varían desde los 7 mm en el mes de julio hasta los 160 mm en el mes de enero.

La estación está ubicada a 4130 msnm. La precipitación presenta un periodo húmedo durante los meses de setiembre y abril y un periodo seco entre los meses de mayo a agosto, propias del altiplano.

**Tabla 18.** Precipitación en la estación de Macusani

| MES                    | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Precipitación (mm/mes) | 160 | 143 | 122 | 58  | 18  | 8   | 7   | 15  | 34  | 52  | 84  | 133 |

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e hidrología – SENAMHI. 2016.

### 3.6.2.6. Intensidad de la lluvia

Debido a la escasa cantidad de información pluviográfica que se tiene, difícilmente pueden elaborarse las curvas de intensidad de lluvias, por lo que el valor de la intensidad de la precipitación pluvial máxima generalmente se estima a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración. En el cuadro No. 20, se muestran coeficientes de duración, entre 1 hora y 48 horas, los mismos que podrán usarse, con criterio y cautela, para el cálculo de la intensidad cuando no se disponga de mejor información.

**Tabla 19.** Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora

| Duración de la Precipitación (horas) | Coficiente |
|--------------------------------------|------------|
| 1                                    | 0.25       |
| 2                                    | 0.31       |
| 3                                    | 0.38       |
| 4                                    | 0.44       |
| 5                                    | 0.50       |
| 6                                    | 0.56       |
| 8                                    | 0.64       |
| 10                                   | 0.73       |
| 12                                   | 0.79       |
| 14                                   | 0.83       |
| 16                                   | 0.87       |
| 18                                   | 0.90       |
| 24                                   | 1.00       |
| 48                                   | 1.32       |

Fuente: Manual de diseño de carreteras.



La zona en donde se realizó le evaluación geotécnica para taludes en rocas y suelos, pertenece a un clima seco y frio entre los meses de abril a setiembre y Lluviosos y templado entre los meses de setiembre abril, por lo cual se recomienda realizar la construcción del puente en los meses secos y fríos recomendados, teniendo en cuenta datos de precipitaciones de los meses más críticos que son entre los meses lluviosos.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS EN LA TROCHA CARROZABLE DE LA LOCALIDAD DE ACCONSAYA – SECTOR CRUZHUASA - CORANI – CARABAYA – PUNO

Los estudios geológicos para este estudio han sido de suma importancia, debido a que nos mostró un panorama de los procesos geológicos ocurrientes en el área por la actividad de los procesos geodinámicos externos e internos que intervinieron en las formaciones geológicas y geomorfológica de la zona, en tal sentido a continuación se procederá a sustentar dicha evaluación.

##### 4.1.1. Estratigrafía local

En el área de estudio se ha identificado afloramientos rocas sedimentarias clásticas como lutitas, areniscas con presencia de conglomerados color rojo morado con espesores medios a gruesos pertenecientes al grupo Mitu (PsT-mi) pertenecientes al pérmico superior y Triásico inferior, que conforman la base más antigua de la conformación estratigráfica.

Continuando con la secuencia estratigráfica se han distinguido la presencia de macizos rocosos de la Formación Quenamari conformada por rocas volcánicas de tobas riolíticas que sobreyacen a las areniscas del del Grupo Mitu. Estos afloramientos se observan en mayor volumen en el trayecto de la trocha carrozable, las cuales se presenta en estructuras rocosas pertenecientes a la Miembro Chacacuniza (Nm-ch) del Mioceno y el Miembro Sapanuta (Nm-sa) del Plioceno, del cual estas rocas volcánicas del Mioceno y Plioceno tiene como basamento a las rocas del Grupo Mitu.



Los depósitos aluviales están presentes en áreas restringidas formando estructuras de suelo conformadas por arenas con presencia de arcillas y limos, las cuales se muestran en mayor área cerca al cauce.

**Tabla 20.** Formaciones geológicas presentes en el área de estudio

| ERA        | SISTEMA     | EPOCA    | UNIDAD             |                     | EDAD  |
|------------|-------------|----------|--------------------|---------------------|-------|
|            |             |          | LITOESTRATIGRAFICA |                     |       |
|            | Cuaternario | Holoceno | Deposito Aluvial   |                     | Qh-al |
| CENOZOICO  | Neógeno     | Plioceno | FORMACIÓN          | Miembro Sapanuta    | Nm-sa |
|            |             | Mioceno  | QUENAMARI          | Miembro Chacacuniza | Nm-ch |
| MESOZOICO  | Triásico    | Inferior | GRUPO MITU         |                     | PsT-  |
| PALEOZOICO | Pérmico     | Superior |                    |                     | mi    |

#### 4.1.2. Descripción geológica

Al realizar el estudio geológico se han encontrado en mayor proporción afloramientos de roca volcánica pertenecientes a la Formación Quenamari, las cuales están presentes entre las progresivas 1+150 a 3+800, que al analizar una muestra se observa la presencia de minerales identificados como: ortoclasa, sanidina, nefelina, vidrio volcánico que son minerales representativos de una fina lava volcánica, dicha muestra de roca se conoce como fonalíta. Estos macizos rocosos están conformados por discontinuidades tipo fracturas con orientaciones NO-SE, cuyos buzamientos son entre 40° a 70°, siendo casi paralelas al plano de talud.

Los afloramientos de roca areniscas pertenecientes al Grupo Mitu se encuentran presentes de manera diseminada entre las progresivas 0+250 a 2+600, observándose con un cierto grado de alteración por la saturación y por los efectos de las intensas



precipitaciones pluviales en la zona, incluso se pudo notar presencia fragmentos y bloques de roca formando parte del cuerpo de talud en estructuras de suelos.

#### **4.2. EVALUACION DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DE LAS ROCAS Y SUELOS PARA CONOCER EL COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LOS TALUDES**

Las evaluaciones geotécnicas de los macizos rocosos y suelos, ubicadas en la zona de estudio de la trocha carrozable Acconsaya - Cruzhuasa, las cuales inciden directa o indirectamente en su estabilidad, dentro de este análisis se considera las condiciones geotécnicas analizadas en los macizos rocosos y suelos, los cuales están afectados los procesos geodinámicos externos.

La aplicación de la ingeniería de rocas y suelos en la solución de problemas de estabilidad de taludes nos presenta métodos los cuales se han venido desarrollando y aplicando en estructuras mineras y civiles. El presente estudio consiste, en la aplicación de los métodos más conocidos para el análisis de estabilidad en taludes en roca y suelos. Este consiste en lo siguiente; revisión, recopilación y elaboración de informes preliminares, caracterización geológica (identificación de la litología), caracterización estructural (mapeo superficial de estructuras expuestas, espaciamiento, continuidad o persistencia, apertura, rugosidad, relleno, meteorización, agua en las discontinuidades y ángulo de fricción básica), caracterización geotécnica (clasificación geotécnica del macizo rocoso, valoración geotécnica del macizo rocoso, valoración geotécnica de estructuras de suelos y finalmente el análisis de estabilidad de taludes y su interacción por los siguientes métodos; estereográfico o cinemático, analítico o equilibrio límite y numérico. Obteniéndose parámetros típicos para cada una de las familias de discontinuidades y zona de mapeo, las cuales serán presentadas en cuadros de resumen y



gráficos estadísticos. Se realizó la valoración geotécnica para determinar la calidad de roca por el método RMR, donde estos datos serán importantes para los análisis de estabilidad de taludes propuestos.

El propósito de la evaluación geotécnica nos permitió obtener parámetros de una serie de propiedades intrínsecas de la roca intacta y estructuras conformadas por suelos, de modo de aplicar posteriormente criterios de análisis empíricos, que permiten determinar el comportamiento del terreno donde se realizara cortes de taludes, por tanto, el análisis de parámetros geológicos y geotécnicos determinarán las propiedades del macizo rocoso y suelos a partir de los principales sistemas de clasificación geotécnica para un correcto diseño de talud y así evitar probables fallas en los taludes.

#### **4.2.1. Evaluación geotécnica de taludes en suelos**

En el proceso de evaluación de la siguiente investigación, “Evaluación Geotécnica para la Estabilidad de Taludes en la Trocha Carrozable - Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya - Puno”, se han producido deslizamientos de los taludes ya perfilados de la trocha aperturada, obstaculizando el normal desenvolvimiento de las actividades, la misma que se observa en el Km 2+510 donde la trocha quedó completamente obstaculizada y obstruida para el tránsito, la misma que continúa deslizándose tal como se aprecia en las correspondientes fotografías, del mismo modo ocurrió deslizamientos en las progresivas Km 2+760 hasta Km 2+800, debido a las precipitaciones pluviales, en muchos tramos se observó que son formaciones de suelos coluviales compuestos por arena con contenidos de limos y arcillas, que al saturarse pierden su cohesión y causa inestabilidad en los taludes correspondientes. Considerando los problemas geológicos y realizado las pruebas en el laboratorio de GEOTECNIA & MECANICA DE ROCAS de la FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL

ALTIPLANO, tales como a continuación se describe: (Ver Anexo 5 – resultados de ensayos)

#### 4.2.1.1. Progresiva 2+510 al 2+650

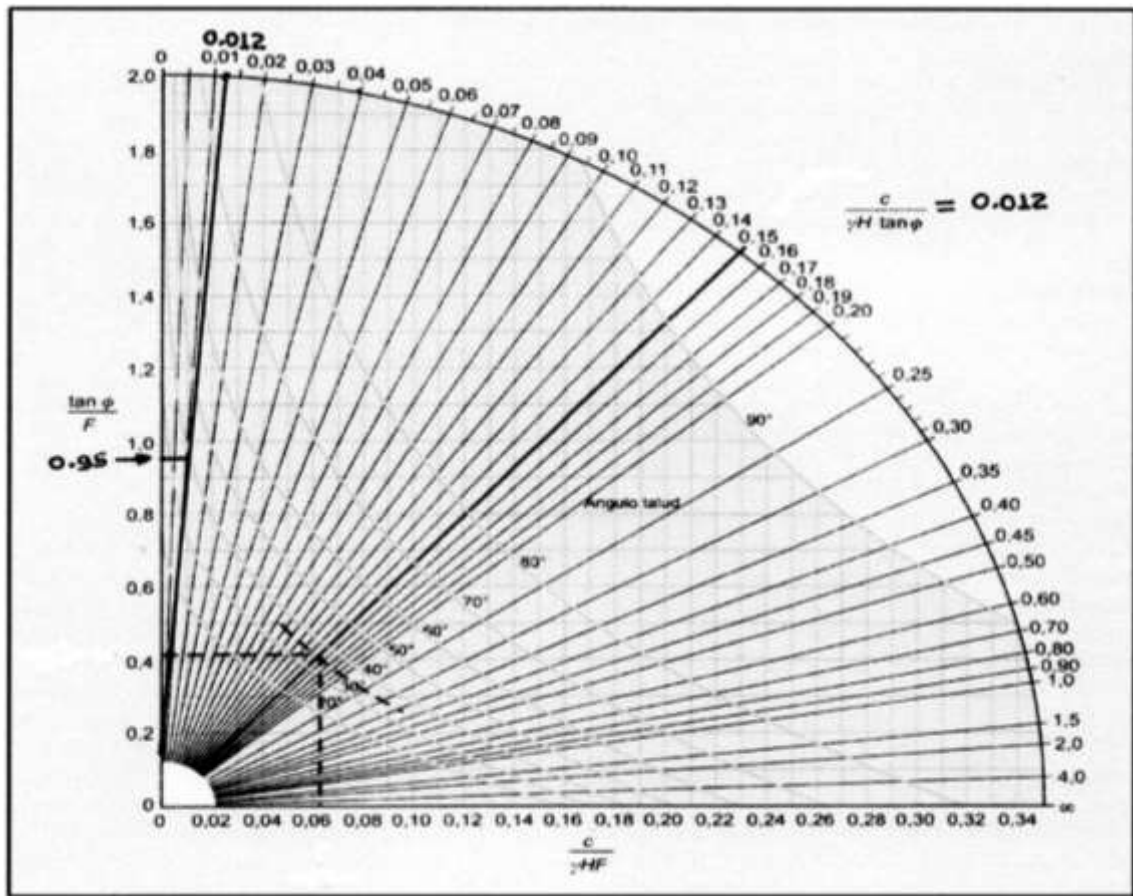
Obteniendo resultados de laboratorio según la Norma ASTM- D 2487-69 de la muestra obtenida en la progresiva 2+510, clasificándose según SUCS como arena mal graduada con grava (SP) y en la clasificación AASTHO como A-1-a (Fragmentos de roca, grava y arena). Según la Norma ASTM D 3080 – 98 al realizar el ensayo de corte directo CD resulto la cohesión de 0.0320 Kg/cm<sup>2</sup> y ángulo de fricción interna de 30.87°, al analizar los resultados se caracteriza como un suelo deleznable por la baja cohesión que tiene que al saturarse por la infiltración del agua como consecuencia de las precipitaciones pluviales causa problemas de deslizamientos de masas de suelos.

Existiendo además presencia de roca fracturada con cantos rodados, la cual están causan inestabilidad en los taludes de corte en estas épocas de avenidas.



**Figura 11.** Progresiva. 2+510 deslizamiento del cuerpo de talud

Mediante el uso del Abaco de Hoek y Bray se hace el cálculo de Factor de Seguridad (FS):



**Figura 12.** Ábaco de Hoek y Bray, progresivas 2+510 al 2+650

Cálculo de Factor de Seguridad (FS), utilizando el Abaco de Hoek y Bray, de los siguientes datos:

**Tabla 21.** Parámetros geotécnicos; cálculo de FS Km 2+510 al 2+650

| Descripción  | Valor     |
|--|-----------|
| Altura de talud (H)                                | 35m       |
| Angulo de talud ( $\beta$ )                        | 40°       |
| Angulo de fricción o rozamiento interno ( $\Phi$ ) | 30.87°    |
| Cohesión (C) (Tn/m2)                               | 0.320     |
| Peso Específico ( $\gamma$ ) (Tn/m3)               | 1.32      |
| Factor de seguridad (FS)                           | 0.63      |
| Condición  | Inestable |

Considerando el siguiente cálculo:

$$\frac{\tan \phi}{FS} = 0.95 \dots (\text{del abaco})$$

$$FS = 0.63 \dots (\text{Talud inestable})$$

#### 4.2.1.2. Progresiva 2+700 al 2+900

De la muestra obtenida al efectuar las pruebas de laboratorio según la Norma ASTM- D 2487-69, clasificándose según SUCS como Arena Mal graduada con grava (SP) y en la clasificación AASTHO como A-1-a (Fragmentos de roca, grava y arena). Según la Norma ASTM D 3080 – 98 al realizar el Ensayo de Corte Directo resulto la Cohesión de 0.0206 Kg/cm<sup>2</sup> y Angulo de fricción interna de 33.73° (Ver anexos No. 05), evaluando los resultados se caracteriza como un suelo deleznable por la baja cohesión que tiene que al saturarse por la infiltración del agua como consecuencia de las precipitaciones pluviales causa problemas de deslizamientos de masas de suelos observándose además la presencia de roca fracturada con cantos rodados en la conformación de la estructura del talud, causan problemas de estabilidad en los cortes de talud en las épocas de avenidas.



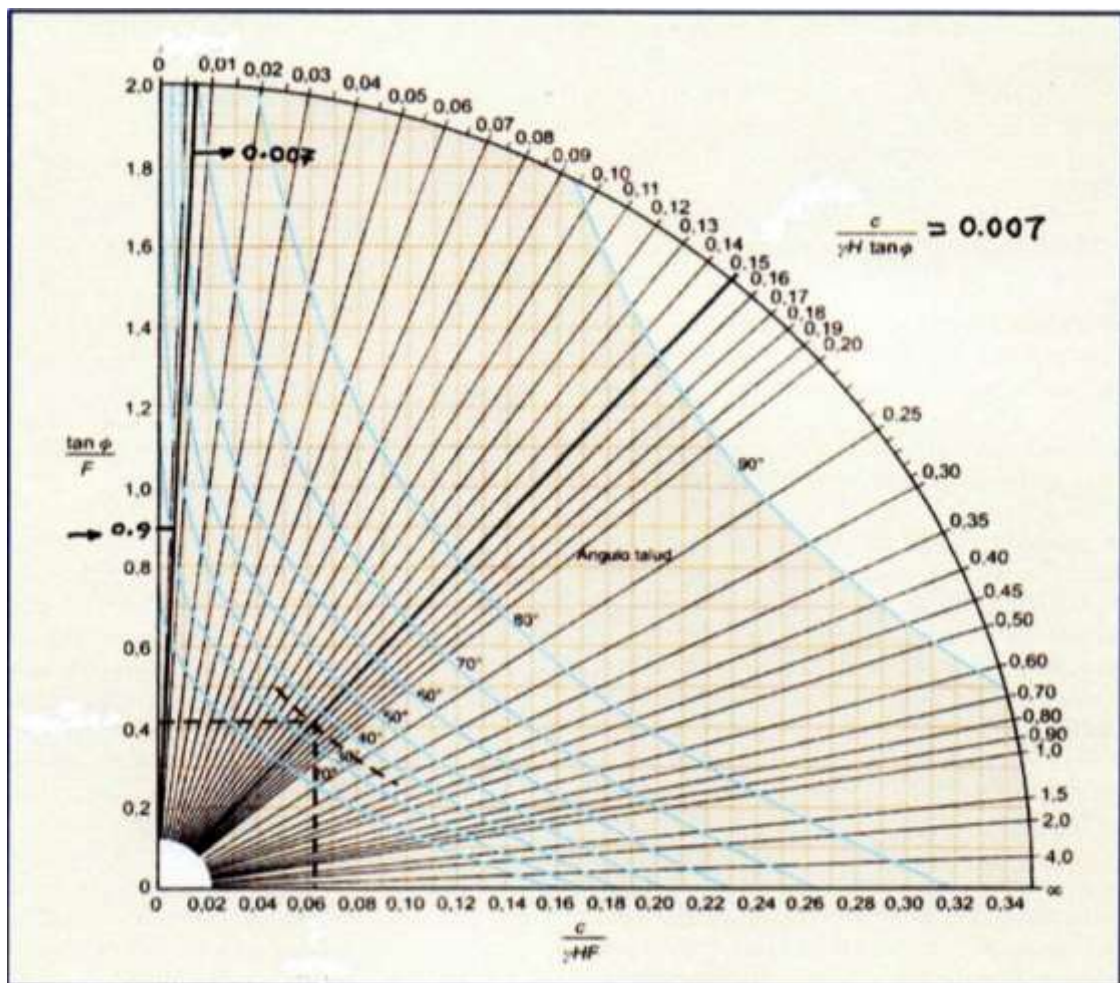
**Figura 13.** Deslizamiento del suelo al estar conformada en su estructura deleznable de arena arcillosa con contenidos de limo, saturados, progresivas del 2+700 al 2+900



Cálculo de Factor de Seguridad (FS), utilizando el Abaco de Hoek y Bary, de los siguientes datos:

**Tabla 22.** Parámetros geotécnicos; cálculo de FS Km 2+510 al 2+650

| Descripción  | Valor     |
|--|-----------|
| Altura de talud (H)                                | 40m       |
| Angulo de talud ( $\beta$ )                        | 30°       |
| Angulo de fricción o rozamiento interno ( $\Phi$ ) | 33.73°    |
| Cohesión (C) (Tn/m <sup>2</sup> )                  | 0.206     |
| Peso Específico ( $\gamma$ ) (Tn/m <sup>3</sup> )  | 1.05      |
| Factor de seguridad (FS)                           | 0.74      |
| Condición  | Inestable |



**Figura 14.** Ábaco de Hoek y Bray, progresivas 2+700 al 2+900

Considerando el siguiente cálculo:

$$\frac{\tan \phi}{FS} = 0.9 \dots (\text{del abaco})$$

$$FS = 0.74 \dots (\text{Talud inestable})$$

#### 4.2.1.3. Progresivas 3+100 al 3+660

Realizado las pruebas de laboratorio según la Norma ASTM- D 2487-69 de la muestra obtenida en la progresiva 3+100, clasificándose según SUCS como Arena Limosa (SM) y en la clasificación AASTHO como A-4 (Suelo limoso). Según la Norma ASTM D 3080 – 98 al realizar el Ensayo de Corte Directo CD resulto la Cohesión de 0.0921 Kg/cm<sup>2</sup> y Angulo de fricción interna de 34.43° (Ver anexo No. 05), al analizar los resultados se caracteriza como un suelo con riesgo geológico por su disminución de la cohesión por efectos de la sobresaturación debido a la infiltración del agua de las precipitaciones pluviales, la cual se muestra como suelos deleznable en el plano del talud.



**Figura 15.** Existencia de material que se va desprendiendo de los taludes por efectos de las filtraciones de agua producto de las lluvias, Progresivas del 3+100 al 3+660



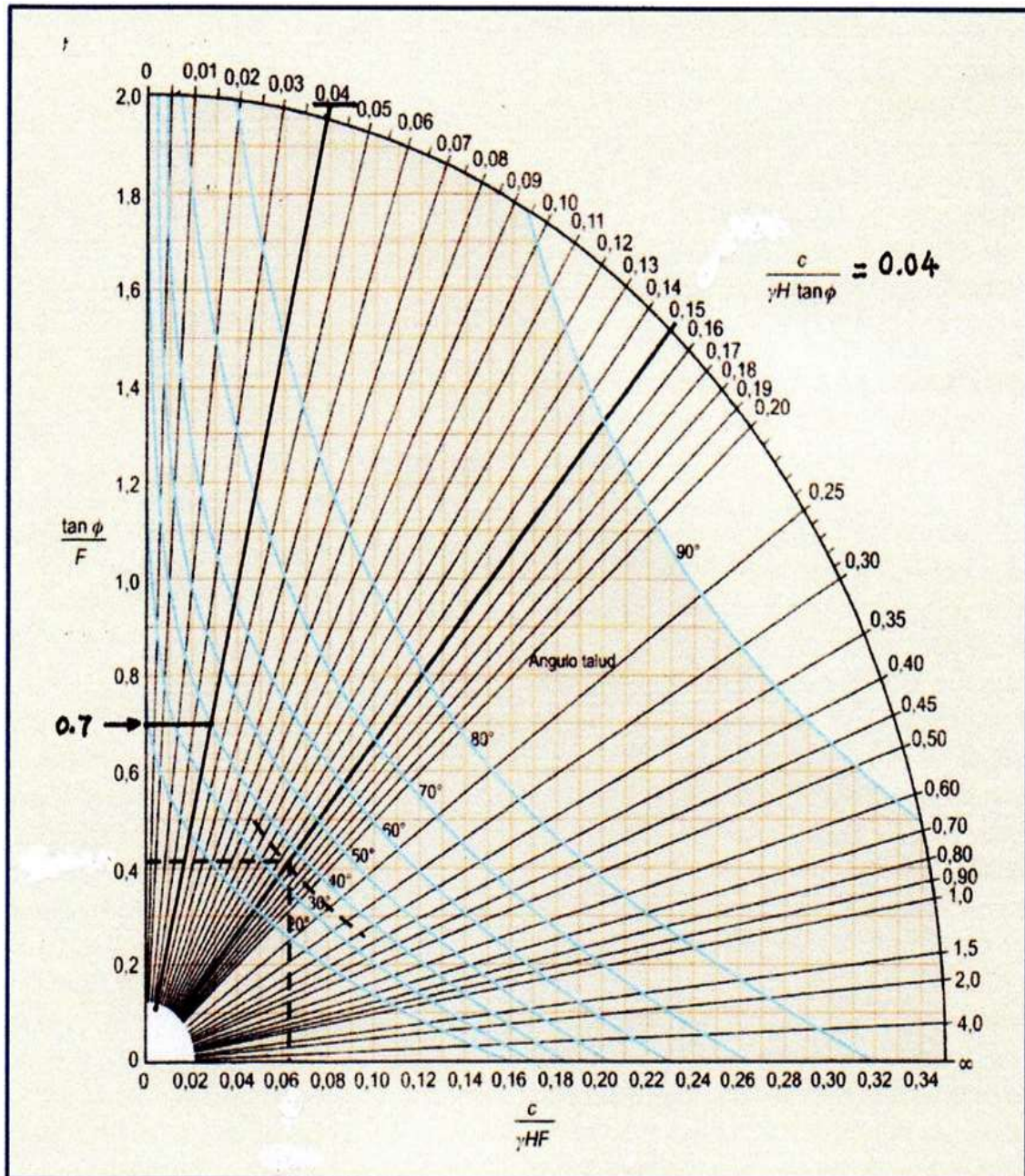


Figura 16. Abaco de Hoek y Bray, progresivas 3+100 al 3+660

Considerando el siguiente cálculo:

$$\frac{\tan \phi}{FS} = 0.7 \dots (\text{del abaco})$$

$$FS = 0.98 \dots (\text{Talud inestable})$$

**Tabla 23.** Parámetros geotécnicos; cálculo de FS Km 3+100 al 3+660

| Descripción  | Valor     |
|--|-----------|
| Altura de talud (H)                                | 40m       |
| Angulo de talud ( $\beta$ )                        | 40°       |
| Angulo de fricción o rozamiento interno ( $\Phi$ ) | 34.43°    |
| Cohesión (C) (Tn/m <sup>2</sup> )                  | 0.921     |
| Peso Específico ( $\gamma$ ) (Tn/m <sup>3</sup> )  | 0.92      |
| Factor de seguridad (FS)                           | 0.98      |
| Condición  | Inestable |

#### 4.2.1.4. Progresiva 3+870 al 4+200

Se observa la presencia de estructuras geológicas conformadas por suelos orgánicos y fragmentos de roca, la cual tiene condiciones inestables en los taludes, por la sobre saturación que las precipitaciones causan considerando que los suelos orgánicos su cohesión es muy baja y facilita el deslizamiento de los cortes de talud.

Por ser temporada de precipitaciones pluviales en la zona la plataforma de rodadura apertura da después de las precipitaciones se presentan totalmente saturadas, siendo imposible el transito normal de las maquinarias y vehículos.

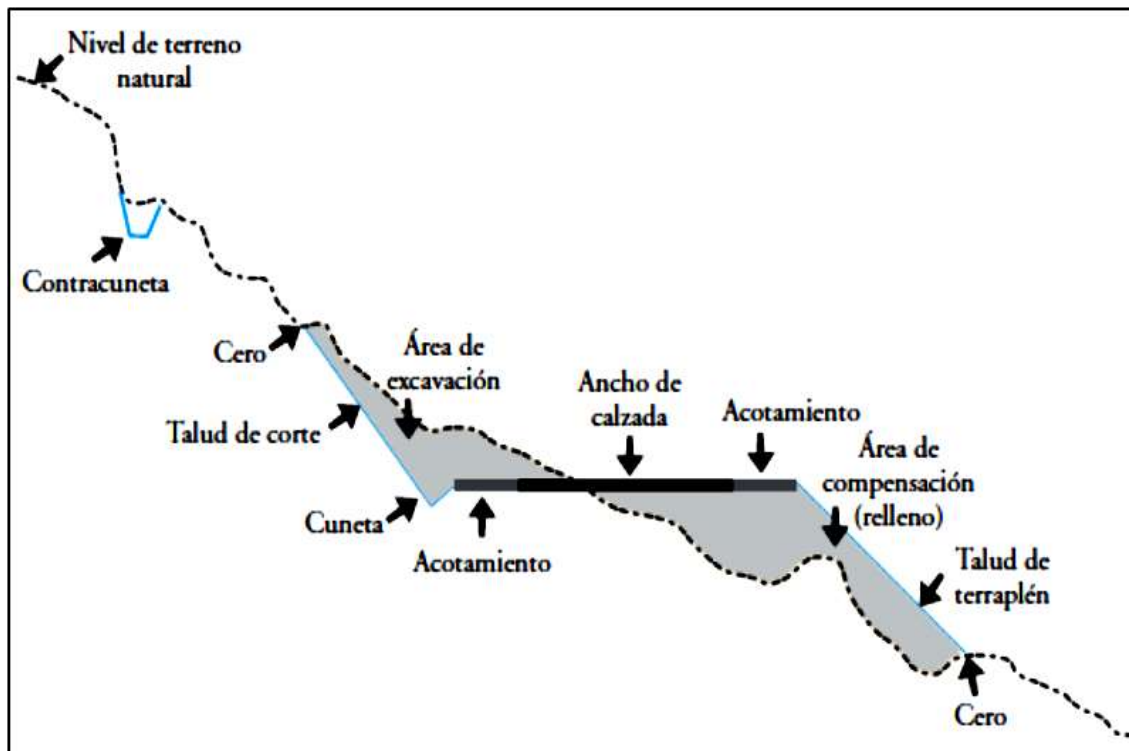


**Figura 17.** Estructuras de taludes conformadas por suelos orgánicos y fragmentos de roca, progresivas del 3+870 al 4+200

**Tabla 24.** Parámetros geotécnicos; cálculo de FS Km 3+870 al 4+200

| Descripción  | Valor     |
|--|-----------|
| Altura de talud (H)                                | 39m       |
| Angulo de talud ( $\beta$ )                        | 30°       |
| Angulo de fricción o rozamiento interno ( $\Phi$ ) | 33.71     |
| Cohesión (C) (Tn/m <sup>2</sup> )                  | 0.201     |
| Peso Específico ( $\gamma$ ) (Tn/m <sup>3</sup> )  | 1.04      |
| Factor de seguridad (FS)                           | 0.84      |
| Condición  | Inestable |

La presencia de precipitaciones en la zona ocasiona problemas de inestabilidad en los taludes de suelos, por esto resulta inestables en la cual se sugiere realizar el corte de talud de forma escalonada, de tal manera que se estaría estabilizando al disminuir las alturas de corte, por esto se sugiere llevar el siguiente corte.



**Figura 18.** Propuesta de diseño de talud en suelo



#### **4.2.2. Evaluación geotécnica de taludes en roca**

Los estudios realizados en taludes en roca en la presente investigación, tiene como propósito de reconocer geológica y geotécnicamente el área de estudio afectada por excavación, con el fin de obtener los parámetros necesarios, para realizar la estabilidad mediante el adecuado diseño de taludes en roca.

Los análisis de estabilidad se aplican al diseño de taludes o cuando estos presentan problemas de inestabilidad. Para ello se debe tener un factor de seguridad adecuado, en la cual también dependerá de la orientación de las discontinuidades en cortes de taludes en roca, cuyos factores de seguridad de talud es de 1.3, por el cual podríamos considerarlos como favorable.

##### **4.2.2.1. Clasificación RMR**

Para clasificar geomecánicamente a los macizos rocosos, se utilizó el criterio de clasificación geomecánica de BIENIAWSKI (RMR – Valoración del Macizo Rocoso – 1989). Uno de los parámetros más importantes para evaluar el comportamiento mecánico de la masa rocosa es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta ( $\sigma_c$ ).

Los valores del índice de calidad de la roca (RQD) fueron determinados mediante el registro lineal de discontinuidades, utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986) teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal y el método empírico.

La descripción y medida de las características y propiedades de la matriz rocosa y de los parámetros del macizo rocoso, proporcionaron los datos necesarios para la evaluación geomecánica del macizo rocoso estudiado, a partir de estos datos, la aplicación de la clasificación geomecánica, permitieron estimar la calidad y los parámetros



resistentes (cohesión y ángulo de fricción interna), las cuales se han realizado pruebas de compresión uniaxial, tal como se registran en los cuadros correspondientes.

Para la determinación de la calidad de roca según el RMR, se ha realizado trabajos de campo.

**Tabla 25.** Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8466800N – 331000E

|         |                                       |                                       |               |                         |                           |                        |                                 |       |     |
|---------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------|-------|-----|
| 1       | Resistencia de la matriz rocosa (Mpa) | Rango de valores<br>Compresión simple | > 250         | 250 - 100               | 100 - 50                  | 50 - 25                | 25 - 5                          | 5 - 1 | < 1 |
|         | 98.70                                 | Puntuación                            | 15            | 12                      | 7                         | 4                      | 2                               | 1     | 0   |
|         |                                       |                                       |               |                         |                           | Valuación: (1)         | 7                               |       |     |
| 2       | RQD (%)                               | Rango de valores                      | 90 - 100      | 75 - 90                 | 50 - 75                   | 25 - 50                | < 25                            |       |     |
|         | 83%                                   | Puntuación                            | 20            | 17                      | 13                        | 6                      | 3                               |       |     |
|         |                                       |                                       |               |                         |                           | Valuación: (2)         | 17                              |       |     |
| 3       | Espaciamiento                         | Rango de valores                      | > 2 m.        | 0.6 - 2 m.              | 0.2 - 0.6 m.              | 0.06 - 0.2 m.          | < 0.06 m.                       |       |     |
|         | 0.425.m.                              | Puntuación                            | 20            | 15                      | 10                        | 8                      | 5                               |       |     |
|         |                                       |                                       |               |                         |                           | Valuación: (3)         | 10                              |       |     |
| 4       | Longitud de la discontinuidad         | Rango de valores                      | < 1 m.        | 1 - 3 m.                | 3 - 10 m.                 | 10 - 20                | > 20 m.                         |       |     |
|         | < 1 m.                                | Puntuación                            | 6             | 4                       | 2                         | 1                      | 0                               |       |     |
|         |                                       |                                       |               |                         |                           | Valuación: (4)         | 6                               |       |     |
| 4       | Abertura                              | Rango de valores                      | Nada          | < 0.1 mm.               | 0.1 - 1.0 mm.             | 1 - 5 mm.              | > 5 mm.                         |       |     |
|         | 2 mm.                                 | Puntuación                            | 6             | 5                       | 3                         | 1                      | 0                               |       |     |
|         |                                       |                                       |               |                         |                           | Valuación: (5)         | 1                               |       |     |
| 4       | Rugosidad                             | Condición                             | Muy rugosa    | Rugosa                  | Ligeramente rugosa        | Ondulada               | Suave (Pulida)                  |       |     |
|         | Rugosa                                | Puntuación                            | 6             | 5                       | 3                         | 1                      | 0                               |       |     |
|         |                                       |                                       |               |                         |                           | Valuación: (6)         | 5                               |       |     |
| 4       | Relleno                               | Rango de valores                      | Ninguno       | Relleno duro < 5 mm.    | Relleno duro > 5 mm.      | Relleno blando < 5 mm. | Relleno blando > 5 mm.          |       |     |
|         | 3 mm.                                 | Puntuación                            | 6             | 4                       | 2                         | 2                      | 0                               |       |     |
|         |                                       |                                       |               |                         |                           | Valuación: (7)         | 4                               |       |     |
| 4       | Alteración                            | Condición                             | No intemperiz | Ligeramente intemperiz. | Moderadamente intemperiz. | Muy intemperiz.        | Completamente intemperizada     |       |     |
|         | Mod. Intemp.                          | Puntuación                            | 6             | 5                       | 3                         | 1                      | 0                               |       |     |
|         |                                       |                                       |               |                         |                           | Valuación: (8)         | 5                               |       |     |
| 5       | Agua freática                         | Estado general                        | Seco          | Ligeramente húmedo      | Húmedo                    | Goteando               | Agua fluyendo                   |       |     |
|         | Fluyendo                              | Puntuación                            | 15            | 10                      | 7                         | 4                      | 0                               |       |     |
|         |                                       |                                       |               |                         |                           | Valuación: (9)         | 7                               |       |     |
| Roca    | Clase de roca                         | RMR                                   | m             | s                       | Mi                        | $\sigma_{ci}$          | Angulo de Fricción (Bieniawski) | GSI   |     |
| RQD 83% | II (*)                                | 62 (*)                                | 1.216 (*)     | 0.00432 (*)             | 15 (**)                   | 98.70 Mpa (***)        | 35° - 45°                       | 57    |     |

(\*) Valor calculado, (\*\*) Valores tomados de Hoek y Brown (1997), (\*\*\*) Valor de ensayo de Laboratorio

**Tabla 26.** Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8466900N – 331050E

|                     |                                       |                                    |               |                         |                           |                        |                                 |       |     |
|---------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------|-------|-----|
| 1                   | Resistencia de la matriz rocosa (Mpa) | Rango de valores Compresión simple | > 250         | 250 - 100               | 100 - 50                  | 50 - 25                | 25 - 5                          | 5 - 1 | < 1 |
|                     |                                       | Puntuación                         | 15            | 12                      | 7                         | 4                      | 2                               | 1     | 0   |
| 54.49               |                                       | Valuación: (1)                     |               |                         |                           |                        |                                 |       | 7   |
| 2                   | RQD (%)                               | Rango de valores                   | 90 - 100      | 75 - 90                 | 50 - 75                   | 25 - 50                | < 25                            |       |     |
|                     |                                       | Puntuación                         | 20            | 17                      | 13                        | 6                      | 3                               |       |     |
| 59%                 |                                       | Valuación: (2)                     |               |                         |                           |                        |                                 |       | 13  |
| 3                   | Espaciamiento                         | Rango de valores                   | > 2 m.        | 0.6 - 2 m.              | 0.2 - 0.6 m.              | 0.06 - 0.2 m.          | < 0.06 m.                       |       |     |
|                     |                                       | Puntuación                         | 20            | 15                      | 10                        | 8                      | 5                               |       |     |
| 0.06 m.             |                                       | Valuación: (3)                     |               |                         |                           |                        |                                 |       | 8   |
| 4                   | Longitud de la discontinuidad         | Rango de valores                   | < 1 m.        | 1 - 3 m.                | 3 - 10 m.                 | 10 - 20                | > 20 m.                         |       |     |
|                     |                                       | Puntuación                         | 6             | 4                       | 2                         | 1                      | 0                               |       |     |
| < 1 m.              |                                       | Valuación: (4)                     |               |                         |                           |                        |                                 |       | 6   |
| 4                   | Abertura                              | Rango de valores                   | Nada          | < 0.1 mm.               | 0.1 - 1.0 mm.             | 1 - 5 mm.              | > 5 mm.                         |       |     |
|                     |                                       | Puntuación                         | 6             | 5                       | 3                         | 1                      | 0                               |       |     |
| 3 mm.               |                                       | Valuación: (5)                     |               |                         |                           |                        |                                 |       | 1   |
| 4                   | Rugosidad                             | Condición                          | Muy rugosa    | Rugosa                  | Ligeramente rugosa        | Ondulada               | Suave (Pulida)                  |       |     |
|                     |                                       | Puntuación                         | 6             | 5                       | 3                         | 1                      | 0                               |       |     |
| Rugosa              |                                       | Valuación: (6)                     |               |                         |                           |                        |                                 |       | 5   |
| 4                   | Relleno                               | Rango de valores                   | Ninguno       | Relleno duro < 5 mm.    | Relleno duro > 5 mm.      | Relleno blando < 5 mm. | Relleno blando > 5 mm.          |       |     |
|                     |                                       | Puntuación                         | 6             | 4                       | 2                         | 2                      | 0                               |       |     |
| 3 mm.               |                                       | Valuación: (7)                     |               |                         |                           |                        |                                 |       | 4   |
| 4                   | Alteración                            | Condición                          | No intemperiz | Ligeramente intemperiz. | Moderadamente intemperiz. | Muy intemperiz.        | Completamente intemperizada     |       |     |
|                     |                                       | Puntuación                         | 6             | 5                       | 3                         | 1                      | 0                               |       |     |
| Mod. Intemperizada. |                                       | Valuación: (8)                     |               |                         |                           |                        |                                 |       | 5   |
| 5                   | Agua freática                         | Estado general                     | Seco          | Ligeramente húmedo      | Húmedo                    | Goteando               | Agua fluyendo                   |       |     |
|                     |                                       | Puntuación                         | 15            | 10                      | 7                         | 4                      | 0                               |       |     |
| Fluyendo            |                                       | Valuación: (9)                     |               |                         |                           |                        |                                 |       | 0   |
| Roca                | Clase de roca                         | RMR                                | m             | S                       | mi                        | $\sigma_{ci}$          | Angulo de Fricción (Bieniawski) | GSI   |     |
| RQD 59%             | III (*)                               | 49 (**)                            | 1.133 (**)    | 0.00346 (**)            | 19 (**)                   | 54.49 Mpa (***)        | 25°-35°                         | 44    |     |

(\*) Valor calculado, (\*\*) Valores tomados de Hoek y Brown (1997), (\*\*\*) Valor de ensayo de Laboratorio

**Tabla 27.** Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8466700N – 331600E

|         |                                       |                  |               |                         |                           |                        |                                 |       |     |
|---------|---------------------------------------|------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------|-------|-----|
| 1       | Resistencia de la matriz rocosa (Mpa) | Rango de valores | > 250         | 250 - 100               | 100 - 50                  | 50 - 25                | 25 - 5                          | 5 - 1 | < 1 |
|         |                                       | Puntuación       | 15            | 12                      | 7                         | 4                      | 2                               | 1     | 0   |
|         | 65.50                                 | Valuación: (1)   |               |                         |                           |                        |                                 | 7     |     |
| 2       | RQD (%)                               | Rango de valores | 90 - 100      | 75 - 90                 | 50 - 75                   | 25 - 50                | < 25                            |       |     |
|         |                                       | Puntuación       | 20            | 17                      | 13                        | 6                      | 3                               |       |     |
|         | 62%                                   | Valuación: (2)   |               |                         |                           |                        |                                 | 13    |     |
| 3       | Espaciamiento                         | Rango de valores | > 2 m.        | 0.6 - 2 m.              | 0.2 - 0.6 m.              | 0.06 - 0.2 m.          | < 0.06 m.                       |       |     |
|         |                                       | Puntuación       | 20            | 15                      | 10                        | 8                      | 5                               |       |     |
|         | 0.45 m.                               | Valuación: (3)   |               |                         |                           |                        |                                 | 10    |     |
| 4       | Longitud de la discontinuidad         | Rango de valores | < 1 m.        | 1 - 3 m.                | 3 - 10 m.                 | 10 - 20                | > 20 m.                         |       |     |
|         |                                       | Puntuación       | 6             | 4                       | 2                         | 1                      | 0                               |       |     |
|         | < 1 m.                                | Valuación: (4)   |               |                         |                           |                        |                                 | 6     |     |
| 4       | Abertura                              | Rango de valores | Nada          | < 0.1 mm.               | 0.1 - 1.0 mm.             | 1 - 5 mm.              | > 5 mm.                         |       |     |
|         |                                       | Puntuación       | 6             | 5                       | 3                         | 1                      | 0                               |       |     |
|         | 4 mm.                                 | Valuación: (5)   |               |                         |                           |                        |                                 | 1     |     |
| 4       | Rugosidad                             | Condición        | Muy rugosa    | Rugosa                  | Ligeramente rugosa        | Ondulada               | Suave (Pulida)                  |       |     |
|         |                                       | Puntuación       | 6             | 5                       | 3                         | 1                      | 0                               |       |     |
|         | Rugosa                                | Valuación: (6)   |               |                         |                           |                        |                                 | 5     |     |
| 4       | Relleno                               | Rango de valores | Ninguno       | Relleno duro < 5 mm.    | Relleno duro > 5 mm.      | Relleno blando < 5 mm. | Relleno blando > 5 mm.          |       |     |
|         |                                       | Puntuación       | 6             | 4                       | 2                         | 2                      | 0                               |       |     |
|         | 10 mm.                                | Valuación: (7)   |               |                         |                           |                        |                                 | 2     |     |
| 4       | Alteración                            | Condición        | No intemperiz | Ligeramente intemperiz. | Moderadamente intemperiz. | Muy intemperiz.        | Completamente intemperizada     |       |     |
|         |                                       | Puntuación       | 6             | 5                       | 3                         | 1                      | 0                               |       |     |
|         | Ligeram.. Intemperizada.              | Valuación: (8)   |               |                         |                           |                        |                                 | 5     |     |
| 5       | Agua freática                         | Estado general   | Seco          | Ligeramente húmedo      | Húmedo                    | Goteando               | Agua fluyendo                   |       |     |
|         |                                       | Puntuación       | 15            | 10                      | 7                         | 4                      | 0                               |       |     |
|         | Fluyendo                              | Valuación: (9)   |               |                         |                           |                        |                                 | 0     |     |
| Roca    | Clase de roca                         | RMR              | m             | s                       | mi                        | $\sigma_{ci}$          | Angulo de Fricción (Bieniawski) | GSI   |     |
| RQD 62% | III (*)                               | 49 (*)           | 1.133 (*)     | 0.00346 (*)             | 19 (**)                   | 65.50 Mpa (***)        | 25°-35°                         | 42    |     |

(\*) Valor calculado, (\*\*) Valores tomados de Hoek y Brown (1997), (\*\*\*) Valor de ensayo de Laboratorio



**Tabla 28.** Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8466850N – 331750E

|              |                                       |                                    |               |                         |                           |                        |                                 |                             |     |
|--------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----|
| 1            | Resistencia de la matriz rocosa (Mpa) | Rango de valores Compresión simple | > 250         | 250 - 100               | 100 - 50                  | 50 - 25                | 25 - 5                          | 5 - 1                       | < 1 |
|              |                                       | Puntuación                         | 15            | 12                      | 7                         | 4                      | 2                               | 1                           | 0   |
| 62.69        |                                       | Valuación: (1)                     |               |                         |                           |                        |                                 |                             | 7   |
| 2            | RQD (%)                               | Rango de valores                   | 90 - 100      | 75 - 90                 | 50 - 75                   | 25 - 50                | < 25                            |                             |     |
|              |                                       | Puntuación                         | 20            | 17                      | 13                        | 6                      | 3                               |                             |     |
| 99%          |                                       | Valuación: (2)                     |               |                         |                           |                        |                                 |                             | 20  |
| 3            | Espaciamiento                         | Rango de valores                   | > 2 m.        | 0.6 - 2 m.              | 0.2 - 0.6 m.              | 0.06 - 0.2 m.          |                                 | < 0.06 m.                   |     |
|              |                                       | Puntuación                         | 20            | 15                      | 10                        | 8                      |                                 | 5                           |     |
| 0.10 m.      |                                       | Valuación: (3)                     |               |                         |                           |                        |                                 |                             | 8   |
| 4            | Longitud de la discontinuidad         | Rango de valores                   | < 1 m.        | 1 - 3 m.                | 3 - 10 m.                 | 10 - 20                |                                 | > 20 m.                     |     |
|              |                                       | Puntuación                         | 6             | 4                       | 2                         | 1                      |                                 | 0                           |     |
| < 1 m.       |                                       | Valuación: (4)                     |               |                         |                           |                        |                                 |                             | 6   |
| 4            | Abertura                              | Rango de valores                   | Nada          | < 0.1 mm.               | 0.1 - 1.0 mm.             | 1 - 5 mm.              |                                 | > 5 mm.                     |     |
|              |                                       | Puntuación                         | 6             | 5                       | 3                         | 1                      |                                 | 0                           |     |
| 3 mm.        |                                       | Valuación: (5)                     |               |                         |                           |                        |                                 |                             | 1   |
| 4            | Rugosidad                             | Condición                          | Muy rugosa    | Rugosa                  | Ligeramente rugosa        | Ondulada               |                                 | Suave (Pulida)              |     |
|              |                                       | Puntuación                         | 6             | 5                       | 3                         | 1                      |                                 | 0                           |     |
| Rugosa       |                                       | Valuación: (6)                     |               |                         |                           |                        |                                 |                             | 5   |
| 4            | Relleno                               | Rango de valores                   | Ninguno       | Relleno duro < 5 mm.    | Relleno duro > 5 mm.      | Relleno blando < 5 mm. |                                 | Relleno blando > 5 mm.      |     |
|              |                                       | Puntuación                         | 6             | 4                       | 2                         | 2                      |                                 | 0                           |     |
| 3 mm.        |                                       | Valuación: (7)                     |               |                         |                           |                        |                                 |                             | 2   |
| 4            | Alteración                            | Condición                          | No intemperiz | Ligeramente intemperiz. | Moderadamente intemperiz. | Muy intemperiz.        |                                 | Completamente intemperizada |     |
|              |                                       | Puntuación                         | 6             | 5                       | 3                         | 1                      |                                 | 0                           |     |
| Mod. Intemp. |                                       | Valuación: (8)                     |               |                         |                           |                        |                                 |                             | 3   |
| 5            | Agua freática                         | Estado general                     | Seco          | Ligeramente húmedo      | Húmedo                    | Goteando               |                                 | Agua fluyendo               |     |
|              |                                       | Puntuación                         | 15            | 10                      | 7                         | 4                      |                                 | 0                           |     |
| Húmedo       |                                       | Valuación: (9)                     |               |                         |                           |                        |                                 |                             | 7   |
| Roca         | Clase de roca                         | RMR                                | m             | s                       | mi                        | $\sigma_{ci}$          | Angulo de Fricción (Bieniawski) | GSI                         |     |
| RQD 99%      | III (*)                               | 59 (*)                             | 1.619 (*)     | 0.01051 (*)             | 19 (**)                   | 62.69 Mpa (***)        | 25°-35°                         | 54                          |     |

(\*) Valor calculado, (\*\*) Valores tomados de Hoek y Brown (1997), (\*\*\*) Valor de ensayo de Laboratorio



**Tabla 29.** Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8467000N – 332150E

|         |                                       |                                    |                |                         |                           |                        |                                 |       |     |
|---------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------|-------|-----|
| 1       | Resistencia de la matriz rocosa (Mpa) | Rango de valores Compresión simple | > 250          | 250 - 100               | 100 - 50                  | 50 - 25                | 25 - 5                          | 5 - 1 | < 1 |
|         | 80.15                                 | Puntuación                         | 15             | 12                      | 7                         | 4                      | 2                               | 1     | 0   |
|         |                                       |                                    |                |                         |                           | Valuación: (1) 7       |                                 |       |     |
| 2       | RQD (%)                               | Rango de valores                   | 90 - 100       | 75 - 90                 | 50 - 75                   | 25 - 50                | < 25                            |       |     |
|         | 76%                                   | Puntuación                         | 20             | 17                      | 13                        | 6                      | 3                               |       |     |
|         |                                       |                                    |                |                         |                           | Valuación: (2) 17      |                                 |       |     |
| 3       | Espaciamiento                         | Rango de valores                   | > 2 m.         | 0.6 - 2 m.              | 0.2 - 0.6 m.              | 0.06 - 0.2 m.          | < 0.06 m.                       |       |     |
|         | 0.825.m.                              | Puntuación                         | 20             | 15                      | 10                        | 8                      | 5                               |       |     |
|         |                                       |                                    |                |                         |                           | Valuación: (3) 15      |                                 |       |     |
| 4       | Longitud de la discontinuidad         | Rango de valores                   | < 1 m.         | 1 - 3 m.                | 3 - 10 m.                 | 10 - 20                | > 20 m.                         |       |     |
|         | 2.5 m.                                | Puntuación                         | 6              | 4                       | 2                         | 1                      | 0                               |       |     |
|         |                                       |                                    |                |                         |                           | Valuación: (4) 4       |                                 |       |     |
| 4       | Abertura                              | Rango de valores                   | Nada           | < 0.1 mm.               | 0.1 - 1.0 mm.             | 1 - 5 mm.              | > 5 mm.                         |       |     |
|         | 2 mm.                                 | Puntuación                         | 6              | 5                       | 3                         | 1                      | 0                               |       |     |
|         |                                       |                                    |                |                         |                           | Valuación: (5) 1       |                                 |       |     |
| 4       | Rugosidad                             | Condición                          | Muy rugosa     | Rugosa                  | Ligeramente rugosa        | Ondulada               | Suave (Pulida)                  |       |     |
|         | Lig. Rugosa                           | Puntuación                         | 6              | 5                       | 3                         | 1                      | 0                               |       |     |
|         |                                       |                                    |                |                         |                           | Valuación: (6) 3       |                                 |       |     |
| 4       | Relleno                               | Rango de valores                   | Ninguno        | Relleno duro < 5 mm.    | Relleno duro > 5 mm.      | Relleno blando < 5 mm. | Relleno blando > 5 mm.          |       |     |
|         | 3 mm.                                 | Puntuación                         | 6              | 4                       | 2                         | 2                      | 0                               |       |     |
|         |                                       |                                    |                |                         |                           | Valuación: (7) 4       |                                 |       |     |
| 4       | Alteración                            | Condición                          | No intemperiz. | Ligeramente intemperiz. | Moderadamente intemperiz. | Muy intemperiz.        | Completamente intemperizada     |       |     |
|         | Mod. Intemp.                          | Puntuación                         | 6              | 5                       | 3                         | 1                      | 0                               |       |     |
|         |                                       |                                    |                |                         |                           | Valuación: (8) 3       |                                 |       |     |
| 5       | Agua freática                         | Estado general                     | Seco           | Ligeramente húmedo      | Húmedo                    | Goteando               | Agua fluyendo                   |       |     |
|         | Humedo                                | Puntuación                         | 15             | 10                      | 7                         | 4                      | 0                               |       |     |
|         |                                       |                                    |                |                         |                           | Valuación: (9) 7       |                                 |       |     |
| Roca    | Clase de roca                         | RMR                                | m              | s                       | mi                        | $\sigma_{ci}$          | Angulo de Fricción (Bieniawski) | GSI   |     |
| RQD 76% | III (*)                               | 54 (*)                             | 1.354 (*)      | 0.00603 (*)             | 19 (**)                   | 80.15 Mpa (***)        | 25°-35°                         | 49    |     |

(\*) Valor calculado, (\*\*) Valores tomados de Hoek y Brown (1997), (\*\*\*) Valor de ensayo de Laboratorio

**Tabla 30.** Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8466450N – 330600E

|   |                                       |                                    |       |           |          |         |                |       |     |
|---|---------------------------------------|------------------------------------|-------|-----------|----------|---------|----------------|-------|-----|
| 1 | Resistencia de la matriz rocosa (Mpa) | Rango de valores Compresión simple | > 250 | 250 - 100 | 100 - 50 | 50 - 25 | 25 - 5         | 5 - 1 | < 1 |
|   |                                       | Puntuación                         | 15    | 12        | 7        | 4       | 2              | 1     | 0   |
|   | 80.50                                 |                                    |       |           |          |         | Valuación: (1) | 7     |     |

|   |         |                  |          |         |         |         |                |
|---|---------|------------------|----------|---------|---------|---------|----------------|
| 2 | RQD (%) | Rango de valores | 90 - 100 | 75 - 90 | 50 - 75 | 25 - 50 | < 25           |
|   |         | Puntuación       | 20       | 17      | 13      | 6       | 3              |
|   | 61%     |                  |          |         |         |         | Valuación: (2) |

|   |               |                  |        |            |              |               |                |
|---|---------------|------------------|--------|------------|--------------|---------------|----------------|
| 3 | Espaciamiento | Rango de valores | > 2 m. | 0.6 - 2 m. | 0.2 - 0.6 m. | 0.06 - 0.2 m. | < 0.06 m.      |
|   |               | Puntuación       | 20     | 15         | 10           | 8             | 5              |
|   | 1.525.m.      |                  |        |            |              |               | Valuación: (3) |

|   |                               |                  |        |          |           |         |                |
|---|-------------------------------|------------------|--------|----------|-----------|---------|----------------|
| 4 | Longitud de la discontinuidad | Rango de valores | < 1 m. | 1 - 3 m. | 3 - 10 m. | 10 - 20 | > 20 m.        |
|   |                               | Puntuación       | 6      | 4        | 2         | 1       | 0              |
|   | 2.55m..                       |                  |        |          |           |         | Valuación: (4) |

|   |          |                  |      |           |               |           |                |
|---|----------|------------------|------|-----------|---------------|-----------|----------------|
| 4 | Abertura | Rango de valores | Nada | < 0.1 mm. | 0.1 - 1.0 mm. | 1 - 5 mm. | > 5 mm.        |
|   |          | Puntuación       | 6    | 5         | 3             | 1         | 0              |
|   | 3 mm.    |                  |      |           |               |           | Valuación: (5) |

|   |             |            |            |        |                    |          |                |
|---|-------------|------------|------------|--------|--------------------|----------|----------------|
| 4 | Rugosidad   | Condición  | Muy rugosa | Rugosa | Ligeramente rugosa | Ondulada | Suave (Pulida) |
|   |             | Puntuación | 6          | 5      | 3                  | 1        | 0              |
|   | Lig. Rugosa |            |            |        |                    |          | Valuación: (6) |

|   |         |                  |         |                      |                      |                        |                        |
|---|---------|------------------|---------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| 4 | Relleno | Rango de valores | Ninguno | Relleno duro < 5 mm. | Relleno duro > 5 mm. | Relleno blando < 5 mm. | Relleno blando > 5 mm. |
|   |         | Puntuación       | 6       | 4                    | 2                    | 2                      | 0                      |
|   | 3 mm.   |                  |         |                      |                      |                        | Valuación: (7)         |

|   |              |            |               |                         |                           |                 |                             |
|---|--------------|------------|---------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 4 | Alteración   | Condición  | No intemperiz | Ligeramente intemperiz. | Moderadamente intemperiz. | Muy intemperiz. | Completamente intemperizada |
|   |              | Puntuación | 6             | 5                       | 3                         | 1               | 0                           |
|   | Mod. Intemp. |            |               |                         |                           |                 | Valuación: (8)              |

|   |               |                |      |                    |        |          |                |
|---|---------------|----------------|------|--------------------|--------|----------|----------------|
| 5 | Agua freática | Estado general | Seco | Ligeramente húmedo | Húmedo | Goteando | Agua fluyendo  |
|   |               | Puntuación     | 15   | 10                 | 7      | 4        | 0              |
|   | Húmedo        |                |      |                    |        |          | Valuación: (9) |

| Roca    | Clase de roca | RMR    | m         | s           | mi      | $\sigma_{ci}$   | Angulo de Fricción (Bieniawski) | GSI |
|---------|---------------|--------|-----------|-------------|---------|-----------------|---------------------------------|-----|
| RQD 61% | III (*)       | 57 (*) | 1.507 (*) | 0.00841 (*) | 19 (**) | 80.50 Mpa (***) | 25°-35°                         | 52  |

(\*) Valor calculado, (\*\*) Valores tomados de Hoek y Brown (1997), (\*\*\*) Valor de ensayo de Laboratorio

**Tabla 31.** Determinación del valor del RMR Coordenadas UTM: 8466750N – 330400E

|   |                                       |                                    |       |           |          |         |                |       |     |
|---|---------------------------------------|------------------------------------|-------|-----------|----------|---------|----------------|-------|-----|
| 1 | Resistencia de la matriz rocosa (Mpa) | Rango de valores Compresión simple | > 250 | 250 – 100 | 100 – 50 | 50 – 25 | 25 - 5         | 5 – 1 | < 1 |
|   |                                       | Puntuación                         | 15    | 12        | 7        | 4       | 2              | 1     | 0   |
|   | 98.45                                 |                                    |       |           |          |         | Valuación: (1) |       | 7   |

|   |         |                  |          |         |         |         |                |  |
|---|---------|------------------|----------|---------|---------|---------|----------------|--|
| 2 | RQD (%) | Rango de valores | 90 - 100 | 75 – 90 | 50 – 75 | 25 – 50 | < 25           |  |
|   |         | Puntuación       | 20       | 17      | 13      | 6       | 3              |  |
|   | 79%     |                  |          |         |         |         | Valuación: (2) |  |

|   |               |                  |        |            |              |               |                |  |
|---|---------------|------------------|--------|------------|--------------|---------------|----------------|--|
| 3 | Espaciamiento | Rango de valores | > 2 m. | 0.6 - 2 m. | 0.2 - 0.6 m. | 0.06 - 0.2 m. | < 0.06 m.      |  |
|   |               | Puntuación       | 20     | 15         | 10           | 8             | 5              |  |
|   | 1.05.m.       |                  |        |            |              |               | Valuación: (3) |  |

|   |                               |                  |        |          |           |         |                |  |
|---|-------------------------------|------------------|--------|----------|-----------|---------|----------------|--|
| 4 | Longitud de la discontinuidad | Rango de valores | < 1 m. | 1 - 3 m. | 3 - 10 m. | 10 – 20 | > 20 m.        |  |
|   |                               | Puntuación       | 6      | 4        | 2         | 1       | 0              |  |
|   | 1.87 m.                       |                  |        |          |           |         | Valuación: (4) |  |

|   |          |                  |      |           |               |           |                |  |
|---|----------|------------------|------|-----------|---------------|-----------|----------------|--|
| 4 | Abertura | Rango de valores | Nada | < 0.1 mm. | 0.1 - 1.0 mm. | 1 - 5 mm. | > 5 mm.        |  |
|   |          | Puntuación       | 6    | 5         | 3             | 1         | 0              |  |
|   | 3 mm.    |                  |      |           |               |           | Valuación: (5) |  |

|   |             |            |            |        |                    |          |                |  |
|---|-------------|------------|------------|--------|--------------------|----------|----------------|--|
| 4 | Rugosidad   | Condición  | Muy rugosa | Rugosa | Ligeramente rugosa | Ondulada | Suave (Pulida) |  |
|   |             | Puntuación | 6          | 5      | 3                  | 1        | 0              |  |
|   | Lig. Rugosa |            |            |        |                    |          | Valuación: (6) |  |

|   |         |                  |         |                      |                      |                        |                        |  |
|---|---------|------------------|---------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|--|
| 4 | Relleno | Rango de valores | Ninguno | Relleno duro < 5 mm. | Relleno duro > 5 mm. | Relleno blando < 5 mm. | Relleno blando > 5 mm. |  |
|   |         | Puntuación       | 6       | 4                    | 2                    | 2                      | 0                      |  |
|   | 3 mm.   |                  |         |                      |                      |                        | Valuación: (7)         |  |

|   |              |            |               |                         |                           |                 |                             |  |
|---|--------------|------------|---------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|--|
| 4 | Alteración   | Condición  | No intemperiz | Ligeramente intemperiz. | Moderadamente intemperiz. | Muy intemperiz. | Completamente intemperizada |  |
|   |              | Puntuación | 6             | 5                       | 3                         | 1               | 0                           |  |
|   | Lig. Intemp. |            |               |                         |                           |                 | Valuación: (8)              |  |

|   |               |                |      |                    |        |          |                |  |
|---|---------------|----------------|------|--------------------|--------|----------|----------------|--|
| 5 | Agua freática | Estado general | Seco | Ligeramente húmedo | Húmedo | Goteando | Agua fluyendo  |  |
|   |               | Puntuación     | 15   | 10                 | 7      | 4        | 0              |  |
|   | Húmedo        |                |      |                    |        |          | Valuación: (9) |  |

| Roca    | Clase de roca | RMR    | m         | s           | mi      | $\sigma_j$      | Angulo de Fricción (Bieniawski) | GSI |
|---------|---------------|--------|-----------|-------------|---------|-----------------|---------------------------------|-----|
| RQD 79% | II (*)        | 63 (*) | 1.867 (*) | 0.01639 (*) | 15 (**) | 98.45 Mpa (***) | 35°-45°                         | 58  |

(\*) Valor calculado, (\*\*) Valores tomados de Hoek y Brown (1997), (\*\*\*) Valor de ensayo de Laboratorio



De los resultados observados en las tablas 25 al 31, respecto a la caracterización geomecánica de los macizos rocosos ubicadas en el trayecto de la Trocha Carrozable Acconsaya - Cruzhuasa, se han obtenido el índice de calidad RMR de tipo II y III de buena a regular respectivamente, determinándose para los de tipo II una Cohesión (  $c$  ) de 300 a 400 KPa y un ángulo de fricción o rozamiento interno ( $\Phi$ ) de 35° a 45°; para los de tipo III la Cohesión (  $c$  ) de 200 a 300 KPa y el ángulo de fricción o rozamiento interno ( $\Phi$ ) de 25° a 35°.

Las valoraciones del RMR más bajas de 49 con GSI de 44, la resistencia de los macizos rocosos que afloran en la zona de estudio, es función de la resistencia de la matriz rocosa y de las discontinuidades, siendo ambas extremadamente variables, y de las condiciones geoambientales a las que se encuentra sometido el macizo, como las tensiones naturales. Las resistencias obtenidas nos indican en términos del máximo esfuerzo que puede soportar para unas determinadas condiciones y en términos de sus propiedades resistentes,  $c$  y  $\Phi$ , parámetros que habitualmente se necesitan para los cálculos de los proyectos de las obras de ingeniería civil.

Al realizar el cálculo de la densidad del macizo rocoso ubicadas en la trocha carrozable Acconsaya - Cruzhuasa, se ejecutó en dos puntos estratégicos, considerando que es una propiedad física de la roca importante, que controlan las características resistentes y deformacionales de la matriz rocosa y es el resultado de la génesis, condiciones y procesos geológicos y tectónicos sufridos por la roca a lo largo de su historia.

La densidad promedio calculada en los macizos rocosos de los afloramientos que están ubicadas en el trayecto de la vía (según coordenadas UTM, como se muestra en las tablas 35 y 36) es de: 26.10 KN/m<sup>3</sup> y 26.05 KN/m<sup>3</sup> el cual nos indica que es aceptable al

estado y comportamiento mecánico de dicho macizo al estar sometido a esfuerzos tensionales preexistentes y los esfuerzos que causados por cargas exteriores como efecto de emplazamiento de los cortes para taludes.

Considerando que por el aspecto de la densidad de roca (matriz rocosa), las obras de ingeniería modifican el estado tensional a que están sometidos los macizos rocosos del área de estudio en un tiempo muy corto en relación a los procesos geológicos, y pueden tener lugar interacciones mutuas entre la liberación o redistribución de los esfuerzos naturales y las cargas exteriores al que estarán sometidos dichos macizos rocosos.

Por ello es importante conocer la densidad de roca, con respecto al estado tensional y considerar como adecuadas al evaluar su influencia en los taludes.

**Tabla 32.** Densidad de roca (ASTM D 2937) (Coordenadas UTM: 8466250N – 330000E)

| <b>Muestra</b>                               | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
|--|----------|----------|----------|
| Peso roca (gr)                               | 102.30   | 102.60   | 78.90    |
| Peso (roca + parafina) (gr)                  | 106.80   | 109.30   | 82.30    |
| Volumen (roca + parafina) (cm <sup>3</sup> ) | 44.00    | 47.00    | 34.00    |
| Peso parafina (gr/ cm <sup>2</sup> )         | 4.50     | 6.70     | 3.40     |
| Densidad parafina (gr)                       | 0.87     | 0.87     | 0.87     |
| Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )          | 5.17     | 7.70     | 3.91     |
| Volumen roca (cm <sup>3</sup> )              | 38.83    | 39.30    | 30.09    |
| Densidad roca (gr/ (cm <sup>3</sup> ))       | 2.63     | 2.61     | 2.62     |
| Densidad roca (KN/m <sup>3</sup> )           | 26.10    | 26.00    | 26.05    |
| Densidad roca promedio (KN/m <sup>3</sup> )  |          | 26.05    |          |

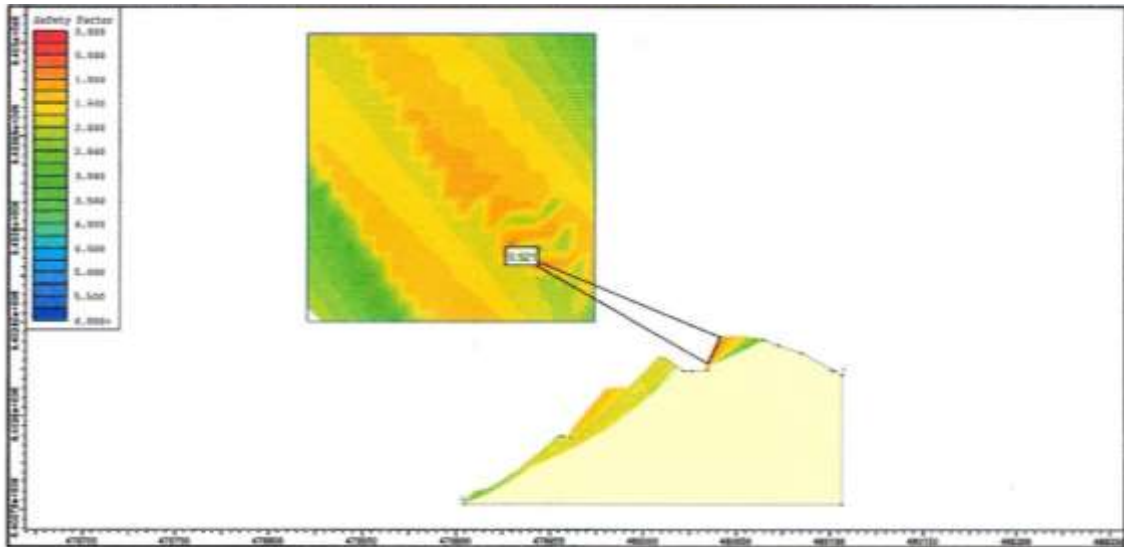


**Tabla 33.** Densidad de roca (ASTM D 2937) (Coordenadas UTM: 8466700N – 331600E)

| <b>Muestra</b>                               | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
|--|----------|----------|----------|
| Peso roca (gr)                               | 96.50    | 102.60   | 85.60    |
| Peso (roca + parafina) (gr)                  | 102.30   | 106.80   | 92.30    |
| Volumen (roca + parafina) (cm <sup>3</sup> ) | 44.00    | 44.00    | 40.00    |
| Peso parafina (gr/ cm <sup>2</sup> )         | 5.80     | 4.20     | 6.70     |
| Densidad parafina (gr)                       | 0.87     | 0.87     | 0.87     |
| Volumen parafina (cm <sup>3</sup> )          | 6.67     | 4.83     | 7.70     |
| Volumen roca (cm <sup>3</sup> )              | 37.33    | 39.17    | 32.30    |
| Densidad roca (gr/ (cm <sup>3</sup> ))       | 2.58     | 2.62     | 2.65     |
| Densidad roca (KN/m <sup>3</sup> )           | 25.33    | 25.67    | 25.97    |
| Densidad roca promedio (KN/m <sup>3</sup> )  |          | 25.66    |          |

El análisis de la estabilidad de taludes, para macizos rocosos emplazadas a lo largo de la Trocha Carrozable - Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya - Puno, fue realizado por el programa Slide y Estereográfico, tal como se muestra en los diagramas presentados en el anexo correspondiente. Los datos requeridos para el análisis de estabilidad son la geometría del talud, los diferentes tipos de materiales, los parámetros de resistencia de la roca.

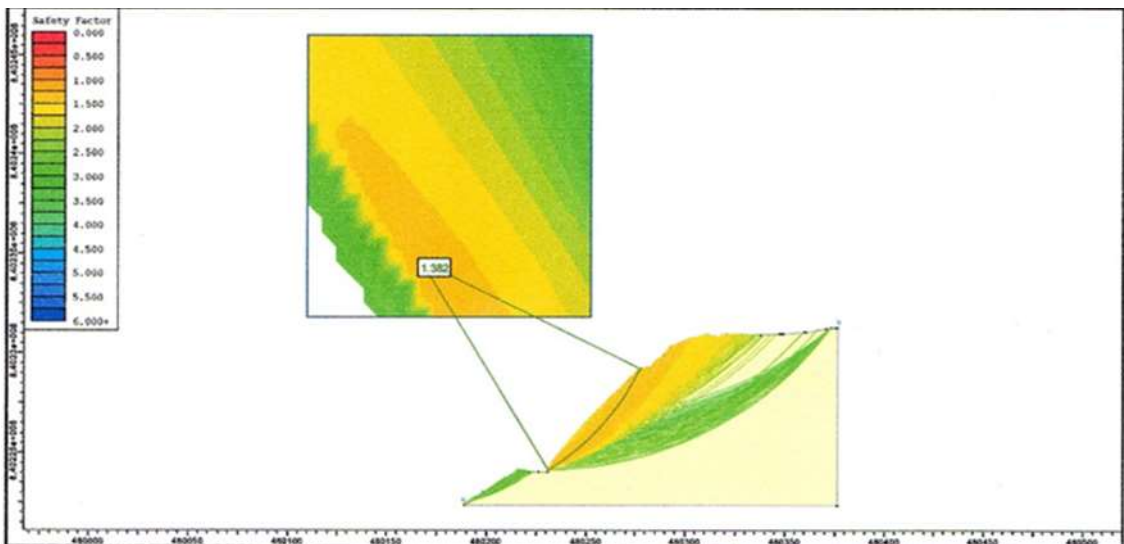
Teniendo en consideración las condiciones geológicas y geotécnicas de los macizos rocosos donde podrían realizarse cortes con un talud determinado, se diseñó taludes con ángulos y alturas que varíen según a la topografía del talud. Se ha realizado el análisis de estabilidad en la sección crítica del trazo que comprende el acceso de la margen derecha e izquierdo, comprendidas entre la progresiva Km. 2+150 al Km. 3+200 de la Trocha Carrozable Acconsaya – Cruzhuasa, utilizando los valores obtenidos de laboratorio con el programa de cómputo Slide del paquete de ingeniería Rocscience v5.



**Figura 19.** Coordenadas UTM 8466800N-331000E, Talud analizado por falla circular por el método de Janbu simplificado, resultando un FS=0.921

**Tabla 34.** Análisis de falla circular – Janbu Simplificado (Coordenadas UTM 8466800N-331000E)

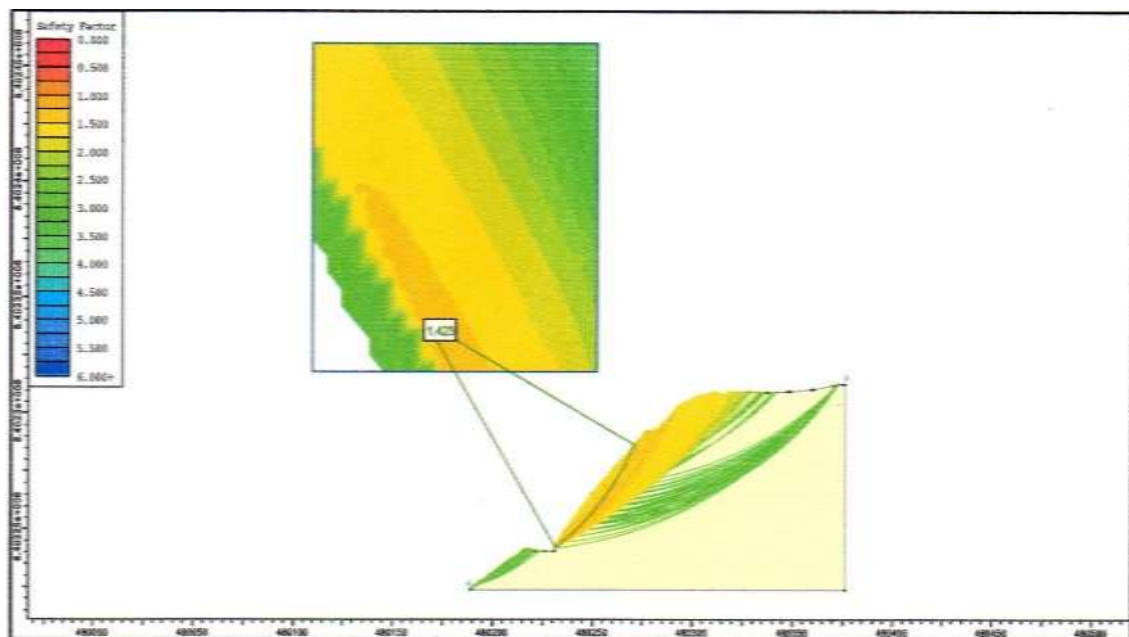
| DESCRIPCION                       | VALOR         |
|-----------------------------------|---------------|
| Densidad de Roca (KN/m3)          | 26.05         |
| Compresión Uniaxial (Mpa)         | 98.70         |
| Dirección de Buzamiento del talud | N 75°W - 285° |



**Figura 20.** Coordenadas UTM 8466450N-330600E, Talud analizado por falla circular por el método de Fellenius, resultando un FS=1.382

**Tabla 35.** Análisis de falla circular – Fellenius (Coordenadas UTM 8466450N-330600E)

| DESCRIPCION                       | VALOR         |
|-----------------------------------|---------------|
| Densidad de Roca (KN/m3)          | 25.66         |
| Compresión Uniaxial (Mpa)         | 80.50         |
| Dirección de Buzamiento del talud | N 10°E - 190° |

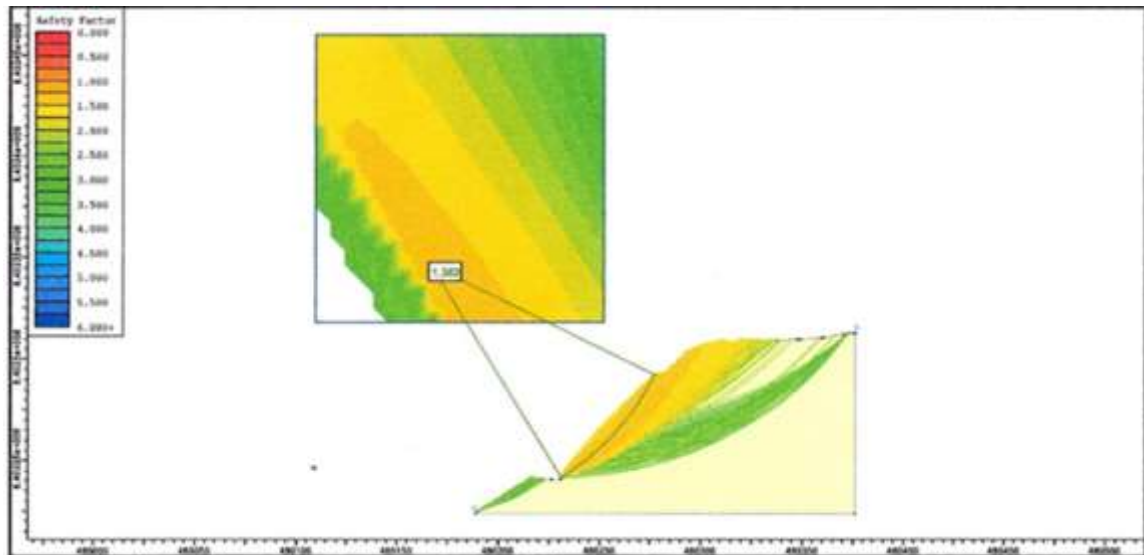


**Figura 21.** Coordenadas UTM 8466850N-331750E, Talud analizado por falla circular por el método de Bishop simplificado, resultando un FS=1.423

**Tabla 36.** Análisis de Falla Circular – Fellenius (Coordenadas UTM 8466450N-331750E)

| DESCRIPCION                       | VALOR         |
|-----------------------------------|---------------|
| Densidad de Roca (KN/m3)          | 25.66         |
| Compresión Uniaxial (Mpa)         | 62.69         |
| Dirección de Buzamiento del talud | N 40°W - 320° |





**Figura 22.** Coordenadas UTM 8466750N-330400E, Talud analizado por falla circular por el método de Janbu simplificado, resultando un FS=1.383

**Tabla 37.** Análisis de falla circular – Janbu (Coordenadas UTM 8466750N-330400E)

| DESCRIPCION                           | VALOR         |
|---------------------------------------|---------------|
| Densidad de Roca (KN/m <sup>3</sup> ) | 26.05         |
| Compresión Uniaxial (Mpa)             | 62.69         |
| Dirección de Buzamiento del talud     | N 50°W - 130° |

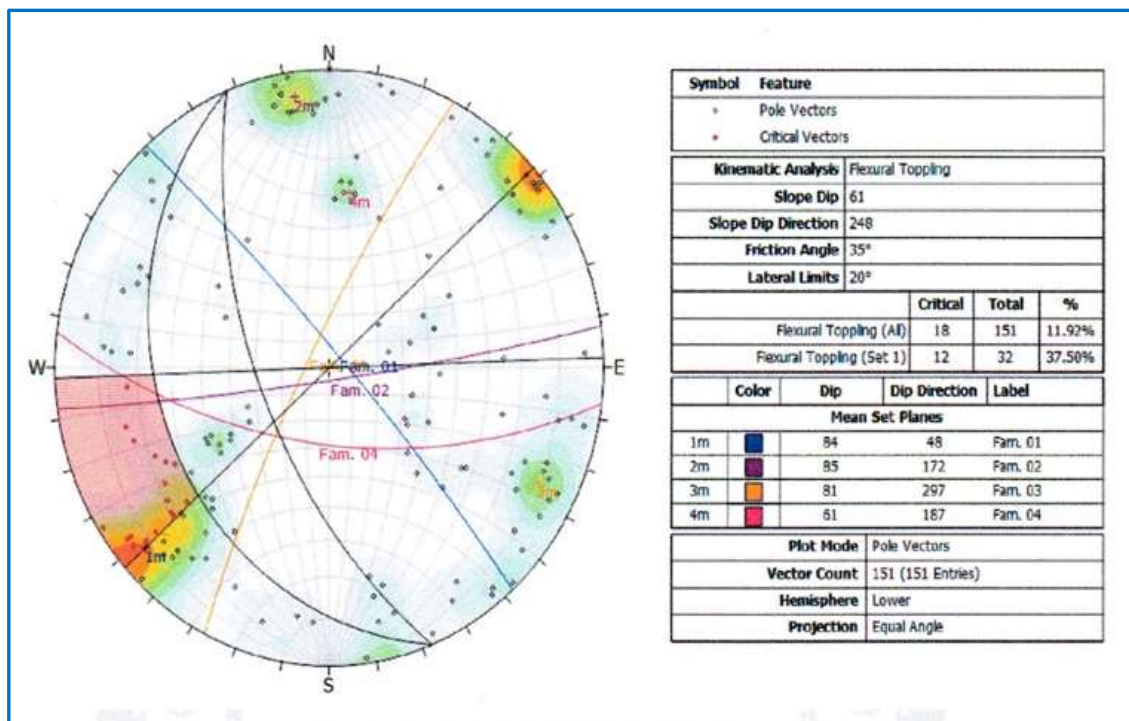
#### 4.2.2.2. Análisis y métodos estereográficos

De las discontinuidades presentes en los macizos rocosos en estudiadas se realizó en función de la orientación y buzamiento de dichas discontinuidades que tengan la condición de causar inestabilidad. Teniendo en cuenta las propiedades geomecánicas de los macizos de rocosos evaluadas en la Trocha Carrozable Acconsaya - Cruzhuasa, se puede establecer los siguientes parámetros analizando los correspondientes diagramas de los macizos rocosos.

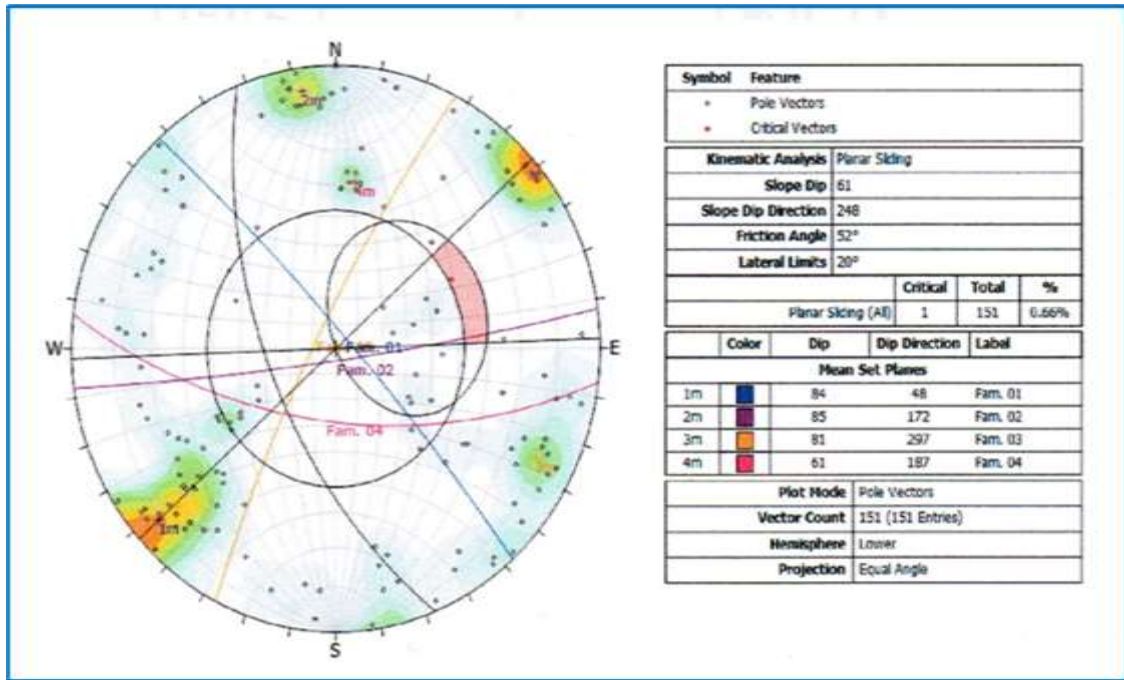
El método estereográfico nos ayudó a identificar los modos de falla más recurrentes en el talud, los cuales fueron en cuña y vuelco, estos fueron utilizados posteriormente para realizar el modelamiento y análisis de la estabilidad del talud

incluyendo los parámetros geométricos y geotécnicos de los macizos rocosos en la Trocha Carrozable Acconsaya - Cruzhuasa.

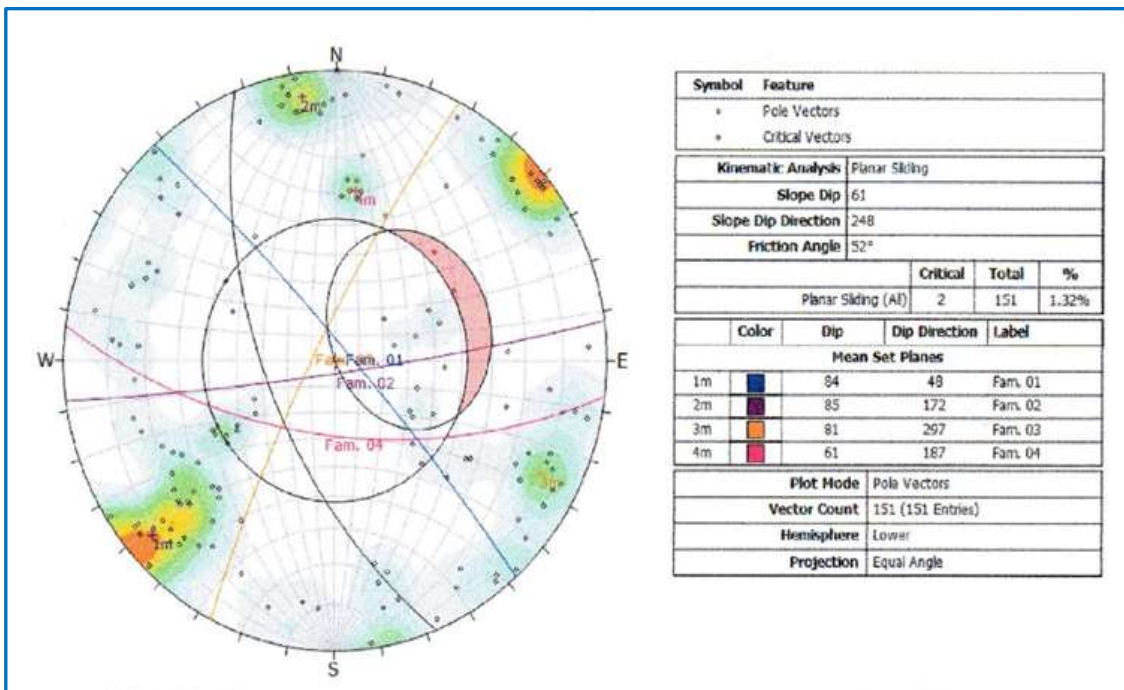
Las principales familias de discontinuidades para los tramos de las progresivas del km 1+350 al 1+650 y km 2+100 al 2+800, donde se identificaron para cada tramo cuatro familias predominantes por el análisis estereográfico. Para las progresivas km 3+300 al 3+800 se identificaron cuatro familias de discontinuidades principales, para la progresiva del km 3+980 al 4+050 se identificaron tres familias,



**Figura 23.** Análisis de estabilidad de taludes por el método estereográfico para falla por vuelco para un ángulo de fricción básico de 35°



**Figura 24.** Análisis de estabilidad de taludes por el método estereográfico para falla planar de 20° para un ángulo de fricción básico de 52°



**Figura 25.** Análisis de estabilidad de taludes por el método estereográfico para falla planar sin límite lateral para un ángulo de fricción básico de 52°



talud es alto y largo, tendrá una mayor masa rocosa con riesgo de sufrir fallas. Dado que en las progresivas del km 2+350 al 3+200, se presenta muy fracturado y meteorizado, el modo de falla en los taludes analizados por métodos estereográficos son de todo tipo como planar, por cuña y vuelco es por eso que se opta en este tramo realizar el análisis de estabilidad por el modo de falla circular por secciones de corte a lo largo del eje de la vía, que son en otros casos, las rocas están orientadas en otra dirección, y, por lo tanto, presentan menos riesgo, dado que el desprendimiento probablemente no alcanzará la vía de la Trocha Carrozable Acconsaya - Cruzhuasa. El Análisis de estabilidad de taludes se realizó teniendo en cuenta los modos de falla más recurrentes en el talud, por el cual no es necesario calcular el factor de seguridad, solo es necesario determinar la predisposición de las estructuras por un modo de falla típica. (Ver Anexos 3 y 4). Para el cual se presentan los resultados del análisis geomecánico de los taludes en roca:

**Tabla 38.** Análisis de falla por planar, Resultados finales del análisis geomecánicos de taludes en roca (Coordenadas UTM: 8466800N – 330100E)

| Descripción                             | Valor         |
|---|---------------|
| Altura de talud                         | 60m           |
| Angulo de talud                         | 60°           |
| Dirección de buzamiento de talud        | N 75°W - 285° |
| Densidad de roca (KN/m <sup>3</sup> )   | 26.05         |
| RMR                                     | 62 – Tipo II  |
| UCS (Mpa)                               | 98.70         |
| GSI (Mpa)                               | 57            |
| Angulo de fricción o rozamiento interno | 40°           |
| Cohesión (KPa)                          | 350           |
| Factor de seguridad                     | 0.921         |
| Condición                               | Inestable     |



**Tabla 39.** Análisis de falla por planar, Resultados finales del análisis geomecánicos de taludes en roca (Coordenadas UTM: 8466450N – 330600E)

| <b>Descripción</b>                      | <b>Valor</b>  |
|---|---------------|
| Altura de talud                         | 50m           |
| Angulo de talud                         | 70°           |
| Dirección de buzamiento de talud        | N 10°E - 190° |
| Densidad de roca (KN/m3)                | 25.66         |
| RMR                                     | 57 – Tipo III |
| UCS (MPa)                               | 80.50         |
| GSI (Mpa)                               | 52            |
| Angulo de fricción o rozamiento interno | 30°           |
| Cohesión (KPa)                          | 250           |
| Factor de seguridad                     | 1.382         |
| Condición                               | Estable       |

**Tabla 40.** Análisis de falla por planar, Resultados finales del análisis geomecánicos de taludes en roca (Coordenadas UTM: 8466850N – 331750E)

| <b>Descripción</b>                      | <b>Valor</b>  |
|---|---------------|
| Altura de talud                         | 60m           |
| Angulo de talud                         | 60°           |
| Dirección de buzamiento de talud        | N 40°W - 320° |
| Densidad de roca (KN/m3)                | 25.66         |
| RMR                                     | 59 – Tipo III |
| UCS (MPa)                               | 62.69         |
| GSI (Mpa)                               | 52            |
| Angulo de fricción o rozamiento interno | 30°           |
| Cohesión (KPa)                          | 250           |
| Factor de seguridad                     | 1.423         |
| Condición                               | Estable       |

**Tabla 41.** Análisis de falla por planar, Resultados finales del análisis geomecánicos de taludes en roca (Coordenadas UTM: 8466750N – 330400E)

| Descripción                             | Valor         |
|---|---------------|
| Altura de talud                         | 55m           |
| Angulo de talud                         | 60°           |
| Dirección de buzamiento de talud        | N 50°W - 130° |
| Densidad de roca (KN/m <sup>3</sup> )   | 26.05         |
| RMR                                     | 63 – Tipo II  |
| UCS (MPa)                               | 98.45         |
| GSI (Mpa)                               | 58            |
| Angulo de fricción o rozamiento interno | 40°           |
| Cohesión (KPa)                          | 350           |
| Factor de seguridad                     | 1.383         |
| Condición                               | Estable       |

#### **4.3. DETERMINACION DEL TIPO DE TRATAMIENTO PARA MEJORAR SUS CONDICIONES DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES CON PROBABLES FALLAS**

##### **4.3.1. Medidas correctivas**

El objetivo de estas medidas geotécnicas es identificar, controlar y corregir los elementos que pueden ser inestables en la Trocha Carrozable Acconsaya - Cruzhuasa. Para ello, es necesario establecer protocolos o programas de actuación. Mediante dichos programas se valorarán las mejoras que se pueden obtener con las medidas correctoras y se solucionarán los problemas registrados.

Con respecto a los taludes en suelos, de acuerdo a los análisis realizados se tendrá que tomar medidas en el cambio de la geometría del talud, debido a que los suelos tienen condiciones inestables al sufrir procesos de saturación a tal punto que se llega a anular su



cohesión de estos suelo; razón por el cual es necesario efectuar el diseño de drenes que permitan evitar la presencia del agua en la estructuras del talud, ya que la infiltración de estas aguas superficiales puedan causar fallas en los taludes.

En los tramos entre las progresivas 2+500 a la 3+200 los afloramientos de roca, en la cual al ejecutar los cortes se observa varias familias de discontinuidades, predominando las que son paralelas al corte del talud, cuyo buzamiento promedio es de  $80^\circ$  NE y su orientación promedio es de  $210^\circ$  que técnicamente éstas provocaran roturas de tipo planar y por volteo a causa de las infiltraciones de agua por dichas discontinuidades, las mismas que anularán el esfuerzo al corte y manifestándose finalmente en caídas de bloques de rocas. Por estas condiciones del comportamiento geomecanicos sugiere, que en dichas progresivas se coloquen pernos con una longitud aproximada promedio de 1.80 m.

Concretamente en el proceso constructivo del talud, se tendrá que considerar los parámetros: identificar a la roca (según el grado de alteración o presencia de discontinuidades), orientación de las discontinuidades, condiciones hidráulicas, facilidad de meteorización de las rocas, volumen de los bloques de roca inestables, altura del talud, probabilidad de que existan desprendimiento de roca. Mediante dichos parámetros se mide la estabilidad del talud rocoso y se estiman los desperfectos que ocasionaría el desprendimiento. El propósito de todos estos estudios es proponer medidas correctoras adecuadas para cada caso y minimizar los riesgos.





## V. CONCLUSIONES

- Los afloramientos rocosos presentes en el tramo de la Trocha Carrozable Acconsaya – Cruzhuasa, existen arenisca rojiza y gris cubierta por un conglomerado arenoso, lutita, derrames volcánicos y piroclásticos riolíticos a andesíticos de edad Permiano – Triásico pertenecientes al Grupo Mitu (PsT-mi), encontrándose además estructuras volcánicas de la Formación Quenamari del Plioceno y Mioceno correspondientes a los miembros: Chacacuniza (Nm-ch) y Sapanuta (Nm-sa); complementadas por depósitos aluviales.
- En los taludes en suelo al efectuar el análisis el análisis por el método de Hoek y Bray, con los parámetros geotécnicos, peso específico de 1.32 Tn/m<sup>3</sup>, Cohesión de 0.0320 Kg/cm<sup>2</sup> y su ángulo de fricción interna es de 30.87°, este estrato único de suelo representa una altura de 35 metros resultado un FS igual 0.63 la cual es muy inestable. Al analizar los parámetros geotécnicos del talud con las siguientes características: altura 40m. cohesión de 0.0206 Kg/cm<sup>2</sup>, ángulo de fricción interna de 33.73°, peso específico 1.05 Tn/m<sup>3</sup>; cuyo FS resultado 0.74, inestable y para el talud cuya cohesión de 0.0921 Kg/cm<sup>2</sup>, Peso específico 0.92 Tn/m<sup>3</sup> cuya altura es de 40 m. resultado un FS de 0.98, considerado como inestable.
- En la caracterización geomecánica de los macizos de roca rocosos ubicadas en ubicadas a lo largo de la vía, se han obtenido según el método de RMR de calidad de tipo II y III de buena a regular respectivamente, determinándose para los de tipo II una cohesión promedio de 350 KPa y un ángulo de fricción o rozamiento interno promedio de 40°; para los de tipo III la cohesión promedio de 250 KPa y el ángulo de fricción o rozamiento interno promedio de 30°, cuyos resultados serán de vital importancia para el diseño de los taludes en roca. La caracterización



geomecánica de los afloramientos de roca arenisca se obtuvo valoraciones promedio RMR fue de 66 con GSI de 61 mientras que en las rocas volcánicas la valoración promedio del RMR es de 69 y su GSI de 64. La densidad promedio calculada en los macizos de roca arenisca es de 25.66 KN/m<sup>3</sup> y rocas volcánicas 26.05 KN/m<sup>3</sup> el cual nos indica que es aceptable al estado y comportamiento mecánico de ambas rocas. El análisis de la estabilidad de taludes, para los macizos rocosos emplazadas en la trocha carrozable, fue realizado por el programa Slide y Estereográfico, considerando las condiciones geológicas y geotécnicas, se han obtenido factores de seguridad (FS) que oscilan entre 0.921 y 1.423, lo cual nos refiere taludes inestables y con probabilidad de estabilidad.

- En las medidas correctivas, con respecto a los taludes en suelos, de acuerdo a los análisis realizados se tendrá que tomar medidas en el cambio de la geometría del talud, debido a que los suelos tienen condiciones inestables al sufrir procesos de saturación a tal punto que se llega a anular su cohesión. En los tramos entre las progresivas 2+500 a la 3+200 los afloramientos de roca, en la cual al ejecutar los cortes se observa varias familias de discontinuidades, predominando las que son paralelas al corte del talud, cuyo buzamiento promedio es de 80° NE y su orientación promedio es de 210° que técnicamente éstas provocaran roturas de tipo planar y por volteo a causa de las infiltraciones de agua por dichas discontinuidades, las mismas que anularán el esfuerzo al corte y manifestándose finalmente en caídas de bloques de rocas.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más pruebas de laboratorio e in-situ de las condiciones de las discontinuidades que se encuentren presentes y estén probablemente debilitando la estabilidad del macizo rocoso, en tal sentido es necesario realizar algún tipo de tratamiento geotécnico y efectuar un diseño geométrico óptimo del talud.
- Se sugiere un programa de instrumentación para el control y monitoreo de la de las zonas que estén en condiciones inestables y así evitar fallas en los taludes en suelos o rocas.
- Con respecto a los taludes en suelos, de acuerdo a los análisis realizados se tendrá que tomar medidas en el cambio de la geometría del talud, debido a que los suelos tienen condiciones inestables al sufrir procesos de saturación a tal punto que se llega a anular su cohesión de estos suelo; razón por el cual es necesario efectuar el diseño de drenes que permitan evitar la presencia del agua en la estructura del talud, ya que la infiltración de estas aguas superficiales puedan causar fallas en los taludes.
- Se proponen medidas correctoras para los taludes en roca y suelo, se mencionan, entre otras, las siguientes: cambiar la geometría, utilizar barras de acero como tensores, cubrir el talud con hormigón, poner redes dinámicas para recoger las rocas, etc. para minimizar los riesgos, ya que los resultados de la evaluación del macizo rocoso estudiado nos conducen a considerar en algunas zonas estas medidas correctivas.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications : a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. Wiley-Interscience.
- Carnero, G. G. (2011). *Estudio Geotecnico para la Estabilidad de Taludes en la Carretera: Patahuasi - Yauri - Sicuani Tramo: El descanso - Langui*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano - Facultad de Ingeniería Geológica y Metalúrgica.
- Cosillo, A. G. (1999). *Consideraciones geológico-geotécnicas para el diseño de taludes en macizos rocosos*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Deere, D. (1968). *Geologic Considerations," Chapter 1 of Rock Mechanics in Engineering Practice*. Wiley, New York: K.G. Stagg and O.C. Zienkiewicz, Eds.
- Eberhardt, E. (2003). *Rock Slope Stability Analysis – Utilization of Advanced Numerical Techniques*. Vancouver, Canada: Earth and Ocean Sciences at UBC.
- Fellenius, W. (1927). *Erdstatische Bereshnungen mit Reibung und Kohasion*. Berlín: Ernst.
- García, J. C. (2005). *Análisis de Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos aplicando el Método de Elementos Distintos*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano - Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.
- Gonzales, L. I. (2011). *Ingeniería geológica*. España: Pearson.



- González, L. I., Hijazo, T., Ferrer, M. & Seiseddos, J. (2006). *Caracterización geomecánica de los materiales volcánicos de Tenerife*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Gonzales, L. & Ferrer, M. (2007). *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos*. Madrid: INST.Tecnologico Geominero.
- Hoek, E. & Bray, J. (1981). *Rock slope engineering. Institution of Mining and Metallurgy*. London: Institution of Mining and Metallurgy.
- Hoek, E. & Brown, E. (1980). *Empirical strength criterion for rock masses*. London: J. Geotech.
- Hoek, E., Kaiser, P. & Bawden, W. (1995). *Support of underground excavations in hard rock*. Rotterdam, Balkema.
- Manske, S. & Paul, A. (2002). *Geology of a Major New Porphyry Copper Center in the Superior*. Arizona: Society of Economic Geologists.
- Marinos, P. & Hoek, E. (2000). *GSI — A geologically friendly tool for rock mass strength estimation*. Melbourne: Proc. GeoEng 2000 Conference.
- Molina, J. P. (2004). *Estudio de estabilidad y tratamiento de deslizamientos - Cancharani*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano - Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura.
- Palmstrom, A. (1982). *The volumetric joint count - A useful and simple measure of the degree of rock mass jointing*. New Delhi: IAEG Congress.



- Popescu, M., Ugai, K. & Trandafir, A. (2000). *Linear versus Non-linear Failure envelopes in LEM and FEM slope stability Analysis*. Cardiff: 8th international symposium on landslides Cardiff.
- Ramírez, P. & Alejano, L. R. (2004). *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid: Red DESIR.
- RocLab. (2004). *Análisis de la resistencia del macizo rocoso mediante el criterio de rotura de Hoek-Brown*. Rocscience Inc.
- Rodríguez, J. D., Morales, D. U. & Paredes, L. (2003). *Evaluación de la estabilidad de taludes en la mina lourdes*. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman.
- Rodríguez, H. T. (2014). Problemas estructurales y la estabilidad de los macizos rocosos. *El Ingeniero*, 12-17.
- Sotelo, J. (1997). *Aplicaciones cualitativas y cuantitativas a la mecánica de rocas*. Chile.
- Sowers, G. B. & Sowers, G. F. (2013). *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*. España: AZACAN.
- Suarez, L. (2015). *Descripción del macizo rocoso: introducción a la ingeniería de rocas de superficie y subterránea*.
- Vilca, J. H. & Calli, R. (2017). *Evaluación de problemas geotécnicos en vía trocha carrozable Ayapata - Camatani*. Juliaca: Universidad Andina Néctor Cáceres Velasquez - Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - Escuela Profesional de Ingeniería Civil.



# ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

**TITULO DE LA INVESTIGACION: "EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA – SECTOR CRUZHUAUSA - CORANI – CARABAYA – PUNO"**

| FORMULACION DEL PROBLEMA  | OBJETIVOS   | HIPOTESIS   | VARIABLES  | SUB VARIABLES  |
|---|---|---|--|--|
| <p><b>Problema General</b><br/>¿En qué medida la Evaluación Geotécnica para la estabilidad de Taludes en la Trocha Carrozable - Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya - Puno, logrará determinar las posibles fallas y tratamientos aplicados a taludes en rocas y suelos?</p> | <p><b>Objetivo general</b><br/>Evaluar las condiciones geotécnicas para la estabilidad de taludes en la trocha carrozable de la localidad de Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya - Puno y ubicar las posibles fallas para aplicar tratamientos adecuados en taludes de rocas y suelos.</p> | <p><b>Hipótesis General</b><br/>En la evaluación geotécnica para la estabilidad de taludes en la trocha carrozable - Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya – Puno, logrará determinar las posibles fallas y tratamientos aplicados a taludes en rocas y suelos</p> | <p><b>VARIABLES</b><br/><b>Variable independiente</b><br/>1. Características geomecánicas de macizos rocosos y de suelos<br/><b>Variable dependiente</b><br/>2. Determina el tipo de tratamiento aplicado a taludes.</p> | <p><b>SUB VARIABLES</b><br/>1. Evaluación de las condiciones geotécnicas de la estructura rocosa y de suelos.<br/>2. Caracterización geomecánica del macizo rocoso y suelos.</p>   |
| <p><b>Problemas específicos</b><br/>¿Cuáles son las condiciones geológicas de los macizos rocosos y suelos presentes en la trocha carrozable de la localidad de Acconsaya–Sector Cruzhuasa?</p>   | <p><b>Objetivos Específicos</b><br/>Identificar las condiciones geológicas de los macizos rocosos y suelos en la trocha carrozable de la localidad de Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya - Puno.</p>  | <p><b>Hipótesis específicas</b><br/>Al identificar las condiciones geológicas de los macizos rocosos y suelos en la trocha carrozable de la localidad de Acconsaya – Sector Cruzhuasa - Corani – Carabaya – Puno, se reconoce los tramos con riesgo geológico.</p>            | <p><b>Sub variable</b><br/>• Mapeo geológico<br/>• Identificar y ubicar las estructuras geológicas presentes el macizo rocoso y suelos.</p>  | <p><b>Indicadores</b><br/>• Ubicación de riesgos geológicos en estructuras de rocas.<br/>• Ubicación de riesgos geológicos en estructuras de suelos.<br/>• Condiciones de procesos geológicos</p>                              |
| <p>¿Qué condiciones geomecánicas presentan los taludes en rocas y suelos?</p>   | <p>Evaluar las características geomecánicas de las rocas y suelos para conocer la estabilidad de los taludes.</p>   | <p>Al evaluar las características geomecánicas de las rocas y suelos se logra conocer la estabilidad de los taludes.</p>  | <p>• Determinar in-situ las condiciones geomecánicas de las discontinuidades en macizos rocosos.<br/>• Determinar las condiciones geomecánicas de los suelos</p>   | <p>• Calidad de roca RMR<br/>• Calidad de roca GSI<br/>• Densidad de roca<br/>• Cohesión y ángulo de fricción y rozamiento interno de las estructuras de suelos.</p>   |
| <p>¿Qué tipo de tratamiento se aplicará en los taludes de roca y suelos para lograr su estabilización?</p>  | <p>Determinar el tipo de tratamiento aplicados a los macizos rocosos y suelos para mejorar las condiciones geotécnicas así lograr su estabilización de los taludes inestables.</p>  | <p>Realizado la evaluación geotécnica se propone el tipo de tratamiento para mejorar las condiciones geotécnicas así lograr su estabilización de los taludes.</p>   | <p>• Mejorar las condiciones geomecánicas de las rocas inestables y suelos deleznales.<br/>• Identificar el tipo de tratamiento aplicados en los macizos rocosos y suelos para taludes</p>                               | <p>• Orientación de las discontinuidades<br/>• Comportamiento geomecánicos de los suelos en el diseño y construcción de taludes.<br/>• Determinar el tipo de tratamiento del macizo rocoso y suelos para su estabilización</p> |











### Anexo 3. Proyecciones estereográficas de las discontinuidades de los macizos rocosos

## PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

**PROYECTO:** “EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE  
TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA – SECTOR  
CRUZHUASA - CORANI – CARABAYA – PUNO”

Coordenadas **UTM:** 8466300N – 329750E

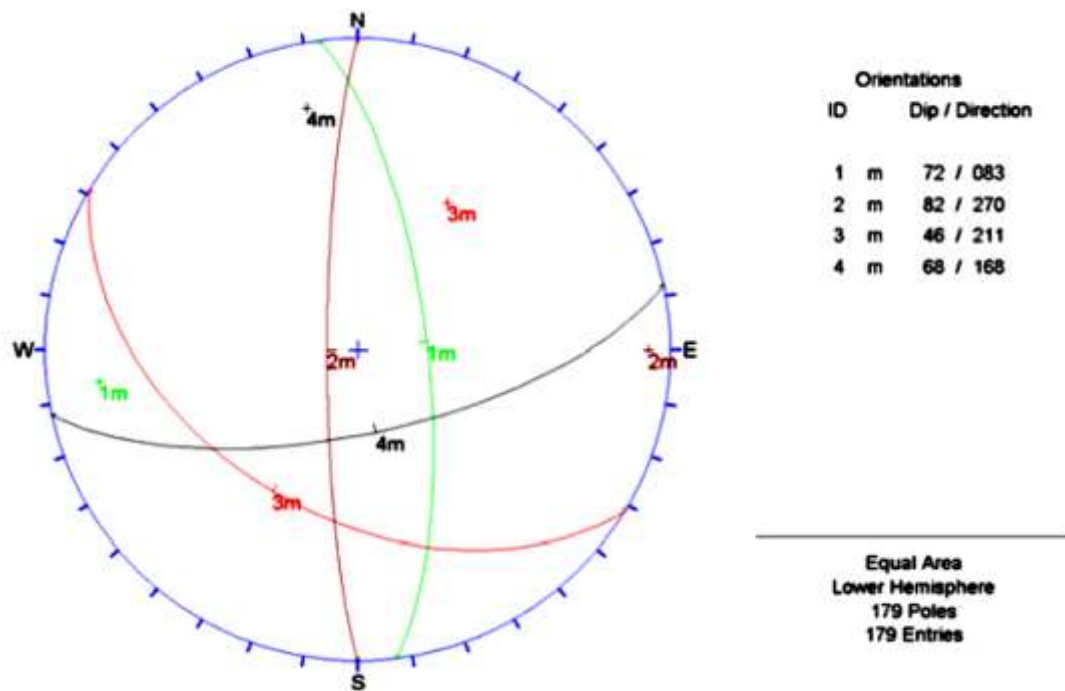


Diagrama estereográfico de planos principales del compuesto de discontinuidades

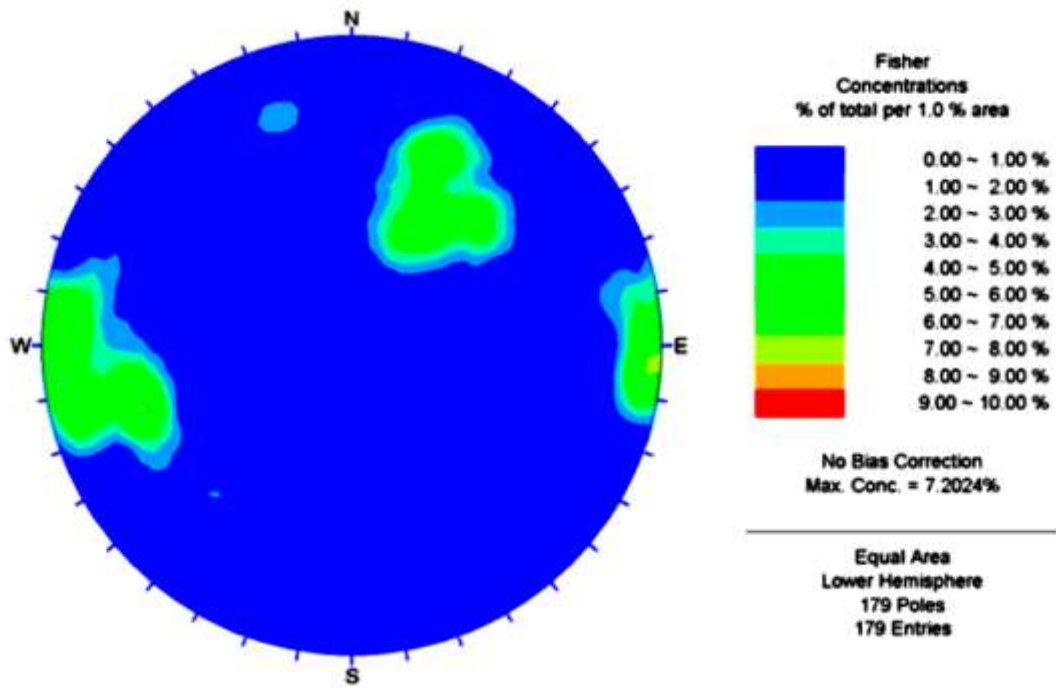


Diagrama estereográfico de contornos del compuesto de discontinuidades

## PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

**PROYECTO:** “EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE  
TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA – SECTOR  
CRUZHUASA - CORANI – CARABAYA – PUNO”

Coordenadas **UTM:** 8466250N – 330000E

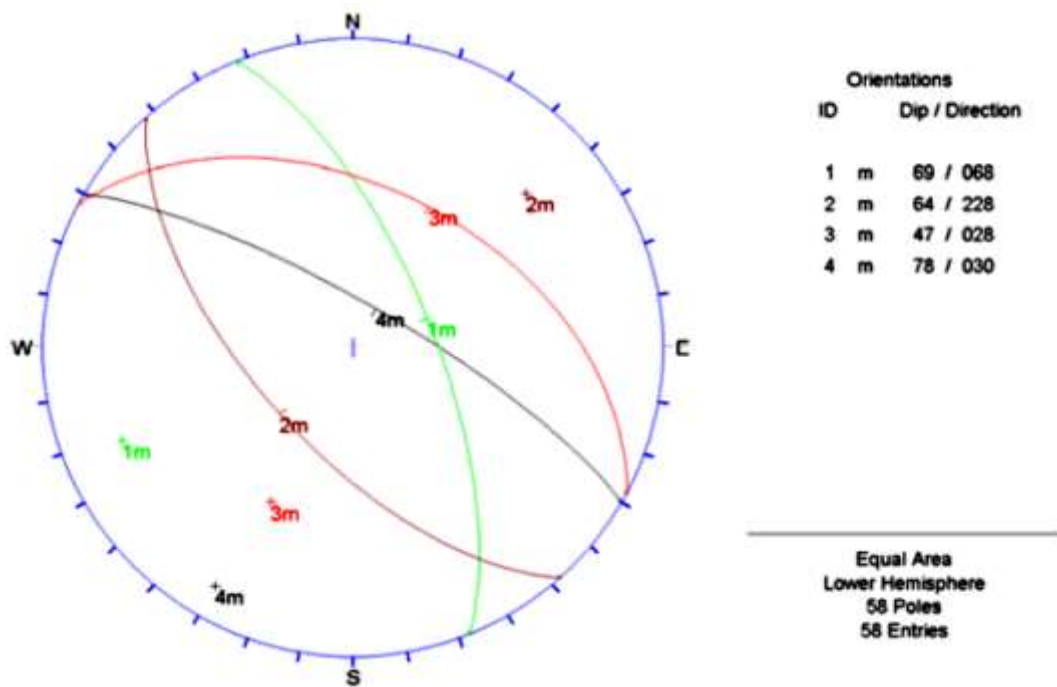


Diagrama estereográfico de planos principales del compósito de discontinuidades

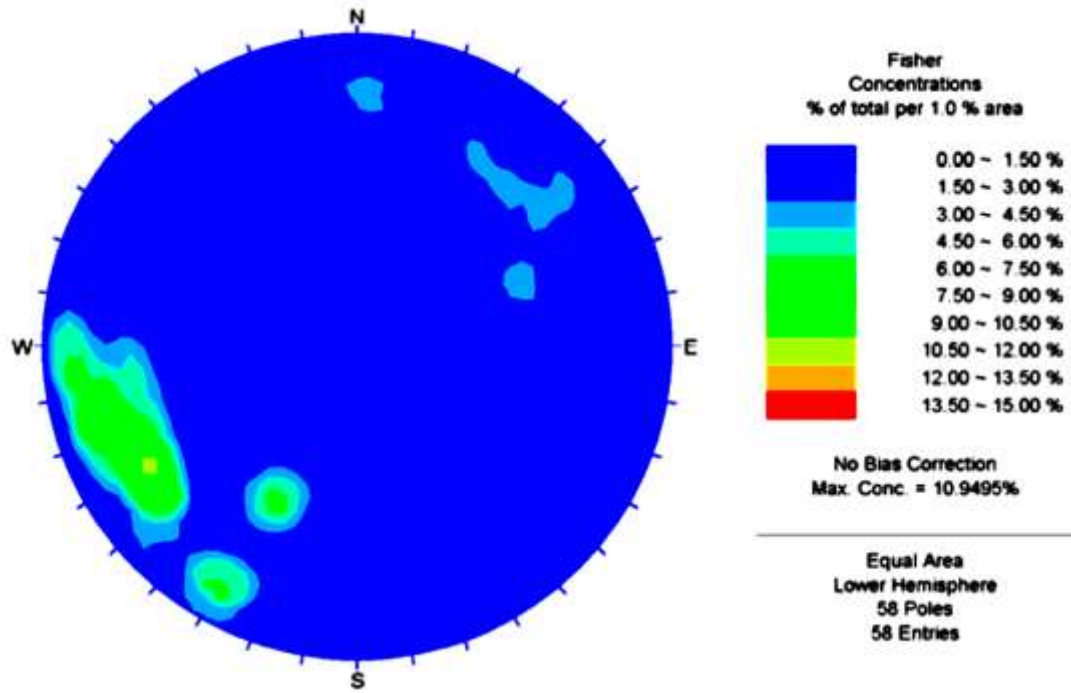


Diagrama estereográfico de contornos del compósito de discontinuidades



## PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

**PROYECTO:** “EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE  
TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA – SECTOR  
CRUZHUASA - CORANI – CARABAYA – PUNO”

Coordenadas **UTM:** 8466800N – 331000E

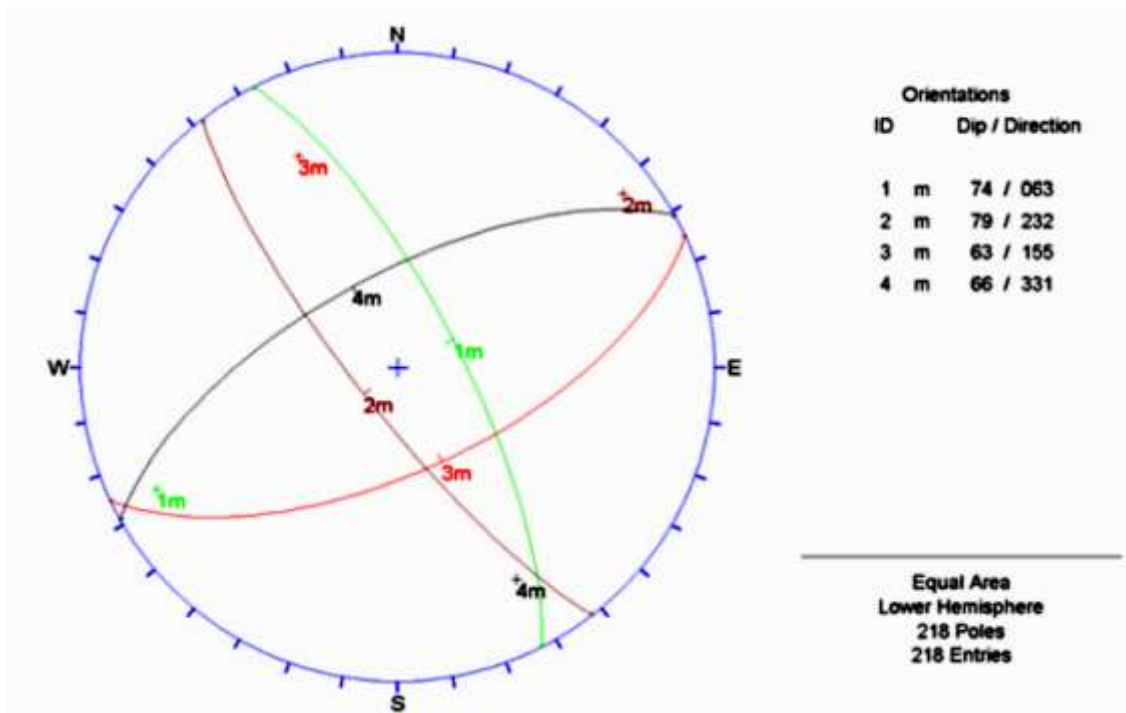


Diagrama estereográfico de planos principales del compuesto de discontinuidades

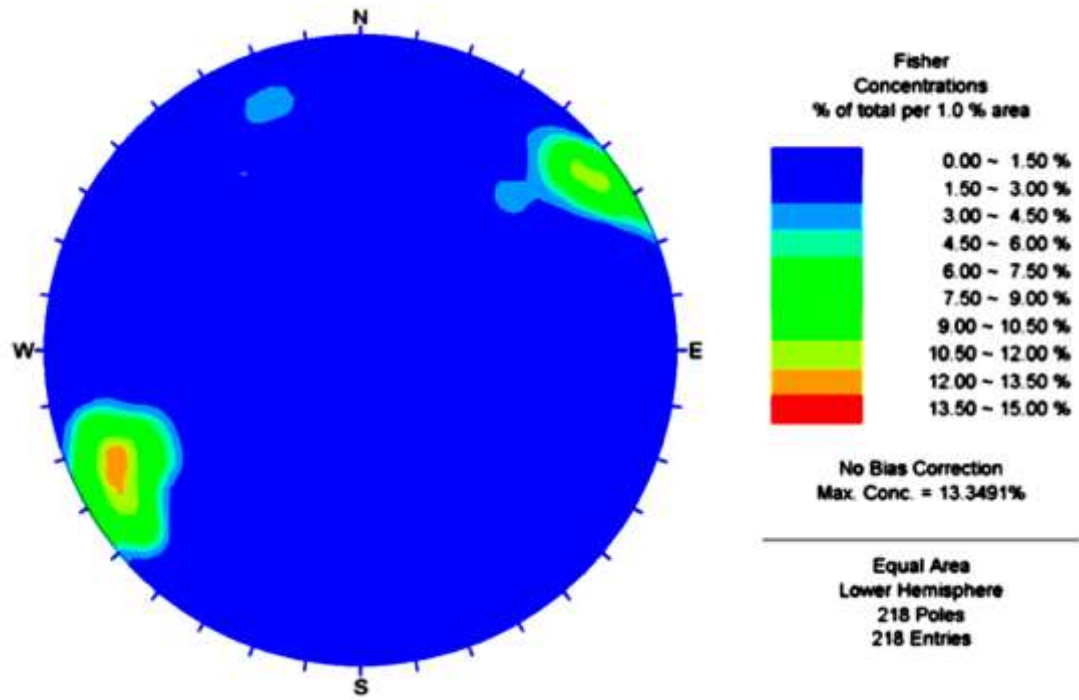


Diagrama estereográfico de contornos del compuesto de discontinuidades

## PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

**PROYECTO:** “EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE  
TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA – SECTOR  
CRUZHUASA - CORANI – CARABAYA – PUNO”

Coordenadas **UTM:** 8466900N – 331050E

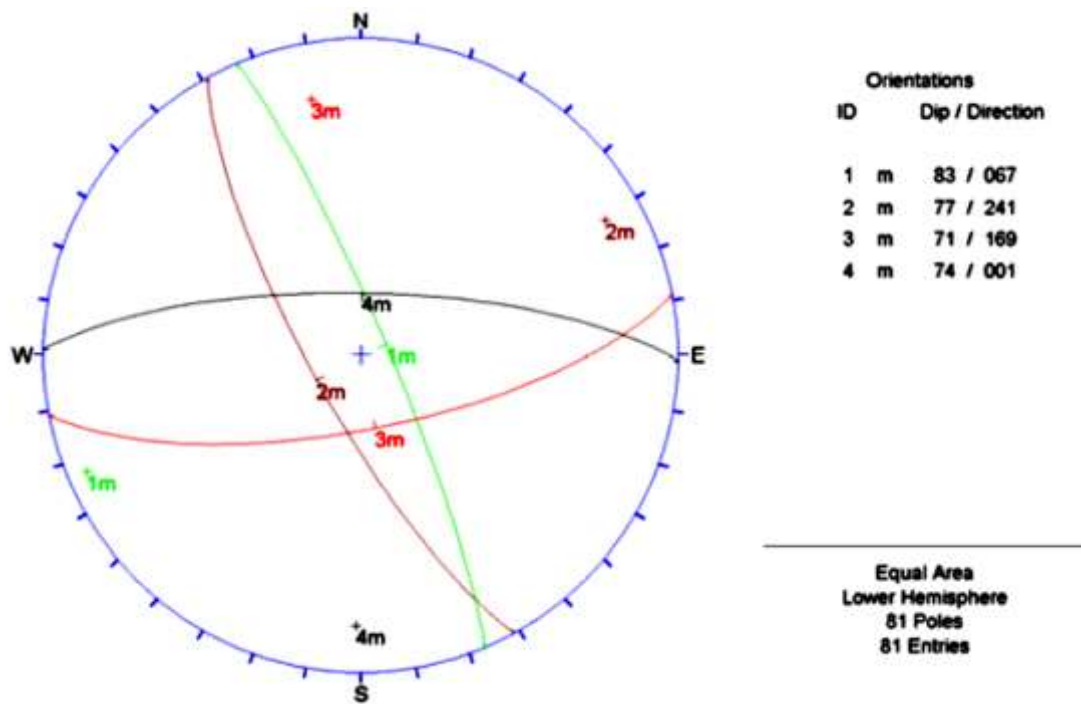


Diagrama estereográfico de planos principales del compuesto de discontinuidades

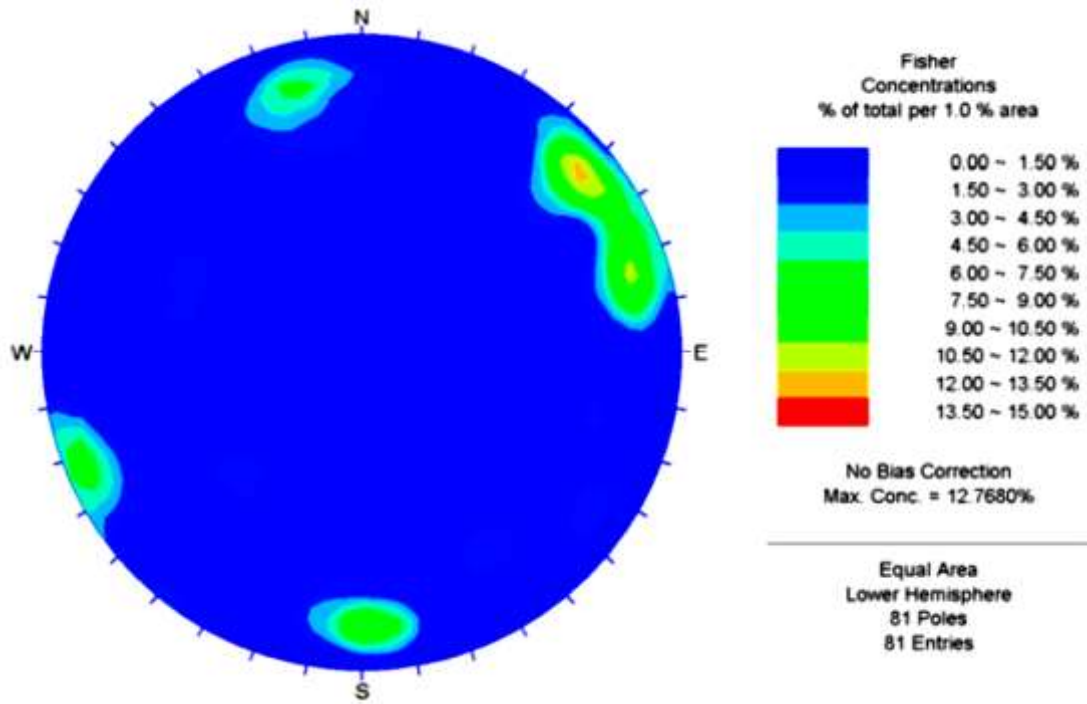


Diagrama estereográfico de contornos del compósito de discontinuidades

## PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

**PROYECTO:** “EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE  
TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA – SECTOR  
CRUZHUASA - CORANI – CARABAYA – PUNO”

Coordenadas **UTM:** 8467000N – 332150E

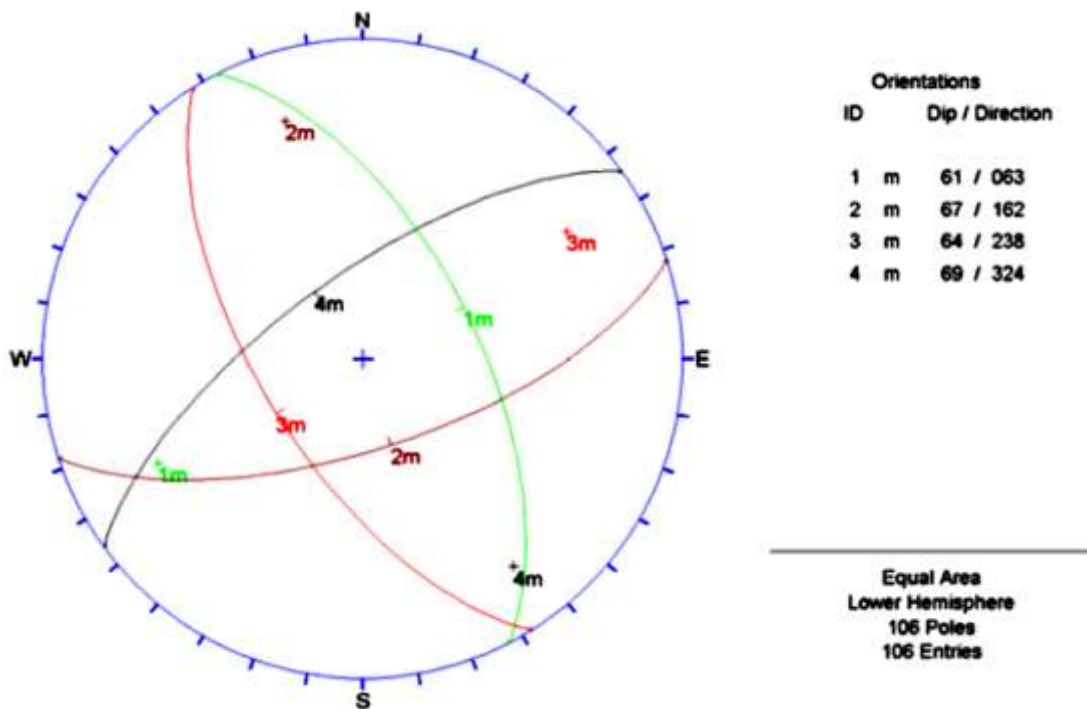


Diagrama estereográfico de planos principales del compósito de discontinuidades

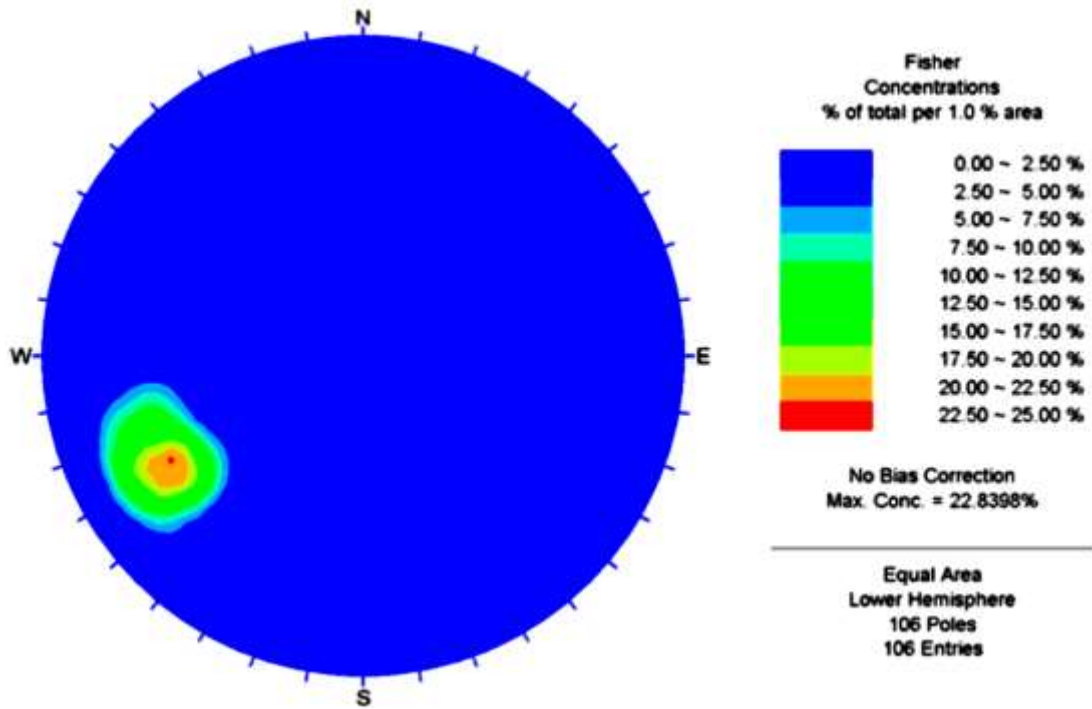


Diagrama estereográfico de contornos del compuesto de discontinuidades

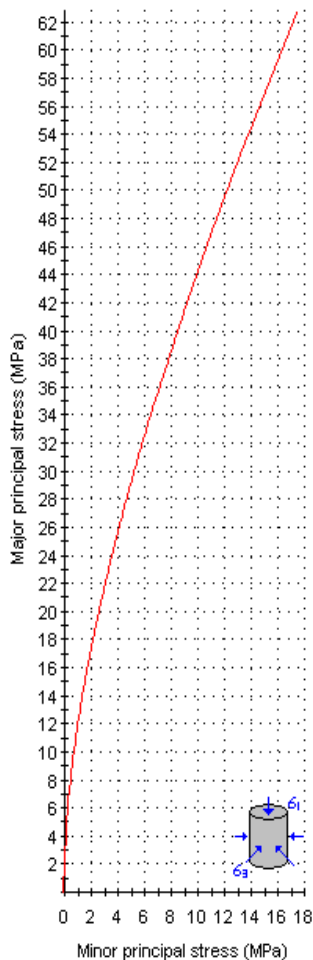
## Anexo 4. Comportamiento geomecánico del macizo rocoso - ROCLAB

### ANÁLISIS RocData

**PROYECTO: “EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE  
TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA – SECTOR  
CRUZHUASA - CORANI – CARABAYA – PUNO”**

Coordenadas UTM: 8466800N – 331000E

#### Analysis of Rock/soll Strength using RocData

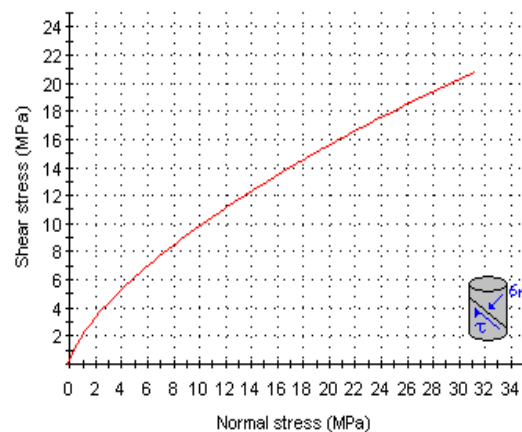


**Hoek-Brown Classification**  
Intact uniaxial compressive strength = 98.70 MPa  
GSI = 46

**Hoek-Brown Criterion**  
 $M_b=0.945$   $s=0.0011$   $a=0.523$

**Mohr – Coulomb Fit**  
Cohesion= 1.682 MPa friction angle=26.58deg

**Rock Mass Parameters**  
Tensile strength = 0.071 MPa  
Uniaxial compressive strength = 1.523 Mpa  
Global strength = 5.430 MPa  
Modulus of deformation = 3762.30 MPa





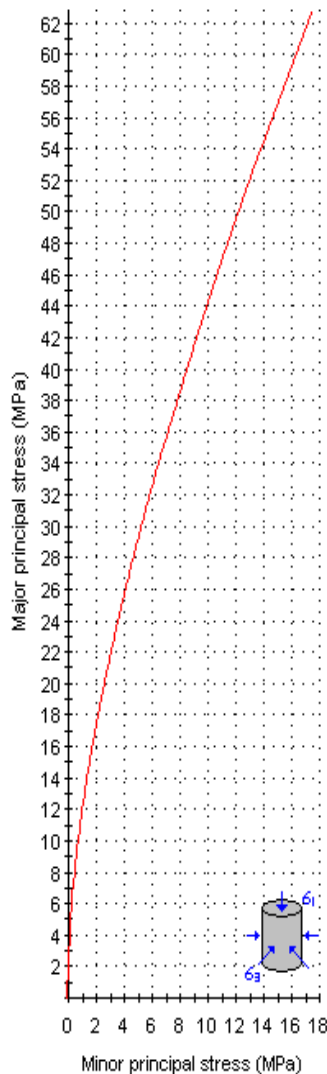


## ANÁLISIS RocData

### PROYECTO: “EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA – SECTOR CRUZHUASA - CORANI – CARABAYA – PUNO”

Coordenadas UTM: 8466850N – 331750E

#### Analysis of Rock/soll Strength using RocData



#### Hoek-Brown Classification

Intact uniaxial compressive strength = 62.69 MPa

GSI = 54

#### Hoek-Brown Criterion

$Mb=0.839$   $s=0.0101$   $a=0.467$

#### Mohr – Coulomb Fit

Cohesion= 1.721 MPa friction angle=26.42deg

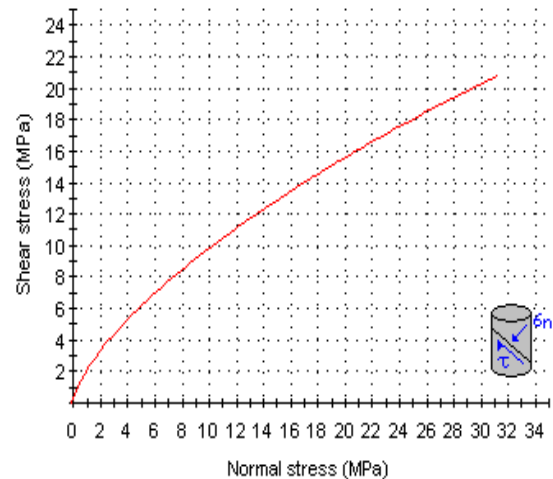
#### Rock Mass Parameters

Tensile strength = 0.082 MPa

Uniaxial compressive strength = 1.487 Mpa

Global strength = 5.325 MPa

Modulus of deformation = 3452.50 MPa

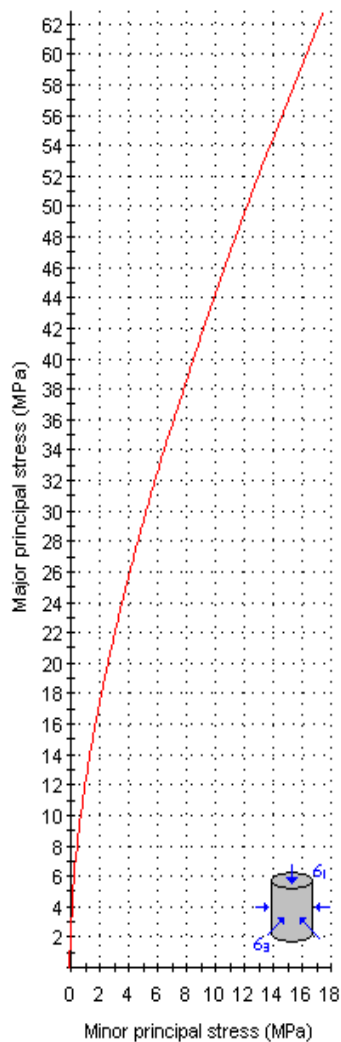


## ANÁLISIS RocData

### PROYECTO: “EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA – SECTOR CRUZHUASA - CORANI – CARABAYA – PUNO”

Coordenadas UTM: 8467000N – 332150E

#### Analysis of Rock/soll Strength using RocData



#### Hoek-Brown Classification

Intact uniaxial compressive strength = 80.15 MPa  
GSI = 49

#### Hoek-Brown Criterion

$Mb=0.867$   $s=0.0025$   $a=0.498$

#### Mohr – Coulomb Fit

Cohesion = 1.598 MPa friction angle = 25.76deg

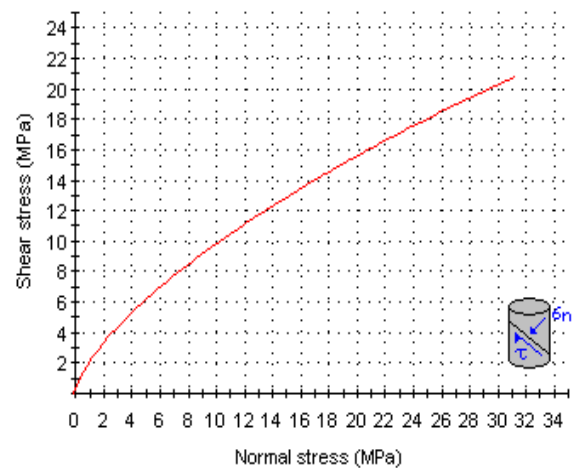
#### Rock Mass Parameters

Tensile strength = 0.089 MPa

Uniaxial compressive strength = 1.467 Mpa

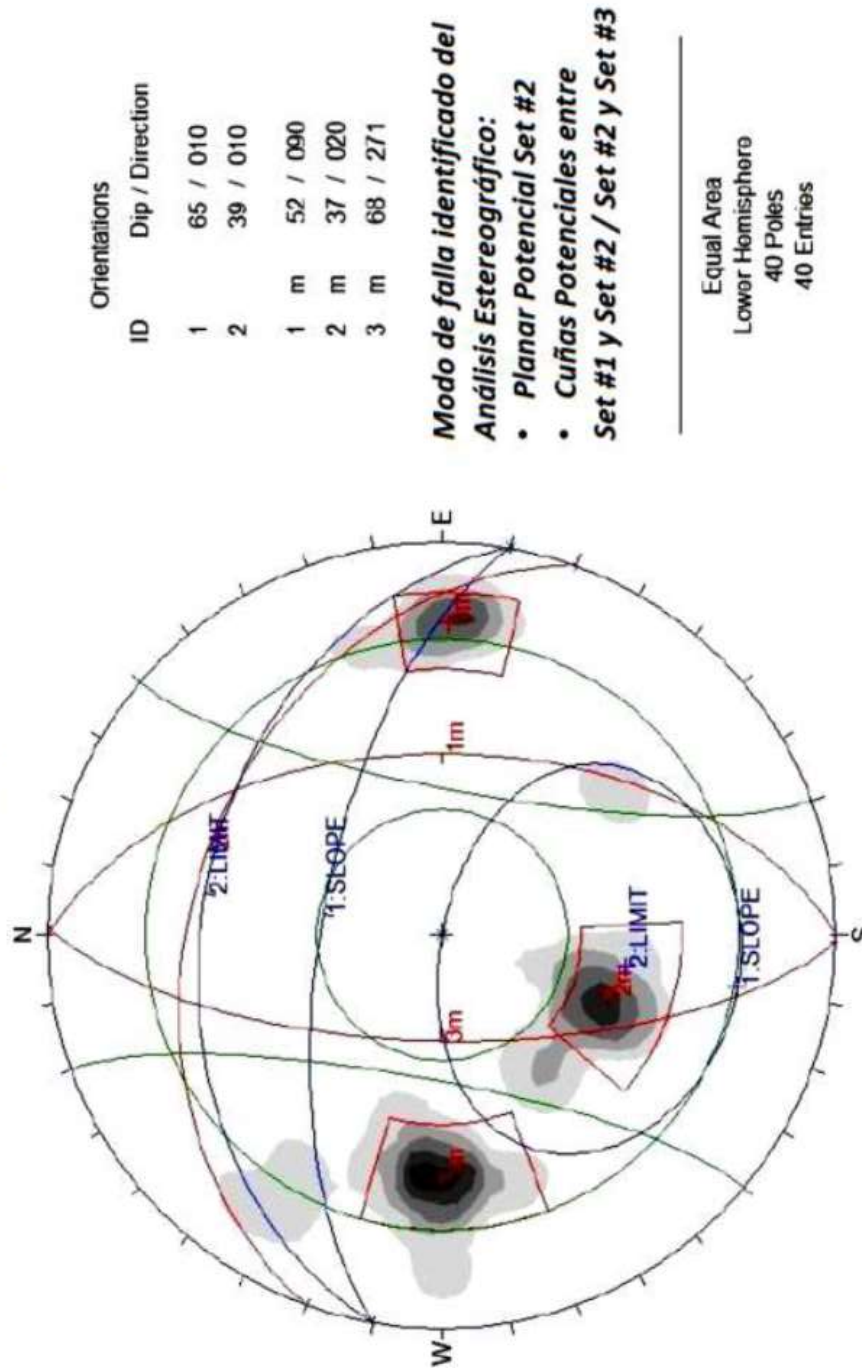
Global strength = 5.654 MPa

Modulus of deformation = 3801.25 MPa



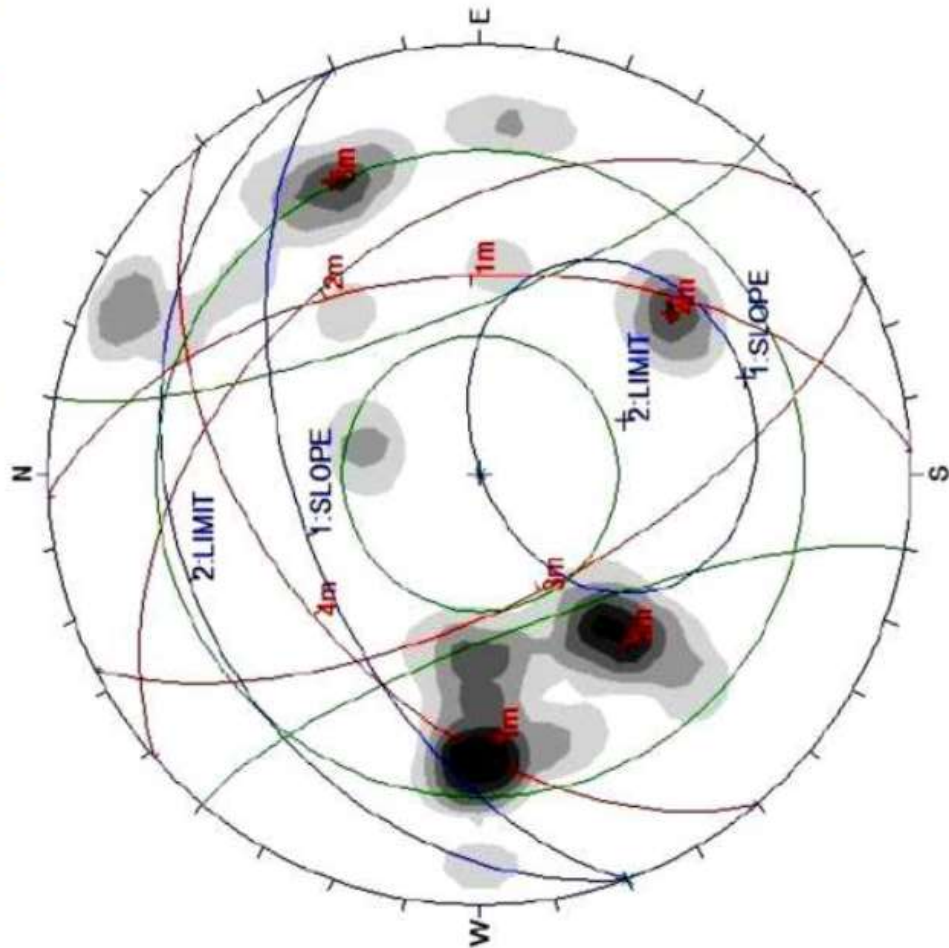
**Anexo 5.** Análisis de estabilidad de taludes por el método estereográfico o cinemático en macizos rocosos

PROYECTO: "EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA - SECTOR CRUZHUASA - CORANI - CARABAYA - PUNO"  
Coordenadas UTM: 8466450N - 330600E



PROYECTO: "EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA - SECTOR CRUZHUASA - CORANI - CARABAYA - PUNO"

Coordenadas UTM: 8466800N - 331000E



Orientations  
ID Dip / Direction

|     |          |
|-----|----------|
| 1   | 55 / 340 |
| 2   | 29 / 340 |
| 1 m | 52 / 087 |
| 2 m | 43 / 049 |
| 3 m | 65 / 243 |
| 4 m | 48 / 320 |

**Modo de falla identificado del**

**Análisis Estereográfico:**

- Planar Set #4
- Cuñas Potenciales entre Set #1 y Set #4 / Set #2 y Set #4 Set #3 y Set #4

Equal Area

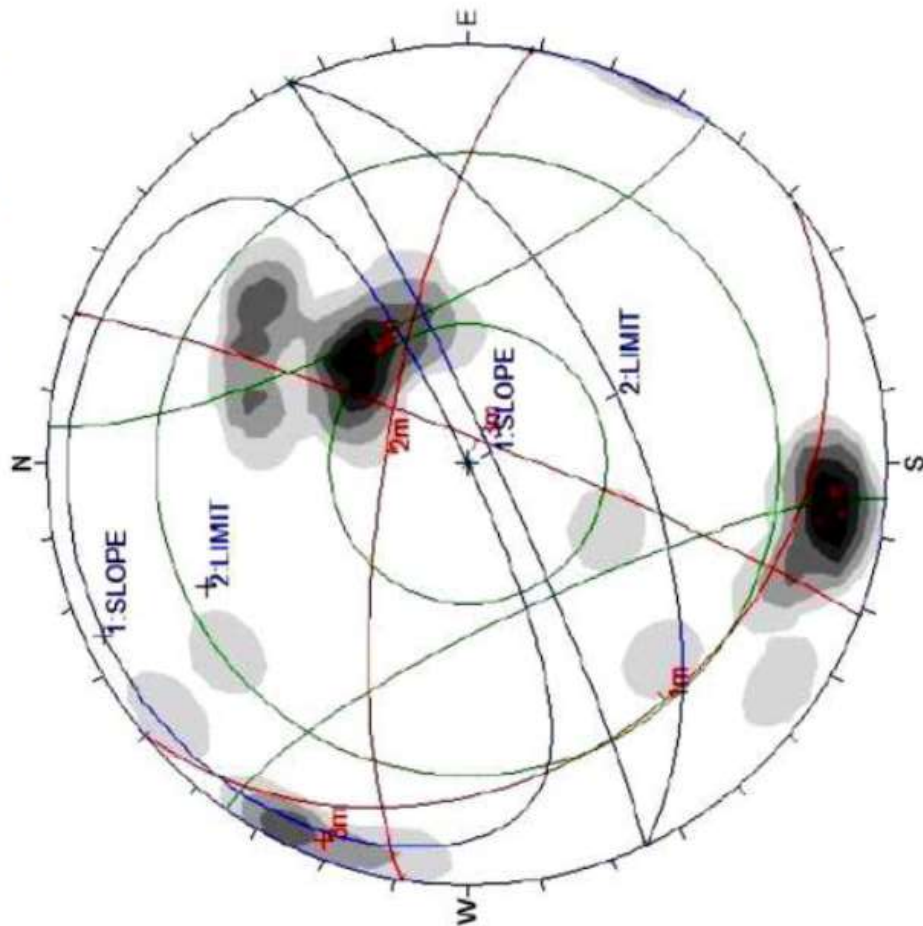
Lower Hemisphere

40 Poles

40 Entries

PROYECTO: "EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA - SECTOR CRUZHUASA - CORANI - CARABAYA - PUNO"

Coordenadas UTM: 8466900N -331050E



Orientations

| ID  | Dip / Direction |
|-----|-----------------|
| 1   | 85 / 155        |
| 2   | 58 / 155        |
| 1 m | 28 / 230        |
| 2 m | 74 / 009        |
| 3 m | 85 / 111        |

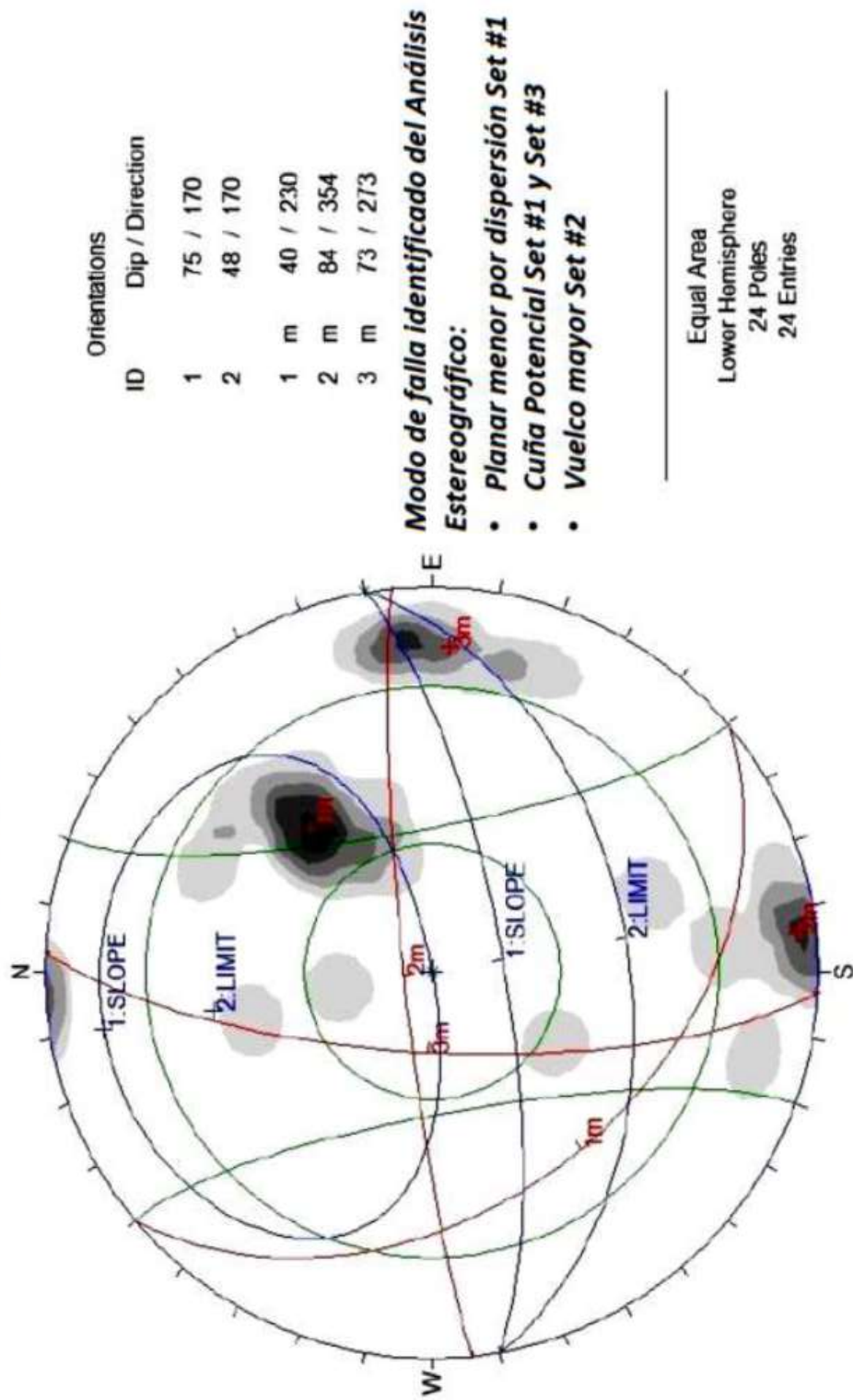
**Modo de falla identificado del Análisis Estereográfico:**

- Planar por dispersión Set #1
- Cuña probable por dispersión Set #1 y Set #3
- Vuelco menor por dispersión Set #2

Equal Area  
Lower Hemisphere  
25 Poles  
25 Entrées

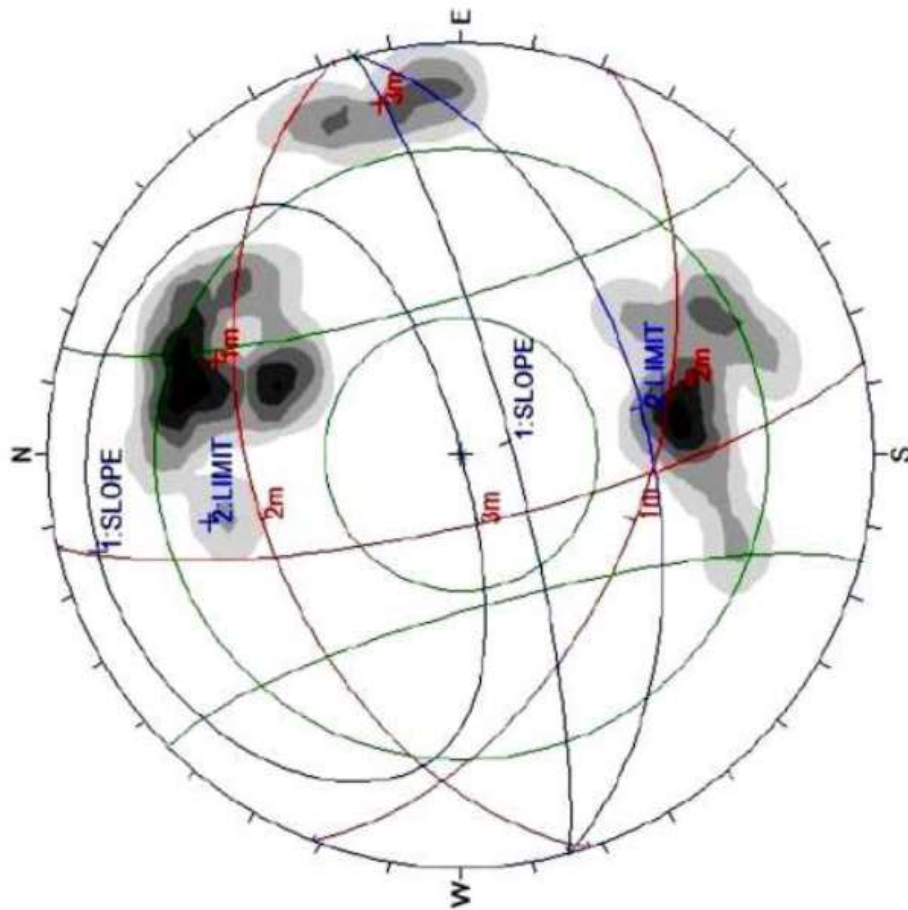


PROYECTO: "EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA - SECTOR CRUZHUASA - CORANI - CARABAYA - PUNO"  
Coordenadas UTM: 8466700N - 331600E



PROYECTO: "EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA - SECTOR CRUZHUASA - CORANI - CARABAYA - PUNO"

Coordenadas UTM: 8466850N - 331750E



| Orientations |                 |
|--------------|-----------------|
| ID           | Dip / Direction |
| 1            | 80 / 165        |
| 2            | 53 / 165        |
| 1            | m 53 / 201      |
| 2            | m 48 / 342      |
| 3            | m 76 / 257      |

**Modo de falla identificado del Análisis Estereográfico:**

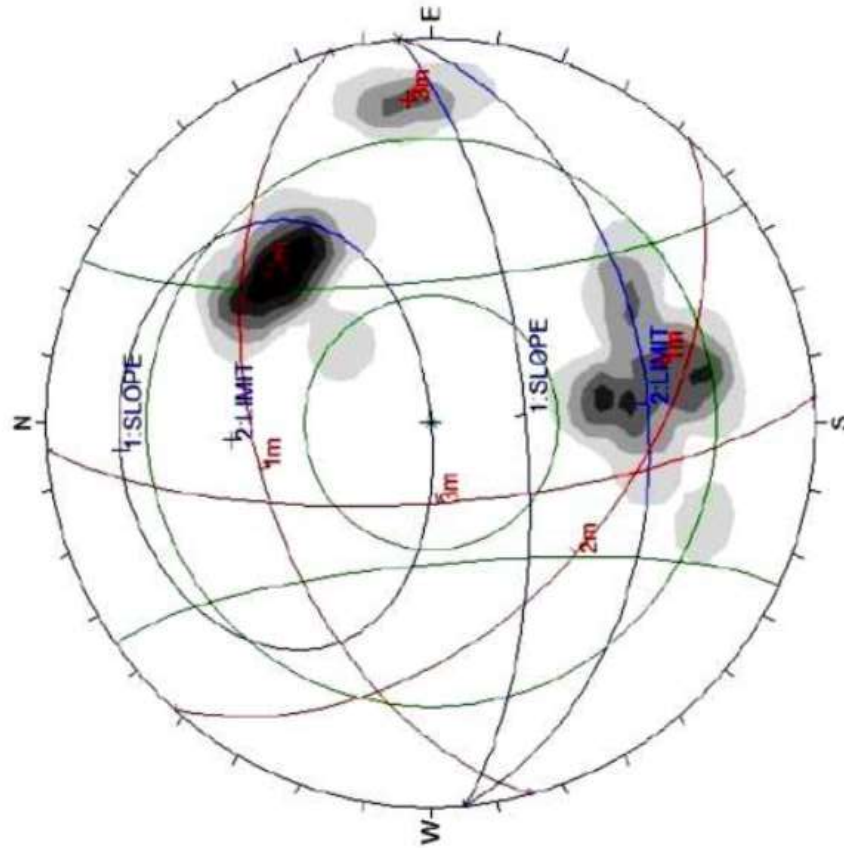
- **Falla Planar mayor por amplia dispersión Set #1**
- **Cuña Potencial entre Set #1 y Set #2**
- **Vuelco Potencial Set #2**

---

Equal Area  
Lower Hemisphere  
24 Poles  
24 Entries



PROYECTO: "EVALUACION GEOTECNICA PARA LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LA TROCHA CARROZABLE - ACCONSAYA - SECTOR CRUZHUASA - CORANI - CARABAYA - PUNO"  
Coordenadas UTM: 8467000N - 332150E



| Orientations |                 |
|--------------|-----------------|
| ID           | Dip / Direction |
| 1            | 70 / 175        |
| 2            | 43 / 175        |
| 1 m          | 52 / 345        |
| 2 m          | 48 / 222        |
| 3 m          | 73 / 200        |

**Modo de falla identificado del Análisis Estereográfico:**

- **Falla Planar por dispersión Set #2**
- **Cuña Potencial Set #2 y Set #3**
- **Vuelco mayor por amplia dispersión Set #1**

Equal Area  
Lower Hemisphere  
24 Poles  
24 Entries



## Anexo 6. Ensayos de laboratorio para taludes en suelos

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  | UNIVERSIDAD<br>NACIONAL DEL<br>ALTIPLANO | FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS<br>LABORATORIO DE GEOTECNIA & MECÁNICA DE ROCAS |  |
|--|--|---|--|

**INFORME N°006-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO**

\* ENSAYO CLASIFICACIÓN DE SUELOS – SUCS & ASSTHO  
\* ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS – CD

**SOLICITADO POR:**

INGENIERIA EN PROYECTOS CONSTRUCCIONES Y TELECOMUNICACIONES  
CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.

**PROYECTO:**

CONSTRUCCIÓN DE TROCHA CARROZABLE DE LA LOCALIDAD DE ACCONSAYA –  
SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI – CARABAYA – PUNO.

**UBICACIÓN:**

LOCALIDAD DE ACCONSAYA – SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI –  
CARABAYA – PUNO.

**MUESTRA:**

- M-1: PROG: 3+100
- M-2: PROG: 2+700
- M-3: PROG: 2+510

**FECHA:**

13 DE FEBRERO DEL 2019

**NOTA:**

- El solicitante es responsable del muestreo.
- La información correspondiente a las muestras fue proporcionada por el solicitante.
- Condición de la muestra, preparadas según norma vigente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
- Prohibida su reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas.
- Los resultados no pueden ser utilizados como certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



*[Firma]*

JEFE DE LABORATORIO DE GEOTECNIA & MECÁNICA DE ROCAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

Página 1 de 13

---

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas – UNA P.

|   |  |   |
|---|--|---|
| Av. Floral N°1153<br>Puno - Perú<br><a href="http://web.unap.edu.pe/">http://web.unap.edu.pe/</a> | Ciudad Universitaria – Pab. Ing. De Minas<br>unaminas@gmail.com, ilaura_geo@gmail.com<br>owalvelasquez@hotmail.com | Teléfono<br>(+051) 366193<br>(+051) 921 474 201 |
|---|--|---|



**M-1: PROY: 3+100**

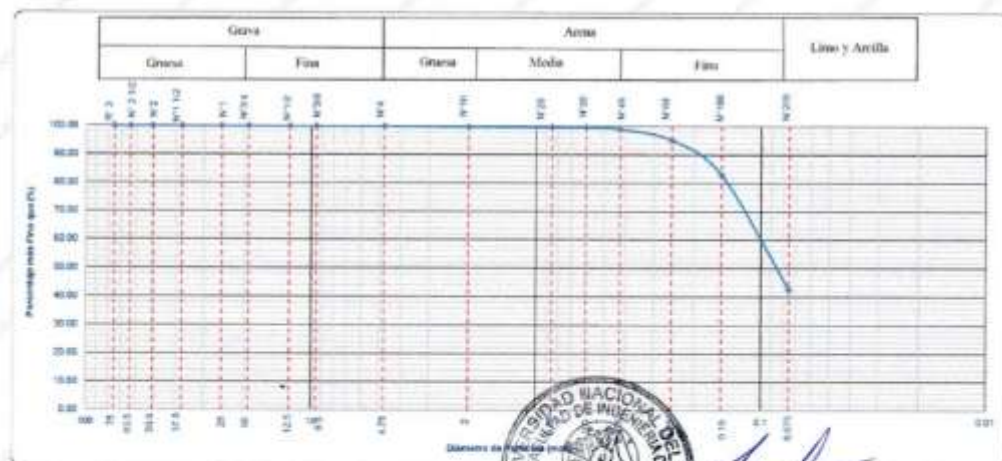
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE UNA MUESTRA DE SUELO – SUCS Y AASHTO**

INFORME No : 006-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.  
 REFERENCIA : ASTM D 2487-69  
 FECHA DE EMISIÓN: 13 DE FEBRERO DEL 2019  
 SOLICITADO POR : INGENIERIA EN PROYECTOS CONSTRUCCIONES Y TELECOMUNICACIONES CONTRATISTAS GENERALES S.R.L  
 PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE TROCHA CARROZABLE DE LA LOCALIDAD DE ACCONSAYA – SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI – CARABAYA – PUNO.  
 UBICACIÓN : LOCALIDAD DE ACCONSAYA – SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI – CARABAYA – PUNO.  
 MUESTRA : M-1: PROY: 3+100  
 TÉCNICO : ING. SC. OSCAR CAHUANA CONDORI & ING. SC. IVAN LAURA NINA.  
 RESPONSABLE : ING. OWAL A. VELASQUEZ VIZA.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 2487-69, obteniéndose los siguientes resultados:

| TAMIZ | TAMIZ | PESOS DE MUESTRA RETENIDA | PASA (%) | PASANTE (%) | RETENIDO PARCIAL (%) | RETENIDO ACUMULADO (%) |
|-------|-------|---------------------------|----------|-------------|----------------------|------------------------|
| PULG  | mm    | (g)                       | (%)      | (%)         | (%)                  | (%)                    |
| 3     | 75    | 0.00                      | 100.00   | 100.00      | 0.00                 | 0.00                   |
| 2 1/2 | 63.5  | 0.00                      | 100.00   | 100.00      | 0.00                 | 0.00                   |
| 2     | 50.8  | 0.00                      | 100.00   | 100.00      | 0.00                 | 0.00                   |
| 1 1/2 | 37.5  | 0.00                      | 100.00   | 100.00      | 0.00                 | 0.00                   |
| 1     | 25    | 0.00                      | 100.00   | 100.00      | 0.00                 | 0.00                   |
| 3/4   | 19    | 0.00                      | 100.00   | 100.00      | 0.00                 | 0.00                   |
| 1/2   | 12.5  | 0.00                      | 100.00   | 100.00      | 0.00                 | 0.00                   |
| 3/8   | 9.5   | 0.00                      | 100.00   | 100.00      | 0.00                 | 0.00                   |
| 4     | 4.75  | 0.00                      | 100.00   | 100.00      | 0.00                 | 0.00                   |
| 10    | 2     | 1.14                      | 99.86    | 99.86       | 0.14                 | 0.14                   |
| 20    | 0.85  | 0.97                      | 99.75    | 99.75       | 0.12                 | 0.25                   |
| 30    | 0.6   | 0.16                      | 99.73    | 99.73       | 0.02                 | 0.27                   |
| 40    | 0.425 | 4.79                      | 99.16    | 99.16       | 0.57                 | 0.84                   |
| 60    | 0.25  | 32.63                     | 95.27    | 95.27       | 3.88                 | 4.73                   |
| 100   | 0.15  | 104.49                    | 82.83    | 82.83       | 12.44                | 17.17                  |
| 200   | 0.075 | 337.96                    | 42.60    | 42.60       | 40.24                | 57.40                  |
| BASE  |       | 357.79                    | 0.00     | 0.00        | 42.60                | 100.00                 |
| TOTAL |       | 839.93                    |          |             | 100.00               |                        |

**CURVA GRANULOMÉTRICA**





### Límites de consistencia

| LÍMITE LÍQUIDO (ASTM-D4318 00) |       |       |       | LÍMITE PLÁSTICO (ASTM-D4318 00) |                               |       |       |                         |  |        |
|--------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------------------------|--|--------|
| N° de Tara                     | M-4   | M-6   | M-11  | N° de Tara                      | M-7                           | M-2   | M-3   | Límite Líquido (L.L. %) | 29.41                                    |        |
| Peso Suelo Húmedo + Tara (g)   | 49.45 | 63.07 | 53.30 | 52.62                           | Peso Suelo Húmedo + Tara (g)  | 23.64 | 21.84 | 22.56                   | Límite Plástico (L.P. %)                 | 25.79  |
| Peso de Suelo Seco + Tara (g)  | 42.05 | 52.90 | 45.26 | 44.99                           | Peso de Suelo Seco + Tara (g) | 20.25 | 18.78 | 19.41                   | Índice de Plasticidad (I.P. %)           | 3.62   |
| Peso de Tara (g)               | 17.99 | 18.20 | 17.80 | 17.78                           | Peso de Tara (g)              | 7.14  | 7.02  | 7.06                    | Pasa tamiz N° 4 (75mm) %                 | 100.00 |
| Peso de Suelo Seco (g)         | 24.06 | 34.70 | 27.46 | 27.21                           | Peso de Suelo Seco (g)        | 13.11 | 11.76 | 12.35                   | Pasa tamiz N° 200 (0.075 mm) %           | 42.60  |
| Peso de Agua (g)               | 7.40  | 10.17 | 8.04  | 7.63                            | Peso de Agua (g)              | 3.39  | 3.08  | 3.15                    | D <sub>60</sub> (mm)                     | 0.11   |
| Contenido de Humedad (%)       | 30.76 | 29.31 | 29.28 | 28.04                           | Contenido de Humedad (%)      | 25.86 | 26.02 | 25.51                   | D <sub>30</sub> (mm)                     |        |
| Número de Golpes               | 18    | 25    | 26    | 33                              |                               |       |       |                         | D <sub>10</sub> (diámetro efectivo) (mm) |        |
|                                |       |       |       |                                 |                               |       |       |                         | Coefficiente de uniformidad (Cu)         |        |
|                                |       |       |       |                                 |                               |       |       |                         | Grado de curvatura (Cc)                  |        |



#### Clasificación SUCS

Suelo de partículas gruesas. Suelo de partículas gruesas con finos (suelo sucio).  
Arena limosa SM

#### Clasificación AASTHO

Material limoso-arenoso  
Pobre a malo como subgrado  
A-4 Suelo limoso

#### ÍNDICE DE GRUPO

0



*[Firma manuscrita]*



### ENSAYO DE CORTE DIRECTO CD EN MUESTRA DE SUELO

INFORME No : 006-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.  
 REFERENCIA : ASTM C 39, AASHTO T22.  
 FECHA DE EMISIÓN: 13 DE FEBRERO DEL 2019  
 SOLICITADO POR : INGENIERIA EN PROYECTOS CONSTRUCCIONES Y TELECOMUNICACIONES CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.  
 PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE TROCHA CARROZABLE DE LA LOCALIDAD DE ACCONSAYA - SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI - CARABAYA - PUNO.  
 UBICACIÓN : LOCALIDAD DE ACCONSAYA - SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI - CARABAYA - PUNO.  
 MUESTRA : M-1; PROG: 3+100  
 TÉCNICO : ING. SC. OSCAR CAHUANA CONDORI & ING. SC. IVAN LAURA NINA.  
 RESPONSABLE : ING. OWAL A. VELASQUEZ VIZA.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 3080-98, obteniéndose los siguientes resultados:

| DATOS                                    | ESPECIMEN 01               |       |       |       | ESPECIMEN 02 |       |       |       | ESPECIMEN 03 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|----------------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ANCHO (mm)                               | 5.88                       |       |       |       | 5.98         |       |       |       | 5.98         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| LARGO (mm)                               | 5.87                       |       |       |       | 5.97         |       |       |       | 5.97         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| ALTURA (mm)                              | 1.99                       |       |       |       | 1.99         |       |       |       | 1.99         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| AREA (cm2)                               | 35.70                      |       |       |       | 35.70        |       |       |       | 35.70        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| VOLUMEN (cm3)                            | 71.04                      |       |       |       | 71.04        |       |       |       | 71.04        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Peso del Molde (g)                       | 157.27                     |       |       |       | 157.27       |       |       |       | 157.27       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Peso Tara (g)                            | 46.35                      |       |       |       | 45.17        |       |       |       | 46.12        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Peso colocada (kg)                       | 1.00                       |       |       |       | 2.00         |       |       |       | 3.00         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Esfuerzo Norma aplicado (kg)             | 20.00                      |       |       |       | 20.00        |       |       |       | 30.00        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| - Peso Muestra Humeda Natural + molde(g) | 343.34                     |       |       |       | 335.35       |       |       |       | 342.81       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| - Peso Muestra Saturada (g)+tara (g)     | 188.70                     |       |       |       | 188.23       |       |       |       | 188.74       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| - Peso muestra seca + tara (g)           | 186.67                     |       |       |       | 179.25       |       |       |       | 179.14       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Peso Muestra Humeda Natural (g)          | 186.07                     |       |       |       | 178.08       |       |       |       | 185.64       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Peso Muestra Saturada (g)                | 121.75                     |       |       |       | 120.16       |       |       |       | 123.62       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Peso Muestra Seca (g)                    | 99.47                      |       |       |       | 90.11        |       |       |       | 93.02        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Contenido de Humedad (%)                 | 99.07                      |       |       |       | 97.63        |       |       |       | 99.57        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  | W% natural                 |       |       |       | W% natural   |       |       |       | W% natural   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Densidad Humeda (gr/cm3)                 | 2.62                       |       |       |       | 2.51         |       |       |       | 2.61         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  | Natural                    |       |       |       | Natural      |       |       |       | Natural      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Densidad Seca (gr/cm3)                   | 1.71                       |       |       |       | 1.69         |       |       |       | 1.73         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  | Saturada                   |       |       |       | Saturada     |       |       |       | Saturada     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Esfuerzo Normal (kg/cm2)                 | 0.280                      |       |       |       | 0.560        |       |       |       | 0.840        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|  | Def. Tangencial (mm)       | 0.00  | 0.10  | 0.20  | 0.30         | 0.40  | 0.60  | 0.80  | 1.00         | 1.25  | 1.50  | 1.75  | 2.00  | 2.25  | 2.50  | 2.75  | 3.00  | 3.25  | 3.50  | 3.75  | 4.00  | 4.25  | 4.50  | 4.75  | 5.00  | 5.25  |       |
|  | Dial de carga              | 0.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  |
|  | Fuerza cortante (kg)       | 0.467 | 0.872 | 0.872 | 0.872        | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872        | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 |
|  | Esfuerzo de corte (kg/cm2) | 0.013 | 0.024 | 0.024 | 0.024        | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024        | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 |
|  | Def. Tangencial (mm)       | 0.00  | 0.10  | 0.20  | 0.30         | 0.40  | 0.60  | 0.80  | 1.00         | 1.25  | 1.50  | 1.75  | 2.00  | 2.25  | 2.50  | 2.75  | 3.00  | 3.25  | 3.50  | 3.75  | 4.00  | 4.25  | 4.50  | 4.75  | 5.00  | 5.25  |       |
|  | Dial de carga              | 0.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  |
|  | Fuerza cortante (kg)       | 0.467 | 0.872 | 0.872 | 0.872        | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872        | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 |
|  | Esfuerzo de corte (kg/cm2) | 0.013 | 0.024 | 0.024 | 0.024        | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024        | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 |
|  | Def. Tangencial (mm)       | 0.00  | 0.10  | 0.20  | 0.30         | 0.40  | 0.60  | 0.80  | 1.00         | 1.25  | 1.50  | 1.75  | 2.00  | 2.25  | 2.50  | 2.75  | 3.00  | 3.25  | 3.50  | 3.75  | 4.00  | 4.25  | 4.50  | 4.75  | 5.00  | 5.25  |       |
|  | Dial de carga              | 0.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00         | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  |
|  | Fuerza cortante (kg)       | 0.467 | 0.872 | 0.872 | 0.872        | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872        | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 | 0.872 |
|  | Esfuerzo de corte (kg/cm2) | 0.013 | 0.024 | 0.024 | 0.024        | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024        | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.024 |





**M-2: PROG: 2+700**

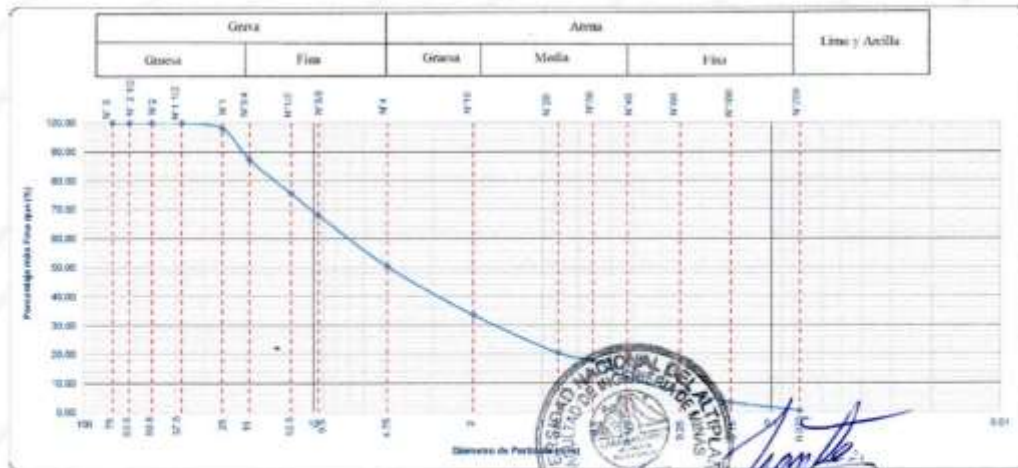
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE UNA MUESTRA DE SUELO – SUCS Y AASHTO**

INFORME No : 006-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.  
REFERENCIA : ASTM D 2487-69  
FECHA DE EMISIÓN : 13 DE FEBRERO DEL 2019  
SOLICITADO POR : INGENIERIA EN PROYECTOS CONSTRUCCIONES Y TELECOMUNICACIONES CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.  
PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE TROCHA CARROZABLE DE LA LOCALIDAD DE ACCONSAYA – SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI – CARABAYA – PUNO.  
UBICACIÓN : LOCALIDAD DE ACCONSAYA – SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI – CARABAYA – PUNO.  
MUESTRA : M – 2: PROG: 2+700  
TÉCNICO : ING. SC. OSCAR CAHUANA CONDORI & ING. SC. IVAN LAURA NINA.  
RESPONSABLE : ING. OWAL A. VELASQUEZ VIZA.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 2487-69, obteniéndose los siguientes resultados:

| TAMIZ | TAMIZ | PESOS DE MUESTRA RETENIDA | PASA   | PASANTE | RETENIDO PARCIAL | RETENIDO ACUMULADO |
|-------|-------|---------------------------|--------|---------|------------------|--------------------|
| PULG  | mm    | (g)                       | (%)    | (%)     | (%)              | (%)                |
| 3     | 75    | 0.00                      | 100.00 | 100.00  | 0.00             | 0.00               |
| 2 1/2 | 63.5  | 0.00                      | 100.00 | 100.00  | 0.00             | 0.00               |
| 2     | 50.8  | 0.00                      | 100.00 | 100.00  | 0.00             | 0.00               |
| 1 1/2 | 37.5  | 0.00                      | 100.00 | 100.00  | 0.00             | 0.00               |
| 1     | 25    | 23.23                     | 98.13  | 98.13   | 1.87             | 1.87               |
| 3/4   | 19    | 135.42                    | 87.22  | 87.22   | 10.91            | 12.78              |
| 1/2   | 12.5  | 144.45                    | 75.58  | 75.58   | 11.64            | 24.42              |
| 3/8   | 9.5   | 93.05                     | 68.09  | 68.09   | 7.50             | 31.91              |
| 4     | 4.75  | 220.65                    | 50.31  | 50.31   | 17.77            | 49.69              |
| 10    | 2     | 206.81                    | 33.65  | 33.65   | 16.66            | 66.35              |
| 20    | 0.85  | 165.35                    | 20.33  | 20.33   | 13.32            | 79.67              |
| 30    | 0.6   | 31.46                     | 17.80  | 17.80   | 2.53             | 82.20              |
| 40    | 0.425 | 74.18                     | 11.82  | 11.82   | 5.98             | 88.18              |
| 60    | 0.25  | 62.43                     | 6.79   | 6.79    | 5.03             | 93.21              |
| 100   | 0.15  | 43.53                     | 3.29   | 3.29    | 3.51             | 96.71              |
| 200   | 0.075 | 35.86                     | 0.40   | 0.40    | 2.89             | 99.60              |
| BASE  |       | 4.96                      | 0.00   | 0.00    | 0.40             | 100.00             |
| TOTAL |       | 1241.38                   |        |         |                  |                    |

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Página 6 de 13

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas – UNA P.

Av. Floral N°1153  
Puno - Perú

Ciudad Universitaria - Pab. Ing. De Minas  
unaminas@gmail.com, ilaura.goo@gmail.com

Teléfono  
(+051) 366193

### Límites de consistencia

| LÍMITE LÍQUIDO (ASTM-D4318 09) |       |       |       |       | LÍMITE PLÁSTICO (ASTM-D4318 09) |       |       |       | LÍMITE LÍQUIDO (U.C. 70)             |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------------|-------|
| W de Tara                      | M-4   | M-9   | M-6   | M-11  | W de Tara                       | M-7   | M-2   | M-3   | Límite Líquido (U.C. %)              | 17.26 |
| Peso Suelo Húmedo + Tara (g)   | 39.56 | 50.27 | 53.30 | 42.82 | Peso Suelo Húmedo + Tara (g)    | 8.13  | 8.18  | 8.19  | Límite Plástico (U.C. %)             | 14.25 |
| Peso de Suelo Seco + Tara (g)  | 34.78 | 45.53 | 48.00 | 38.94 | Peso de Suelo Seco + Tara (g)   | 7.99  | 8.04  | 8.05  | Índice de Plasticidad (U.C. %)       | 3.11  |
| Peso de Tara (g)               | 7.08  | 16.20 | 17.80 | 17.78 | Peso de Tara (g)                | 7.05  | 7.02  | 7.06  | Peso Tara 1" x 4 (libras) %          | 50.21 |
| Peso de Suelo Seco (g)         | 27.72 | 27.33 | 30.20 | 21.16 | Peso de Suelo Seco (g)          | 0.94  | 1.02  | 0.99  | Peso Tara 1" x 200 (libras) (máx. %) | 2.40  |
| Peso de Agua (g)               | 4.78  | 4.74  | 5.30  | 3.68  | Peso de Agua (g)                | 0.14  | 0.14  | 0.14  | CVL (máx.)                           | 1.24  |
| Contenido de Humedad (%)       | 17.24 | 17.34 | 17.55 | 17.39 | Contenido de Humedad (%)        | 14.89 | 13.73 | 14.14 | CVL (máx. (máx. máx.))               | 1.48  |
| Número de Golpes               | 34    | 25    | 18    | 22    |                                 |       |       |       | CVL (máx. (máx. máx.))               | 0.34  |
|                                |       |       |       |       |                                 |       |       |       | Índice de Consistencia (U.C.)        | 57.66 |



**Clasificación SUCS**  
Suelo de partículas gruesas. Suelo limpio.  
Arena mal graduada con grava SP

**Clasificación AASTHO**  
Material granular  
Excelente a bueno como subgrado  
A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena

**ÍNDICE DE GRUPO** 0







### ENSAYO DE CORTE DIRECTO CD EN MUESTRA DE SUELO

INFORME No : 006-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.  
 REFERENCIA : ASTM C 39, AASHTO T22.  
 FECHA DE EMISIÓN: 13 DE FEBRERO DEL 2019  
 SOLICITADO POR : INGENIERIA EN PROYECTOS CONSTRUCCIONES Y TELECOMUNICACIONES CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.  
 PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE TROCHA CARROZABLE DE LA LOCALIDAD DE ACCONSAYA – SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI – CARABAYA – PUNO.  
 UBICACIÓN : LOCALIDAD DE ACCONSAYA – SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI – CARABAYA – PUNO.  
 MUESTRA : M-2- PROG: 2+700  
 TÉCNICO : ING. SC. OSCAR CAHUANA CONDORI & ING. SC. IVAN LAURA NIÑA.  
 RESPONSABLE : ING. OWAL A. VELASQUEZ VIZA.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 3080-98, obteniéndose los siguientes resultados:

| DATOS                                  | ESPECIMEN 01                        |               |                      | ESPECIMEN 02                            |                     |               | ESPECIMEN 03                        |   |                     |               |                      |   |
|--|-------------------------------------|---------------|----------------------|---|---------------------|---------------|-------------------------------------|---|---------------------|---------------|----------------------|---|
| ANCHO (cm)                             | 5.98                                |               |                      | 5.98                                    |                     |               | 5.98                                |   |                     |               |                      |   |
| LARGO (cm)                             | 5.97                                |               |                      | 5.97                                    |                     |               | 5.97                                |   |                     |               |                      |   |
| ALTIURA (cm)                           | 1.99                                |               |                      | 1.99                                    |                     |               | 1.99                                |   |                     |               |                      |   |
| AREA (cm <sup>2</sup> )                | 35.70                               |               |                      | 35.70                                   |                     |               | 35.70                               |   |                     |               |                      |   |
| VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )             | 71.04                               |               |                      | 71.04                                   |                     |               | 71.04                               |   |                     |               |                      |   |
| Peso del Molde (g)                     | 157.27                              |               |                      | 157.27                                  |                     |               | 157.27                              |   |                     |               |                      |   |
| Peso Tara (g)                          | 47.31                               |               |                      | 44.83                                   |                     |               | 46.30                               |   |                     |               |                      |   |
| Peso colocada (Kg)                     | 1.00                                |               |                      | 1.00                                    |                     |               | 1.00                                |   |                     |               |                      |   |
| Esfuerzo Normal aplicado (Kg)          | 10.00                               |               |                      | 10.00                                   |                     |               | 10.00                               |   |                     |               |                      |   |
| Peso Muestra Humeda Natural + molde(g) | 282.38                              |               |                      | 282.57                                  |                     |               | 283.42                              |   |                     |               |                      |   |
| Peso Muestra Saturada (g)+tara (g)     | 185.00                              |               |                      | 181.65                                  |                     |               | 184.54                              |   |                     |               |                      |   |
| Peso muestra seca + tara (g)           | 163.00                              |               |                      | 161.03                                  |                     |               | 163.57                              |   |                     |               |                      |   |
| Peso Muestra Humeda Natural (g)        | 125.11                              |               |                      | 125.30                                  |                     |               | 126.15                              |   |                     |               |                      |   |
| Peso Muestra Saturada (g)              | 137.15                              |               |                      | 136.82                                  |                     |               | 137.94                              |   |                     |               |                      |   |
| Peso Muestra Seca (g)                  | 116.00                              |               |                      | 116.20                                  |                     |               | 117.07                              |   |                     |               |                      |   |
| Coeficiente de humedad (%)             | W% natural 0.08<br>W% saturada 0.18 |               |                      | W% natural 0.08<br>W% saturada 0.18     |                     |               | W% natural 0.08<br>W% saturada 0.18 |   |                     |               |                      |   |
| Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )  | Natural 1.76<br>Saturada 1.94       |               |                      | Natural 1.76<br>Saturada 1.93           |                     |               | Natural 1.78<br>Saturada 1.94       |   |                     |               |                      |   |
| Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )    | 1.63                                |               |                      | 1.64                                    |                     |               | 1.65                                |   |                     |               |                      |   |
| Esfuerzo Normal (Kg/cm <sup>2</sup> )  | 0.280                               |               |                      | 0.560                                   |                     |               | 0.840                               |   |                     |               |                      |   |
| ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS      | Def. Tangencia (mm)                 | Dial de carga | Fuerza cortante (Kg) | Esfuerzo de corte (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Def. Tangencia (mm) | Dial de carga | Fuerza cortante (Kg)                | Esfuerzo de corte (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Def. Tangencia (mm) | Dial de carga | Fuerza cortante (Kg) | Esfuerzo de corte (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|  | 0.00                                | 0.00          | 0.47                 | 0.01                                    | 0.00                | 0.00          | 0.47                                | 0.01                                    | 0.00                | 0.00          | 0.47                 | 0.01                                    |
|  | 0.10                                | 1.00          | 0.87                 | 0.02                                    | 0.10                | 1.50          | 1.07                                | 0.03                                    | 0.10                | 2.00          | 1.28                 | 0.04                                    |
|  | 0.20                                | 1.00          | 0.87                 | 0.02                                    | 0.20                | 2.00          | 1.28                                | 0.04                                    | 0.20                | 3.00          | 1.68                 | 0.05                                    |
|  | 0.30                                | 2.00          | 1.28                 | 0.04                                    | 0.30                | 3.00          | 1.88                                | 0.05                                    | 0.30                | 3.50          | 1.88                 | 0.05                                    |
|  | 0.40                                | 3.00          | 1.68                 | 0.05                                    | 0.40                | 3.50          | 1.88                                | 0.05                                    | 0.40                | 4.00          | 2.00                 | 0.06                                    |
|  | 0.60                                | 5.00          | 2.49                 | 0.07                                    | 0.60                | 5.00          | 3.70                                | 0.10                                    | 0.60                | 10.00         | 4.51                 | 0.13                                    |
|  | 0.80                                | 7.00          | 3.30                 | 0.09                                    | 0.80                | 11.00         | 4.42                                | 0.14                                    | 0.80                | 13.00         | 5.73                 | 0.16                                    |
|  | 1.00                                | 8.00          | 3.70                 | 0.10                                    | 1.00                | 14.00         | 6.13                                | 0.17                                    | 1.00                | 15.00         | 6.53                 | 0.18                                    |
|  | 1.25                                | 9.00          | 4.11                 | 0.12                                    | 1.25                | 16.00         | 6.94                                | 0.19                                    | 1.25                | 19.00         | 7.75                 | 0.22                                    |
|  | 1.50                                | 10.00         | 4.51                 | 0.13                                    | 1.50                | 19.00         | 8.15                                | 0.23                                    | 1.50                | 21.00         | 8.96                 | 0.25                                    |
|  | 1.75                                | 11.00         | 4.92                 | 0.14                                    | 1.75                | 21.00         | 8.96                                | 0.25                                    | 1.75                | 24.00         | 10.17                | 0.28                                    |
|  | 2.00                                | 11.00         | 4.92                 | 0.14                                    | 2.00                | 27.00         | 9.37                                | 0.26                                    | 2.00                | 27.00         | 11.39                | 0.32                                    |
|  | 2.25                                | 12.00         | 5.32                 | 0.15                                    | 2.25                | 23.00         | 9.77                                | 0.27                                    | 2.25                | 29.00         | 12.20                | 0.34                                    |
|  | 2.50                                | 13.00         | 5.73                 | 0.16                                    | 2.50                | 25.00         | 10.58                               | 0.30                                    | 2.50                | 31.00         | 13.01                | 0.36                                    |
|  | 2.75                                | 13.00         | 5.73                 | 0.16                                    | 2.75                | 27.00         | 11.39                               | 0.32                                    | 2.75                | 33.00         | 13.81                | 0.39                                    |
|  | 3.00                                | 13.00         | 5.73                 | 0.16                                    | 3.00                | 28.00         | 11.79                               | 0.33                                    | 3.00                | 35.00         | 14.62                | 0.41                                    |
|  | 3.25                                | 14.00         | 6.13                 | 0.17                                    | 3.25                | 28.00         | 11.79                               | 0.33                                    | 3.25                | 37.00         | 15.43                | 0.43                                    |
|  | 3.50                                | 15.00         | 6.53                 | 0.18                                    | 3.50                | 29.00         | 12.20                               | 0.34                                    | 3.50                | 39.00         | 16.24                | 0.45                                    |
|  | 3.75                                | 15.00         | 6.53                 | 0.18                                    | 3.75                | 30.00         | 12.60                               | 0.35                                    | 3.75                | 41.00         | 17.05                | 0.48                                    |
| 4.00                                   | 16.00                               | 6.94          | 0.19                 | 4.00                                    | 31.00               | 13.01         | 0.36                                | 4.00                                    | 43.00               | 17.86         | 0.50                 |   |
| 4.25                                   | 17.00                               | 7.34          | 0.21                 | 4.25                                    | 32.00               | 13.41         | 0.38                                | 4.25                                    | 45.00               | 18.67         | 0.52                 |   |
| 4.50                                   | 17.00                               | 7.34          | 0.21                 | 4.50                                    | 33.00               | 13.81         | 0.38                                | 4.50                                    | 46.00               | 19.07         | 0.53                 |   |
| 4.75                                   | 17.00                               | 7.34          | 0.21                 | 4.75                                    | 33.00               | 13.81         | 0.39                                | 4.75                                    | 47.00               | 19.48         | 0.55                 |   |
| 5.00                                   | 17.00                               | 7.34          | 0.21                 | 5.00                                    | 34.00               | 14.20         | 0.40                                | 5.00                                    | 49.00               | 20.29         | 0.57                 |   |
| 5.25                                   | 18.00                               | 7.75          | 0.22                 | 5.25                                    | 34.00               | 14.20         | 0.40                                | 5.25                                    | 50.00               | 20.69         | 0.58                 |   |
| 5.50                                   | 18.00                               | 7.75          | 0.22                 | 5.50                                    | 34.00               | 14.20         | 0.40                                | 5.50                                    | 50.00               | 20.69         | 0.58                 |   |
| 5.75                                   | 19.00                               | 8.15          | 0.23                 | 5.75                                    | 34.00               | 14.20         | 0.40                                | 5.75                                    | 50.00               | 20.69         | 0.58                 |   |
| 6.00                                   | 19.00                               | 8.15          | 0.23                 | 6.00                                    | 34.00               | 14.20         | 0.40                                | 6.00                                    | 50.00               | 20.69         | 0.58                 |   |
| 6.25                                   | 19.00                               | 8.15          | 0.23                 | 6.25                                    | 34.00               | 14.20         | 0.40                                | 6.25                                    | 50.00               | 20.69         | 0.58                 |   |
| 6.50                                   | 19.00                               | 8.15          | 0.23                 | 6.50                                    | 34.00               | 14.20         | 0.40                                | 6.50                                    | 50.00               | 20.69         | 0.58                 |   |



Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas - UNA P.

Av. Floral N°1153  
Puno - Perú  
<http://web.unap.edu.pe/>

Ciudad Universitaria - Pab. Ing. De Minas  
unaminas@gmail.com, laura\_geo@gmail.com  
owalvelasquez@hotmail.com

Teléfono  
(+051) 366193  
(+051) 921 474 201



**M-3: PROG: 2+510**

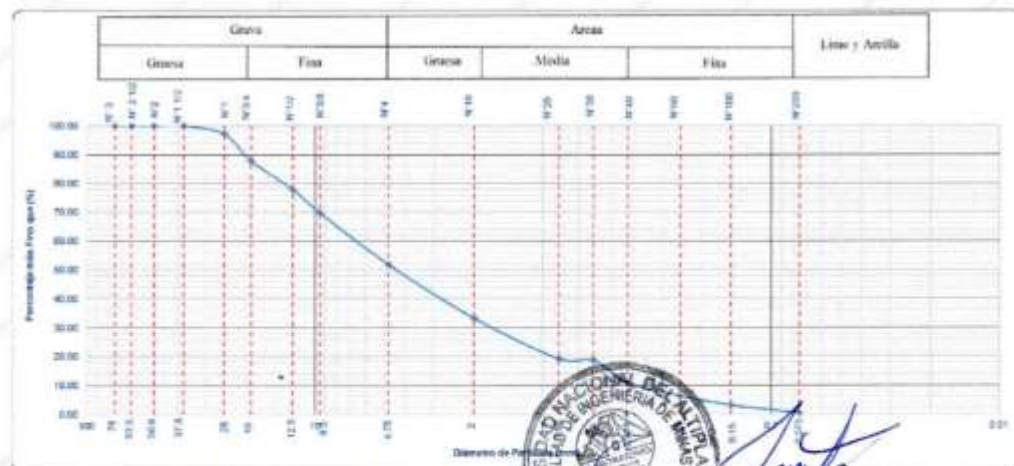
**ENSAYO DE CLASIFICACIÓN DE UNA MUESTRA DE SUELO – SUCS Y AASHTO**

INFORME No : 006-2019-LG&MR-FIM-UNA-PUNO.  
 REFERENCIA : ASTM D 2487-69  
 FECHA DE EMISIÓN: 13 DE FEBRERO DEL 2019  
 SOLICITADO POR : INGENIERIA EN PROYECTOS CONSTRUCCIONES Y TELECOMUNICACIONES CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.  
 PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE TROCHA CARROZABLE DE LA LOCALIDAD DE ACCONSAYA – SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI – CARABAYA – PUNO.  
 UBICACIÓN : LOCALIDAD DE ACCONSAYA – SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI – CARABAYA – PUNO.  
 MUESTRA : M-3: PROG: 2+510  
 TÉCNICO : ING. SC. OSCAR CAHUANA CONDORI & ING. SC. IVAN LAURA NINA  
 RESPONSABLE : ING. OWAL A. VELASQUEZ VIZA.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 2487-69, obteniéndose los siguientes resultados:

| TAMIZ | TAMIZ | PESOS DE MUESTRA RETENIDA | PASA   | PASANTE | RETENIDO PARCIAL | RETENIDO ACUMULADO |
|-------|-------|---------------------------|--------|---------|------------------|--------------------|
|       | mm    | (g)                       | (%)    | (%)     | (%)              | (%)                |
| PULG  |       |                           |        |         |                  |                    |
| 3     | 75    | 0.00                      | 100.00 | 100.00  | 0.00             | 0.00               |
| 2 1/2 | 63.5  | 0.00                      | 100.00 | 100.00  | 0.00             | 0.00               |
| 2     | 50.8  | 0.00                      | 100.00 | 100.00  | 0.00             | 0.00               |
| 1 1/2 | 37.5  | 0.00                      | 100.00 | 100.00  | 0.00             | 0.00               |
| 1     | 25    | 24.21                     | 97.24  | 97.24   | 2.76             | 2.76               |
| 3/4   | 19    | 83.75                     | 87.70  | 87.70   | 9.54             | 12.30              |
| 1/2   | 12.5  | 86.01                     | 77.90  | 77.90   | 9.80             | 22.10              |
| 3/8   | 9.5   | 70.95                     | 69.81  | 69.81   | 8.08             | 30.19              |
| 4     | 4.75  | 157.60                    | 51.86  | 51.86   | 17.96            | 48.14              |
| 10    | 2     | 162.39                    | 33.35  | 33.35   | 18.50            | 66.65              |
| 20    | 0.85  | 124.13                    | 19.21  | 19.21   | 14.14            | 80.79              |
| 30    | 0.6   | 3.91                      | 18.76  | 18.76   | 0.45             | 81.24              |
| 40    | 0.425 | 68.03                     | 11.01  | 11.01   | 7.75             | 88.99              |
| 60    | 0.25  | 40.90                     | 6.35   | 6.35    | 4.66             | 93.65              |
| 100   | 0.15  | 28.30                     | 3.13   | 3.13    | 3.22             | 96.87              |
| 200   | 0.075 | 24.24                     | 0.36   | 0.36    | 2.76             | 99.64              |
| BASE  |       | 3.20                      | 0.00   | 0.00    | 0.36             | 100.00             |
| TOTAL |       | 877.62                    |        |         | 100.00           |                    |

**CURVA GRANULOMÉTRICA**

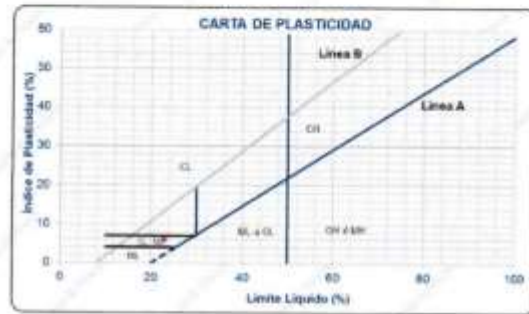
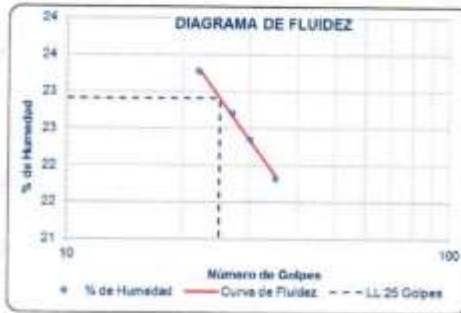






### Límites de consistencia

| LÍMITE LÍQUIDO (ASTM-D4318 00) |       |       |       |       | LÍMITE PLÁSTICO (ASTM-D4318 00) |       |       | LÍMITE LIQUIDO (L. %) |                                   |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|-----------------------|-----------------------------------|
| N° de Tara                     | M-2   | M-9   | M-8   | M-11  | N° de Tara                      | T-21  | T-27  | T-16                  | Límite Líquido (L. %)             |
| Peso Suelo Húmedo + Tara (g)   | 50.54 | 46.89 | 45.37 | 38.91 | Peso Suelo Húmedo + Tara (g)    | 68.54 | 66.83 | 67.09                 | Límite Plástico (P. %)            |
| Peso de Suelo Seco + Tara (g)  | 44.42 | 41.57 | 40.40 | 33.88 | Peso de Suelo Seco + Tara (g)   | 66.39 | 66.70 | 66.85                 | Índice de Plasticidad (I.P. %)    |
| Peso de Tara (g)               | 18.13 | 16.14 | 18.16 | 6.97  | Peso de Suelo Seco + Tara (g)   | 66.39 | 66.70 | 66.85                 | Resistencia (Pa) (30min) %        |
| Peso de Suelo Seco (g)         | 26.29 | 23.43 | 22.24 | 26.71 | Peso de Tara (g)                | 67.49 | 65.94 | 65.45                 | Resistencia (Pa) (2000) (30min) % |
| Peso de Agua (g)               | 6.12  | 5.30  | 4.87  | 5.83  | Peso de Suelo Seco (g)          | 0.90  | 0.76  | 1.40                  | CSU (mm)                          |
| Contenido de Humedad (%)       | 23.28 | 22.71 | 22.35 | 21.83 | Peso de Agua (g)                | 0.15  | 0.13  | 0.24                  | CSU (mm) 1                        |
| Número de Golpes               | 22    | 27    | 30    | 35    | Contenido de Humedad (%)        | 16.67 | 17.11 | 17.14                 | CSU (mm) 2                        |
|                                |       |       |       |       |                                 |       |       |                       | Coefficiente de uniformidad (Cu)  |
|                                |       |       |       |       |                                 |       |       |                       | Grado de uniformidad (Gu)         |



#### Clasificación SUCS

Suelo de partículas gruesas. Suelo limpio.  
Arena mal graduada con grava SP

#### Clasificación AASTHO

Material granular  
Excelente a bueno como subgrado  
A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena

#### INDICE DE GRUPO

0



*Arango*



INFORME NO : 000-2019-LA&MK-FIM-UNA-PUNO  
 REFERENCIA : ASTM C 39, AASHTO T22.  
 FECHA DE EMISIÓN: 13 DE FEBRERO DEL 2019  
 SOLICITADO POR : INGENIERIA EN PROYECTOS CONSTRUCCIONES Y TELECOMUNICACIONES CONTRATISTA  
 GENERALES S.R.L.  
 PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE TROCHA CARROZABLE DE LA LOCALIDAD DE ACCONSAYA - SECTO  
 CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI - CARABAYA - PUNO.  
 UBICACIÓN : LOCALIDAD DE ACCONSAYA - SECTOR CRUSHUASA, DISTRITO DE CORANI - CARABAYA - PUNO.  
 MUESTRA : M-3; PROG: 2+510.  
 TÉCNICO : ING. SC. OSCAR CAHUANA CONDORI & ING. SC. IVAN LAURA NINA.  
 RESPONSABLE : ING. OWAL A. VELASQUEZ VIZA.

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D 3080-98, obteniéndose los siguientes resultados:

| DATOS                                     |             | ESPECIMEN 01        |               |                       |   | ESPECIMEN 02        |               |                       |   | ESPECIMEN 03        |               |                       |   |
|---|-------------|---------------------|---------------|-----------------------|---|---------------------|---------------|-----------------------|---|---------------------|---------------|-----------------------|---|
| ANCHO (cm)                                |             | 5.98                |               |                       |   | 5.98                |               |                       |   | 5.98                |               |                       |   |
| LARGO (cm)                                |             | 5.97                |               |                       |   | 5.97                |               |                       |   | 5.97                |               |                       |   |
| ACTURA (cm)                               |             | 1.99                |               |                       |   | 1.99                |               |                       |   | 1.99                |               |                       |   |
| AREA (cm <sup>2</sup> )                   |             | 35.70               |               |                       |   | 35.70               |               |                       |   | 35.70               |               |                       |   |
| VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )                |             | 71.04               |               |                       |   | 71.04               |               |                       |   | 71.04               |               |                       |   |
| Peso del Módulo (g)                       |             | 157.27              |               |                       |   | 157.27              |               |                       |   | 157.27              |               |                       |   |
| Peso Tara (g)                             |             | 46.94               |               |                       |   | 46.29               |               |                       |   | 49.06               |               |                       |   |
| Peso colocada (Kg)                        |             | 1.00                |               |                       |   | 2.00                |               |                       |   | 3.00                |               |                       |   |
| Esfuerzo Norma aplicado (Kg)              |             | 10.00               |               |                       |   | 20.00               |               |                       |   | 30.00               |               |                       |   |
| - Peso Muestra Humeda Natural + molde (g) |             | 285.20              |               |                       |   | 282.58              |               |                       |   | 283.76              |               |                       |   |
| - Peso Muestra Saturada (g) Tara (g)      |             | 186.10              |               |                       |   | 182.06              |               |                       |   | 186.50              |               |                       |   |
| - Peso muestra seca + tara (g)            |             | 161.33              |               |                       |   | 157.39              |               |                       |   | 162.83              |               |                       |   |
| Peso Muestra Humeda Natural (g)           |             | 127.93              |               |                       |   | 125.31              |               |                       |   | 126.49              |               |                       |   |
| Peso Muestra Saturada (g)                 |             | 139.16              |               |                       |   | 135.77              |               |                       |   | 137.44              |               |                       |   |
| Peso Muestra Seca (g)                     |             | 114.39              |               |                       |   | 111.10              |               |                       |   | 113.77              |               |                       |   |
| Contenido de Humedad (%)                  | W% natural  | 0.12                |               |                       |   | 0.13                |               |                       |   | 0.11                |               |                       |   |
|   | W% saturada | 0.22                |               |                       |   | 0.22                |               |                       |   | 0.21                |               |                       |   |
| Densidad Humeda (gr/cm <sup>3</sup> )     | Natural     | 1.80                |               |                       |   | 1.76                |               |                       |   | 1.78                |               |                       |   |
|   | Saturada    | 1.96                |               |                       |   | 1.91                |               |                       |   | 1.93                |               |                       |   |
| Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )       |             | 1.61                |               |                       |   | 1.56                |               |                       |   | 1.60                |               |                       |   |
| Esfuerzo Normal (Kg/cm <sup>2</sup> )     |             | 0.280               |               |                       |   | 0.560               |               |                       |   | 0.840               |               |                       |   |
|   |             | Def. Tangencia (mm) | Dial de carga | Fuerza cortant + (Kg) | Esfuerzo de corte (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Def. Tangencia (mm) | Dial de carga | Fuerza cortant + (Kg) | Esfuerzo de corte (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Def. Tangencia (mm) | Dial de carga | Fuerza cortant + (Kg) | Esfuerzo de corte (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
| ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS         | 0.00        | 0.00                | 0.47          | 0.01                  | 0.00                                    | 0.00                | 0.47          | 0.01                  | 0.00                                    | 0.00                | 0.47          | 0.01                  |   |
|   | 0.10        | 0.00                | 0.47          | 0.01                  | 0.10                                    | 1.00                | 0.87          | 0.02                  | 0.10                                    | 1.00                | 1.28          | 0.04                  |   |
|   | 0.20        | 1.00                | 0.87          | 0.02                  | 0.20                                    | 3.00                | 1.66          | 0.05                  | 0.20                                    | 4.00                | 2.09          | 0.06                  |   |
|   | 0.30        | 3.00                | 1.66          | 0.05                  | 0.30                                    | 5.00                | 2.49          | 0.07                  | 0.30                                    | 6.00                | 2.89          | 0.08                  |   |
|   | 0.40        | 5.00                | 2.49          | 0.07                  | 0.40                                    | 7.00                | 3.30          | 0.09                  | 0.40                                    | 8.00                | 3.70          | 0.10                  |   |
|   | 0.60        | 7.00                | 3.30          | 0.09                  | 0.60                                    | 9.00                | 4.11          | 0.12                  | 0.60                                    | 15.00               | 6.53          | 0.18                  |   |
|   | 0.80        | 10.00               | 4.51          | 0.13                  | 0.80                                    | 11.00               | 4.92          | 0.14                  | 0.80                                    | 21.00               | 8.96          | 0.25                  |   |
|   | 1.00        | 11.00               | 5.32          | 0.15                  | 1.00                                    | 13.00               | 5.73          | 0.16                  | 1.00                                    | 23.00               | 9.57          | 0.26                  |   |
|   | 1.25        | 13.00               | 5.73          | 0.16                  | 1.25                                    | 16.00               | 6.94          | 0.19                  | 1.25                                    | 23.00               | 9.77          | 0.27                  |   |
|   | 1.50        | 16.00               | 6.13          | 0.17                  | 1.50                                    | 18.00               | 7.75          | 0.22                  | 1.50                                    | 26.00               | 10.17         | 0.28                  |   |
|   | 1.75        | 18.00               | 6.13          | 0.17                  | 1.75                                    | 19.00               | 8.15          | 0.23                  | 1.75                                    | 29.00               | 10.58         | 0.30                  |   |
|   | 2.00        | 18.00               | 6.13          | 0.17                  | 2.00                                    | 20.00               | 8.56          | 0.24                  | 2.00                                    | 37.00               | 11.99         | 0.32                  |   |
|   | 2.25        | 19.00               | 6.53          | 0.18                  | 2.25                                    | 21.00               | 8.96          | 0.25                  | 2.25                                    | 38.00               | 11.79         | 0.33                  |   |
|   | 2.50        | 19.00               | 6.53          | 0.18                  | 2.50                                    | 22.00               | 8.37          | 0.26                  | 2.50                                    | 29.00               | 12.20         | 0.34                  |   |
|   | 2.75        | 19.00               | 6.53          | 0.18                  | 2.75                                    | 23.00               | 8.77          | 0.27                  | 2.75                                    | 30.00               | 12.60         | 0.35                  |   |
|   | 3.00        |                     |               |                       | 3.00                                    | 24.00               | 10.17         | 0.28                  | 3.00                                    | 31.00               | 13.01         | 0.36                  |   |
|   | 3.25        |                     |               |                       | 3.25                                    | 25.00               | 10.58         | 0.30                  | 3.25                                    | 33.00               | 13.81         | 0.39                  |   |
|   | 3.50        |                     |               |                       | 3.50                                    | 25.00               | 10.58         | 0.30                  | 3.50                                    | 33.50               | 14.02         | 0.39                  |   |
|   | 3.75        |                     |               |                       | 3.75                                    | 26.00               | 10.98         | 0.31                  | 3.75                                    | 34.00               | 14.22         | 0.40                  |   |
|   | 4.00        |                     |               |                       | 4.00                                    | 27.00               | 11.39         | 0.32                  | 4.00                                    | 35.00               | 14.62         | 0.41                  |   |
| 4.25                                      |             |                     |               | 4.25                  | 28.00                                   | 11.79               | 0.33          | 4.25                  | 36.00                                   | 15.03               | 0.42          |                       |   |
| 4.50                                      |             |                     |               | 4.50                  | 28.00                                   | 11.79               | 0.33          | 4.50                  | 37.00                                   | 15.43               | 0.43          |                       |   |
| 4.75                                      |             |                     |               | 4.75                  | 29.00                                   | 12.20               | 0.34          | 4.75                  | 38.00                                   | 15.84               | 0.44          |                       |   |
| 5.00                                      |             |                     |               | 5.00                  | 30.00                                   | 12.60               | 0.35          | 5.00                  | 39.00                                   | 16.24               | 0.45          |                       |   |
| 5.25                                      |             |                     |               | 5.25                  | 31.00                                   | 13.01               | 0.36          | 5.25                  | 40.00                                   | 16.65               | 0.47          |                       |   |
| 5.50                                      |             |                     |               | 5.50                  | 33.00                                   | 13.81               | 0.36          | 5.50                  | 41.00                                   | 17.05               | 0.48          |                       |   |
| 5.75                                      |             |                     |               | 5.75                  | 34.00                                   | 14.22               | 0.38          | 5.75                  | 43.00                                   | 17.86               | 0.50          |                       |   |
| 6.00                                      |             |                     |               | 6.00                  | 35.00                                   | 14.62               | 0.38          | 6.00                  | 44.00                                   | 18.26               | 0.51          |                       |   |
| 6.25                                      |             |                     |               | 6.25                  | 35.00                                   | 14.62               | 0.38          | 6.25                  | 46.00                                   | 18.26               | 0.51          |                       |   |
| 6.50                                      |             |                     |               | 6.50                  | 33.00                                   | 13.81               | 0.39          | 6.50                  | 44.00                                   | 18.26               | 0.51          |                       |   |
| 6.75                                      |             |                     |               | 6.75                  | 33.00                                   | 13.81               | 0.39          | 6.75                  | 44.00                                   | 18.26               | 0.51          |                       |   |
| 7.00                                      |             |                     |               | 7.00                  | 33.00                                   | 13.81               | 0.39          | 7.00                  | 44.00                                   | 18.26               | 0.51          |                       |   |
| 7.25                                      |             |                     |               | 7.25                  | 33.00                                   | 13.81               | 0.39          | 7.25                  | 44.00                                   | 18.26               | 0.51          |                       |   |
| 7.50                                      |             |                     |               | 7.50                  | 34.00                                   | 14.22               | 0.40          | 7.50                  | 44.00                                   | 18.26               | 0.51          |                       |   |

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización del Laboratorio de Geotecnia & Mecánica de Rocas - UNA P.

Av. Floral N°1153  
Puno - Perú  
<http://web.unap.edu.pe/>

Ciudad Universitaria - Pub. Ing. De Minas  
unaminas@gmail.com, ilaura.geo@gmail.com  
owalvelasquez@hotmail.com

Teléfono  
(+051) 366193  
(+051) 921 474 201



## Anexo 7. Panel de fotos



**Foto 1.** Vista Panorámica de la Trocha carrozable Acconsaya - Cruzhuasa



**Foto 2.** Testigo ubicado en el equipo antes de la prueba a compresión uniaxial



**Foto 3.** Vista del macizo rocoso en condiciones inestables, Km. 0+700, debido a la alta presencia de discontinuidades



**Foto 4.** Corte de Talud en roca en la progresiva Km. 3+250





**Foto 5.** Presencia de discontinuidades en el corte de talud en la progresiva Km.2+250



**Foto 6.** Vista de afloramiento de macizo rocoso, Km. 3+350, donde se observa roca intemperizada y la orientación del buzamiento de las discontinuidades desfavorables





**Foto 7.** Extrayendo muestra del talud en suelos, Km. 2+750, para la prueba en laboratorio



**Foto 8.** Corte de talud en suelo, Km. 2+100, observándose su grado de inestabilidad debido a la presencia de fragmentos de roca en el cuerpo de talud



## Anexo 8. Planos