

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Estudio geomecánico y su influencia en el método de
estabilización de talud en Paucartambo, Pasco**

Williams Scoth Venturo

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN**

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Faustino Anibal Gutierrez Dañoibeitia
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 30 de Setiembre de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Estudio geomecánico y su influencia en el método de estabilización de talud en Paucartambo, Pasco

Autor:

Williams Scoth Ventura Terrel – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|---|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 8 | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☐ | NO ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

DEDICATORIA

A mi papá, por enseñarme el valor del esfuerzo y la constancia.

A mi mamá, por su amor incondicional y su fe inquebrantable en mí.

A mis hermanas, por su apoyo, sus palabras de aliento y por estar siempre a mi lado. Gracias por ser mi motor, mi inspiración y mi hogar en cada paso de este camino. Este logro también les pertenece.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta tesis.

En primer lugar, a mi familia: a mi papá, por ser un ejemplo de esfuerzo y perseverancia; a mi mamá, por su amor incondicional y constante apoyo; y a mis hermanas, por acompañarme con cariño y comprensión en cada etapa de este proceso. Su presencia ha sido fundamental para llegar hasta aquí.

Agradezco especialmente al Ing. Fausto, mi tutor, por su guía, paciencia y valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo. Su experiencia y compromiso fueron clave para la realización de esta tesis.

A todos los que, de una u otra forma, me brindaron su ayuda y apoyo a lo largo de este camino, gracias de corazón.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	14
1.1.1. Problema general.....	15
1.1.2. Problemas específicos.....	16
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1. Objetivo general.....	16
1.2.2. Objetivos específicos.....	16
1.3. Justificación e importancia.....	16
1.3.1. Justificación.....	16
1.3.2. Importancia.....	17
1.4. Delimitación del proyecto.....	17
1.5. Hipótesis y variables.....	17
1.5.1. Hipótesis general.....	17
1.5.2. Hipótesis específicas.....	17
1.5.3. Variables.....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Antecedentes de la investigación.....	18
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	19
2.2 Bases teóricas.....	20
2.2.1 Talud.....	20
2.2.2 Discontinuidades.....	28
2.2.3 Evaluación geomecánica.....	28
2.2.4 . Definición de conceptos.....	37

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	40
3.1 Métodos y alcances de la investigación	40
3.1.1 Método general.....	40
3.1.2 Tipo de investigación	40
3.1.3 Nivel de investigación.....	40
3.1.4 Diseño de investigación	40
3.2 Población y muestra	41
3.2.1 Población.....	41
3.2.2 Muestra	41
3.2.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	41
3.2.4 Técnicas utilizadas en la recolección de datos	41
3.5 Instrumentos utilizados en la recolección de datos	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	42
4.1. Resultados del análisis de la información.....	42
4.1.1. Ubicación	42
4.1.2. Toma de datos en la zona con respecto del buzamiento y dirección de buzamiento de las discontinuidades <i>in situ</i>	48
4.1.3. Macizo rocoso mediante las clasificaciones RMR y RQD y GSI	57
4.1.4. Resistencia a la compresión uniaxial	58
4.1.5. Rock Quality Designation (RQD)	58
4.1.6. Espaciamiento de estructuras y persistencias	59
4.1.7. RMR en relación calidad del macizo rocoso.....	61
4.1.8. Comportamiento del tipo de roca mediante ensayo	62
4.1.9. Esclerómetro	64
4.1.10. Hoek/Brown y Mohr-Coulomb	67
4.1.11. Elección de la propuesta para Soporte de talud, del km 55+00 – km 56+1	69
4.2. Discusión de resultados.....	74
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5.1 Conclusiones.....	77
5.2 Recomendaciones	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
ANEXOS	81

_Toc199840228

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de resistencia a la compresión uniaxial.....	30
Tabla 2. Valoración de la orientación de las discontinuidades	35
Tabla 3. Factores de ajuste de la clasificación.....	36
Tabla 4. Valores del SMR para cada tipo de rotura.....	37
Tabla 5. Medidas de corrección de taludes en roca	37
Tabla 6. Medidas de corrección de taludes en roca	48
Tabla 7. Datos <i>in situ</i>	48
Tabla 8. Progresivas de desprendimientos.....	49
Tabla 9. Familias de discontinuidades por estaciones	56
Tabla 10. Clasificación geomecánica RMR	57
Tabla 11. Resistencia a la compresión.....	58
Tabla 12. Designación de calidad de la roca	58
Tabla 13. Espaciamiento	59
Tabla 14. Persistencia.....	59
Tabla 15. Abertura.....	59
Tabla 16. Rugosidad.....	59
Tabla 17. Relleno	60
Tabla 18. Descomposición	60
Tabla 19. Filtraciones	60
Tabla 20. Clasificación geomecánica	61
Tabla 21. Calidad de macizo	62
Tabla 22. Tipo de macizo rocoso por tramo de estudio.....	62
Tabla 23. Resultados obtenidos - laboratorio	63
Tabla 24. Aplicación del principio de Arquímedes	64
Tabla 25. Resultados de prueba de Martillo	65
Tabla 26. Resultados del gráfico	66
Tabla 27. Ubicación en la valoración del macizo rocoso	66
Tabla 28. Clasificación (Usando ROCDATA).....	67
Tabla 29. Estaciones de estudio- factor de seguridad.....	69
Tabla 30. Datos de las estaciones que quieren refuerzo	70
Tabla 31. Soportes recomendados	70
Tabla 32. Presupuesto método 1, E-02.....	71

Tabla 33. Presupuesto método 2, E-04.....	71
Tabla 34. Presupuesto método 2, E-02.....	72
Tabla 35. Presupuesto método 2, E-04.....	73
Tabla 36. Resumen de presupuestos.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de un talud	21
Figura 2. Talud con ángulo uniforme y talud excavado de forma escalonada con bermas y bancos.....	22
Figura 3. Proceso de deterioro.....	23
Figura 4. Mecanismos de caído	25
Figura 5. Volteo	26
Figura 6. Reptación}	26
Figura 7. Esparcimiento lateral.....	26
Figura 8. Deslizamiento suelo blando	27
Figura 9. Flujos de velocidades	27
Figura 10. Flujos de velocidades	33
Figura 11. Columna estratigráfica	43
Figura 12. Localidad Monopata	47
Figura 13. Contornos y planos principales – E-02	50
Figura 14. Polos de discontinuidades y trazado planos principales – E-02	51
Figura 15. Rosetas – E-02	52
Figura 16. Contornos y planos principales – E-04	53
Figura 17. Polos de discontinuidades y trazado planos principales – E-04	54
Figura 18. Rosetas – E-04	55
Figura 19. Grafica según Miller y Derre	66
Figura 20. Niveles de lluvia en la zona	67
Figura 21. RocData E-02.....	68
Figura 22. RocData E-04.....	68
Figura 23. CP Monopata	92
Figura 24. Distritos de Paucartambo	93
Figura 25. Fotografía de la zona.....	94
Figura 26. Muestras en el laboratorio.....	95
Figura 27. Resultados de laboratorio.....	96

RESUMEN

La investigación titulada: «Estudio geomecánico y su influencia en el método de estabilización de talud en Paucartambo, Pasco» aborda los principales desafíos relacionados con la inestabilidad de los taludes en la región de Paucartambo, debido a condiciones naturales adversas, tales como lluvias intensas y actividad sísmica. El objetivo general de la investigación fue realizar un análisis geomecánico de la zona para determinar el método más adecuado para estabilizar los taludes, garantizando la seguridad en los accesos viales. La metodología utilizada incluyó la observación *in situ* de las características del terreno, mediciones geológicas y el uso de técnicas de clasificación geomecánica como el RMR, RQD y GSI. Se recopilaron datos en varias estaciones de estudio y estos fueron procesados para identificar las discontinuidades y la resistencia de las formaciones rocosas. Los ensayos de laboratorio complementaron el análisis de campo, permitiendo establecer la resistencia a la compresión de los materiales. En cuanto a las conclusiones, se determinó que las áreas más inestables de la carretera requerían intervenciones urgentes, con el uso de mallas metálicas y concreto lanzado como soluciones adecuadas. El estudio también concluyó que la aplicación del análisis geomecánico es fundamental para mejorar la estabilidad de los taludes y prevenir deslizamientos de tierra que impactan negativamente a la comunidad local. Este enfoque metodológico proporcionó una base sólida para la toma de decisiones en futuras obras de estabilización de taludes.

Palabras clave: estudio geomecánico, método de estabilización

ABSTRACT

The study entitled "Geomechanically Study and its Influence on the Slope Stabilization Method in Paucartambo, Pasco" addresses the main challenges related to slope instability in the Paucartambo region, due to adverse natural conditions, such as heavy rains and seismic activity. The general objective of the research was to perform a geomechanically analysis of the area to determine the most suitable method to stabilize the slopes, ensuring safety in road accesses. The methodology used included on-site observation of the terrain characteristics, geological measurements and the use of geomechanically classification techniques such as RMR, RQD and GSI. Data were collected at several study stations, and these were processed to identify discontinuities and the strength of rock formations. Laboratory tests complemented the field analysis, allowing the compressive strength of the materials to be established. In terms of conclusions, it was determined that the most unstable areas of the road required urgent interventions, with the use of metal mesh and shotcrete as suitable solutions. The study also concluded that the application of geomechanically analysis is essential to improve slope stability and prevent landslides that negatively impact the local community. This methodological approach provided a solid basis for decision-making in future slope stabilization works.

Keywords: geomechanically study, stabilization method

INTRODUCCIÓN

La presente tesis parte del problema: ¿cómo el estudio geomecánico influye en el método de soporte del talud en Paucartambo, Pasco?, planteándonos, además, las siguientes interrogantes: a) ¿cuál es el resultado de aplicar la imprimación geomecánica de Bieniawski para determinar el ángulo de reposo del talud?, b) ¿cuál es el resultado de aplicar la imprimación geomecánica de talud para determinar el ángulo de reposo del talud?

El estudio tuvo como objetivo general determinar la influencia de la evaluación geomecánica del macizo rocoso. Por otro lado, se planteó los siguientes objetivos específicos: a) determinar los resultados de la construcción del revestimiento geomecánico Bianjawski para determinar el ángulo de estabilidad del talud y b) determinar los resultados de la construcción del revestimiento geomecánico *Slope Mass Rating* para determinar el ángulo de reposo del talud.

La hipótesis general de la presente investigación fue: el estudio geomecánico influye positivamente en el método de soporte del talud en Paucartambo, Pasco. Además, las hipótesis específicas fueron: a) los resultados del uso del revestimiento geomecánico desarrollado por Biniewski fueron importantes para determinar la calidad del macizo rocoso, lo que llevó a una clasificación heterogénea en cada zona. b) el resultado de aplicar el revestimiento geomecánico del talud global se considera un complemento a la determinación de las dimensiones geométricas del talud al perforar diferentes macizos rocosos en cada zona.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

En la actualidad, en el Perú, la minería contribuye de manera constante al crecimiento del país. Sin embargo, la inestabilidad de los taludes se ha convertido en un desafío significativo que afecta diversas áreas de la serranía nacional. Los taludes no son inherentemente estables, ya que con el tiempo pueden perder su estabilidad debido a factores naturales y a la falta de un método de sostenimiento adecuado. La ausencia de un monitoreo efectivo de los taludes agrava la situación, lo que es especialmente preocupante no solo en el ámbito de la construcción civil, sino también en la actividad minera (1).

En este contexto, la rama de la ingeniería se esfuerza por diseñar taludes seguros y duraderos, estableciendo estándares críticos de seguridad. La falta de monitoreo adecuado de los taludes no solo afecta a las obras de construcción civil, sino que también repercute en la actividad minera.

La ingeniería busca desarrollar métodos que permitan realizar análisis de estabilidad en profundidad, estableciendo estándares de falla de taludes. En consecuencia, el éxito en el estudio de taludes dependerá en gran medida de la investigación de las propiedades geomecánicas.

El centro poblado de Monopata, ubicado en el distrito de Paucartambo, provincia y región de Pasco, Perú, es una comunidad que, como se ha mencionado, se encuentra a una altitud de aproximadamente 1700 metros sobre el nivel del mar. La latitud y longitud que se proporcionó indican que está situado en la zona central del Perú, caracterizada por su geografía montañosa y su rica diversidad cultural y natural, donde actualmente con las constantes lluvias y agrietado acceso los taludes son frecuentes.

La investigación aborda el problema de la inseguridad en los taludes debido a la falla de traslación, que implica suelo débil y deslizamientos causados por pendientes pronunciadas. Entre las principales causas se encuentran la topografía deficiente, litología, hidrología, fallas y fracturas prominente resultando en el desgaste del talud, restricciones de paso y accidentes. Los riesgos de la inestabilidad de los taludes son constantes, especialmente durante la temporada de lluvias, lo que puede dar lugar a restricciones de paso, pérdidas humanas y accidentes. Para abordar esto, se proponen diversos métodos de sostenimiento con el objetivo de beneficiar directamente a la población afectada (2).

Con el tiempo, surgen nuevas causas que se reflejan en las precipitaciones y condiciones climáticas, resultando en la falta de estabilidad debido a factores naturales como el intemperismo, erosión, lluvias torrenciales, sismos, topografía y otros factores antrópicos. Además, la mala ejecución de la construcción en la zona también contribuye a la inestabilidad (3).

Un factor adicional que contribuye a la inestabilidad de los taludes es la falta de un estudio geomecánico adecuado, que debe considerar todos los factores involucrados. Esto puede tener consecuencias significativas en el factor de seguridad y el deslizamiento de rocas (4). Además, se indica que evaluar la estabilidad de un talud implica considerar la resistencia del suelo, determinar el perfil del talud y tener en cuenta la presencia de agua subterránea y condiciones de filtración.

El presupuesto limitado que la municipalidad destina al monitoreo de los taludes genera una causa subyacente: la falta de inversión en caminos o carreteras municipales, un problema persistente. Esto conlleva consecuencias notables a corto plazo como deslizamientos de rocas y desgaste del talud (5). También se destaca que las consecuencias se deben a perforaciones incorrectas y filtración de agua en taludes en condiciones desfavorables por discontinuidades, a menudo debido a la falta de mantenimiento durante el ciclo de vida de los taludes.

Las pérdidas económicas y los problemas sociales son otra causa que afecta a la comunidad, generando consecuencias graves, como pérdidas económicas significativas debido a deslizamientos de rocas (6), estas pérdidas pueden evitarse detectando los problemas con anticipación y tomando medidas preventivas o de control. Además, la paralización del tráfico vehicular puede durar muchos días, lo que afectaría el crecimiento de la ciudad, como señala.

1.1.1. Problema general

- ¿Cómo el estudio geomecánico influye en el método de soporte del talud en Paucartambo, Pasco?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la influencia de conocer la geología regional y local de la zona para hallar discontinuidades de del área de estudios?
- ¿Cómo se determinará la inestabilidad del macizo rocoso mediante las aplicaciones de las clasificaciones geomecánicas?
- ¿De qué manera conocer el comportamiento del tipo de roca que existe en Monopata?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de la evaluación geomecánica del macizo rocoso

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir y evaluar la geología local, mediante toma de data in situ el buzamiento y dirección de buzamiento de las discontinuidades de del área de estudios.
- Determinar la inestabilidad del macizo rocoso mediante las aplicaciones de las clasificaciones geomecánicas
- Analizar el comportamiento del tipo de roca que existe mediante los resultados que los ensayos de mecánica de suelos para encontrar la resistencia del macizo rocoso y proponer medidas de sostenimiento.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación

La justificación de esta investigación se fundamenta tanto en un enfoque teórico como en uno práctico. Desde el punto de vista teórico, se aplicaron el uso de la razón y criterios teóricos con el objetivo de contribuir a soluciones que podrán ser consideradas en estudios relacionados con el sostenimiento de taludes, lo que eventualmente mejoraría el acceso a las vías.

Por otro lado, desde el punto de vista práctico, la investigación incluyó estudios de clasificación geomecánica y análisis de laboratorio. Estos estudios tenían como finalidad identificar el método de sostenimiento más adecuado en función de los resultados obtenidos con la data in situ recopilada de las estaciones de estudio.

Además, desde una perspectiva metodológica, el tipo de investigación llevado a cabo en esta tesis es de índole aplicada. Se utilizaron técnicas precisas para llevar a cabo los procedimientos

de recopilación de datos de manera adecuada, con el propósito de proponer un método de soporte factible basado en la seguridad del área de estudio y los costos asociados a su implementación.

Este enfoque metodológico busca no solo contribuir teóricamente al conocimiento en el campo del sostenimiento de taludes, sino también proporcionar soluciones prácticas y aplicables en la realidad.

1.3.2. Importancia

El presente trabajo de investigación surge de la necesidad de realizar estudios geomecánicos del comportamiento del macizo rocoso en determinadas zonas del proyecto es de vital importancia para los cálculos correspondientes para determinar el ángulo del resto de No se tuvieron en cuenta el talud y diversas operaciones como perforación y voladura. Inicialmente en el presupuesto estimado para la construcción de la mencionada carretera. A través de esta investigación esperamos resolver estos problemas.

1.4. Delimitación del proyecto

Puntos de control ubicados específicamente en el Km 55+100 en el tramo de 100 metros en la carretera El milagro — Santa Isabel — Paucartambo.

1.5. Hipótesis y variables

1.5.1. Hipótesis general

- El estudio geomecánico influye positivamente en el método de soporte del talud en Paucartambo, Pasco.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Se conocerá la geología local mediante toma de data in situ el buzamiento y dirección de buzamiento de las discontinuidades del área de estudio.
- Se clasificará mediante geomecánica la inestabilidad del macizo rocoso.
- Se interpretará el comportamiento de la roca, mediante mecánica de suelos, para la medida de sostenimiento.

1.5.3. Variables

- Variable independiente
- Evaluación geomecánica del macizo rocoso.
- Variable dependiente
- Ángulo de reposo del talud

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

- Monte (2020) analiza la estabilidad de taludes de roca utilizando el método de elementos finitos para modelar condiciones reales mediante un modelo numérico. El estudio encontró estabilidad conforme al método SSR, con un factor de seguridad superior a 1.3 en los casos evaluados. Sin embargo, al examinar las deformaciones, se identificaron variaciones geométricas y superficies de discontinuidad que indicaron riesgos de colapso por cuña en el talud A y volcamiento en el talud B. Monte recomienda realizar estudios más exhaustivos que consideren estos riesgos para una evaluación integral de la estabilidad (7).
- Fruzzetti (2022) aborda estrategias de diseño para mitigar inestabilidades en pendientes de formaciones estructuralmente complejas. El estudio destaca que las estrategias enfocadas en reducir la liberación de tensiones resultan efectivas para prevenir fallas y restaurar la seguridad post-falla. Entre las técnicas mencionadas se incluyen la construcción de túneles, el pre-apoyo del suelo y la mejora del suelo, las cuales requieren materiales como hormigón y acero, generando un impacto ambiental considerable. Además, se resalta la importancia de realizar un análisis costo-beneficio para evaluar la viabilidad y sostenibilidad de estas soluciones (8).
- Mesa, Álvarez y Chávez (2020) realizaron una evaluación exhaustiva del factor de seguridad en taludes de terraplenes carreteros altos sometidos a carga sísmica en Nuevo León, México. El estudio utilizó modelos analíticos y numéricos para simular el comportamiento de los taludes bajo condiciones dinámicas, enfatizando la influencia de las fuerzas sísmicas en la estabilidad de los mismos. Los resultados mostraron que la inclusión

de cargas sísmicas es fundamental para un diseño seguro, ya que estas pueden reducir considerablemente el factor de seguridad, incrementando el riesgo de fallas. Se destacó la necesidad de implementar soluciones de diseño específicas para zonas con alta actividad sísmica y se recomendaron métodos de estabilización adaptados a estas condiciones (9).

- González (2002) presenta un compendio integral sobre ingeniería geológica aplicada a la estabilidad de taludes y estructuras relacionadas, enfocándose en la caracterización y clasificación de macizos rocosos mediante diferentes sistemas de evaluación geomecánica. La obra detalla metodologías para la identificación de discontinuidades, análisis del comportamiento mecánico de la roca y criterios técnicos para el diseño y sostenimiento de taludes y excavaciones. Además, enfatiza la importancia de integrar datos geológicos y geotécnicos para lograr una evaluación precisa de riesgos, siendo un referente teórico fundamental para estudios en ingeniería geológica a nivel internacional (10).

2.1.2 Antecedentes nacionales

- Quispe (2021) evaluó el factor de seguridad de taludes en la carretera Huaypo Grande – Chinchero – Urubamba, en Cusco, con el fin de determinar los sistemas de sostenimiento más adecuados. Los resultados indicaron que los factores de seguridad calculados mediante la ley de equilibrio límite oscilaron entre 1.02 y 1.43, valores que en ciertos tramos no superan los límites recomendados. Se utilizó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) para clasificar el suelo, identificando grava limosa con arena (GC-GM) con una densidad de 2.02 t/m³ en el fondo del tajo, y grava arcillo-limosa con arena (GC) con densidad de 1.97 t/m³ en el suelo del talud (11).
- Hizarra, López y Navarro (2021) realizaron una evaluación geomecánica del macizo rocoso en el tramo San Antonio – Puente Chiquiacc, Huancavelica, con el objetivo de determinar el ángulo de reposo del talud. Utilizando un método científico aplicado y descriptivo, analizaron un segmento específico de la carretera. Según la clasificación de Bieniawski, el macizo rocoso fue catalogado como de calidad Buena – IIb. La clasificación de Romana, considerando las condiciones más desfavorables, indicó un ángulo de talud de 84.3°, sugiriendo que la roca es normal o parcialmente inestable. Esto implica posibles roturas tipo cuña y la necesidad de sistemas de sostenimiento como bulones, anclajes o, en casos extremos, gunta o hormigón proyectado (12).
- Acosta y Barón (2019) llevaron a cabo un análisis geomecánico para evaluar la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde, ubicada en Chongoyape,

Lambayeque. El estudio se enfocó en la caracterización detallada del macizo rocoso y el análisis de factores que afectan la estabilidad del sistema minero. Mediante métodos numéricos y de campo, identificaron zonas con potencial de inestabilidad y evaluaron distintos sistemas de sostenimiento para mitigar riesgos. Los resultados permitieron establecer recomendaciones específicas para garantizar condiciones seguras durante las operaciones mineras, aportando así a la mejora de los procedimientos de diseño y seguridad en minas a nivel nacional (13).

- Figueroa (2023) desarrolló un estudio geomecánico centrado en la determinación del método de soporte más adecuado para el talud ubicado en el kilómetro 30+00, La Muchala, distrito de San Juan de Licupis, Chota. La investigación combinó evaluaciones de campo con análisis técnicos para caracterizar las propiedades del suelo y roca presentes en el área, así como para identificar los principales factores de riesgo geotécnicos. Con base en estos análisis, se recomendaron sistemas de sostenimiento específicos que aseguran la estabilidad y durabilidad del talud frente a condiciones ambientales y geológicas particulares, contribuyendo a la seguridad vial y a la protección de la infraestructura en la zona (14).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Talud

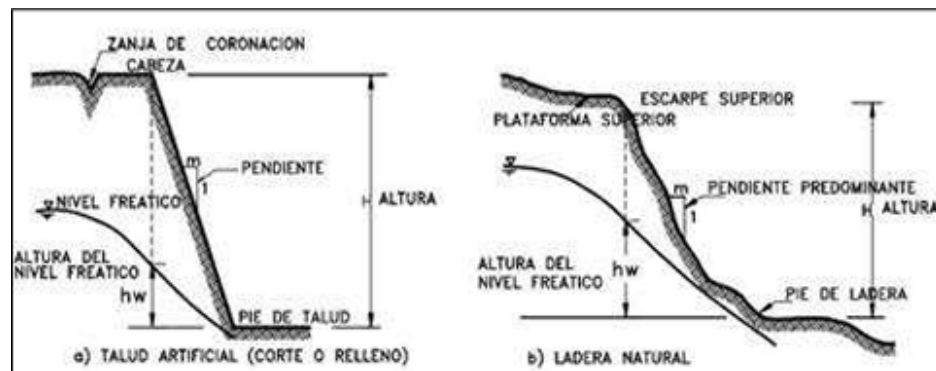
Se entiende como taludes a cualquier superficie inclinada, de un macizo rocoso o suelo, que forme un ángulo con la horizontal, los taludes se clasifican en taludes naturales, que se presentan en forma de laderas, y en taludes artificiales que pueden ser los cortes y terraplenes (15).

2.2.1.1. Tipos

- a) Naturales: también llamado ladera, se produce cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural a lo largo de la historia geológica. Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad (15).
- b) Artificiales: se le denomina así cuando se conformó artificialmente, en otras palabras, cuando este se produjo con la intervención del hombre, siendo un componente esencial en la construcción de obras como carreteras, represas, ferrocarriles, entre otros (15).

2.2.1.2. Elementos de un talud

- a) Altura: es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados (16).
- b) Pie: corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior (16).
- c) Cabeza o escarpe: se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior (16).
- d) Altura del nivel freático: distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza (16).
- e) Pendiente: es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación $m/1$, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical (16).



*Figura 1. Elementos de un talud
Tomada de Geotechnical Consulting*

2.2.1.3. Estabilidad de taludes

La estabilidad se refiere a la capacidad de una masa de tierra para resistir la ruptura o el deslizamiento del material. En un primer paso, resulta fundamental establecer criterios de estabilidad de taludes. Estos criterios se refieren a la capacidad de determinar, en un momento dado, la inclinación adecuada en un corte o terraplén. En la mayoría de los casos, la inclinación más adecuada será aquella que sea lo suficientemente empinada como para sostenerse durante el tiempo necesario sin colapsar. Este aspecto constituye el núcleo del problema y la razón fundamental de estudio (14).

El principal desafío al diseñar cualquier tipo de explanación radica en garantizar la estabilidad de sus taludes. Las propiedades resistentes del suelo son de poca utilidad si se experimentan deslizamientos recurrentes que amenazan la funcionalidad de la carretera que depende de ellos como soporte (14). Es evidente que la estabilidad de un talud está condicionada no solo por su geometría, que incluye la pendiente y la altura, sino también por

las propiedades intrínsecas del suelo que lo compone. Estas propiedades, como el ángulo de rozamiento interno y la cohesión, son determinantes para definir la resistencia a la cizalla del talud.

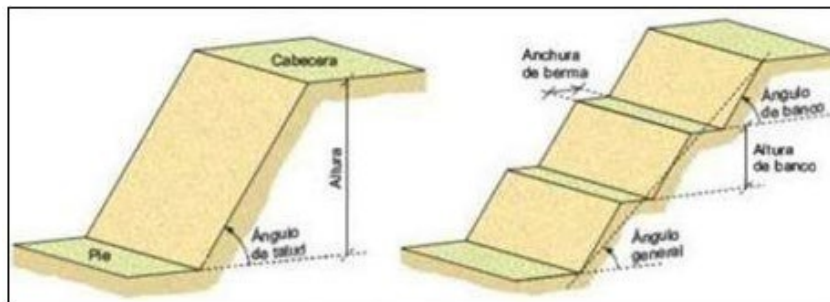


Figura 2. Talud con ángulo uniforme y talud excavado de forma escalonada con bermas y bancos
Tomada de Geotechnical Consulting

2.2.1.4. Factores influyentes en la estabilidad de taludes

La estabilidad de un talud se encuentra determinada por diversos factores, que incluyen consideraciones geométricas como la altura e inclinación, factores geológicos que influyen en la presencia de planos y zonas de debilidad, así como anisotropías en el talud. También intervienen factores hidrogeológicos, relacionados con la presencia de agua, y factores geotécnicos que abordan el comportamiento mecánico del terreno, incluyendo su resistencia y deformabilidad. (17)

Los factores geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos se consideran factores condicionantes, ya que son inherentes a las características naturales de los materiales. Además, junto a estos factores condicionantes, también conocidos como "pasivos", existen los factores desencadenantes o "activos", que provocan la rotura del talud una vez que se cumplen ciertas condiciones. Estos últimos son elementos externos que interactúan con los suelos o macizos rocosos, alterando sus propiedades y condiciones de equilibrio (17).

2.2.1.5. Procesos en la etapa de deterioro

Con el tiempo, el deterioro de un talud puede requerir trabajos de mantenimiento o la construcción de estructuras de estabilización. Sin embargo, el diseño tiende a centrarse más en prevenir fallas profundas que en abordar los fenómenos previos al fallo. Cuando se realiza un corte en un talud para la construcción de una vía o infraestructura, se produce una relajación de los esfuerzos de confinamiento y una exposición al medio ambiente, desplazando la posición de equilibrio hacia un estado de deterioro acelerado. Este deterioro implica cambios físicos y químicos en los materiales, así como su desprendimiento o remoción, abarcando alteraciones minerales, efectos de relajación y abrasión. La iniciación y propagación de fracturas son de especial importancia en la degradación de la superficie, pudiendo llevar a desprendimientos de rocas o colapsos del talud

Caída de granos: se refiere a la desintegración física de la masa de roca con la caída de granos individuales, siendo determinada por la resistencia de las uniones intergranulares y microgrietas. Aunque no representa una amenaza directa, puede debilitar el material y provocar pérdida de soporte, sugiriéndose soluciones como la limpieza del pie del talud y técnicas de bioingeniería con concreto lanzado y refuerzo local en áreas de riesgo de colapso (16).

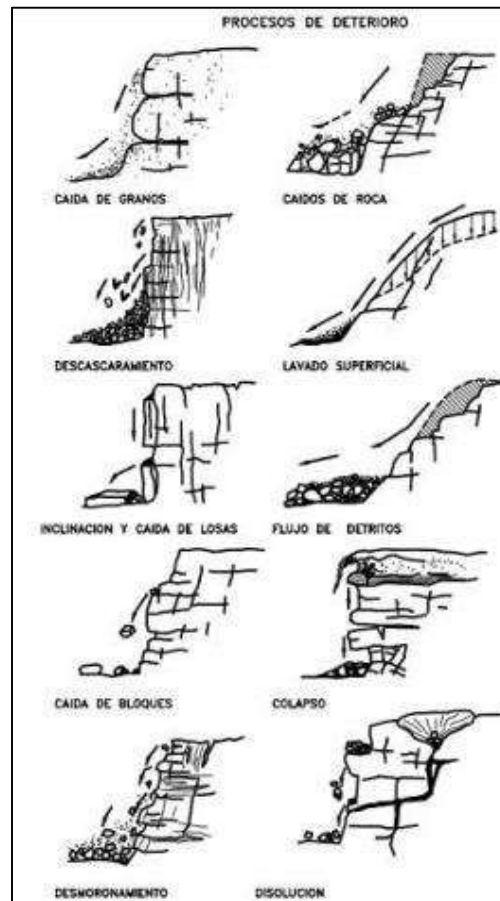


Figura 3. Proceso de deterioro

Descascaramiento: involucra la caída de cáscaras de material de la masa de roca en forma de láminas, con dimensiones menores. Aunque no supone una amenaza significativa, puede generar depósitos de sedimentos en el pie del talud. (16)

Formación, inclinación y caída de losas de roca: se refiere a la formación de prismas o placas en el talud, con la posibilidad de deslizamiento, rotación o pandeo. La ocurrencia depende de fracturas a tensión y puede representar una amenaza considerable, causando daños a infraestructuras (16).

Caída de bloques: implica la caída ocasional por gravedad de bloques individuales de roca de cualquier tamaño, generando deterioro en la estructura del talud. La amenaza es difícil de predecir debido a la variabilidad de tamaños, con bloques grandes que pueden causar daño estructural (16).

Desmoronamiento del talud: se caracteriza por el colapso general del talud, con la caída semicontinua de bloques de diversas dimensiones, representando una amenaza significativa y creando acumulaciones de detritos en el pie del talud. (16)

Caídos de roca: involucra la caída de numerosos bloques de roca en un solo evento, indicando un debilitamiento de la masa de roca debido a fragmentación y falta de soporte lateral. La magnitud depende de distintos planos de discontinuidad. (16)

Lavado superficial o erosión: es el desprendimiento, transporte y depósito de partículas o masas pequeñas de suelo o roca por acción del agua, pudiendo generar surcos y cárcavas. La erosión puede causar sedimentación en el pie del talud. (16)

Flujo de detritos: consiste en el desprendimiento y transporte de partículas gruesas y finas en una matriz de agua y granos, presentándose como flujo seco o saturado. Puede mover grandes volúmenes de material y representa una amenaza moderada a alta. (16)

Colapso: refiere al colapso de bloques independientes de gran tamaño debido a falta de soporte vertical, siendo de gran escala y amenaza. Las soluciones incluyen concreto dental, estructuras de refuerzo y retención. (16)

Disolución: implica la disolución de materiales solubles en agua, acelerada por condiciones locales, generando cavidades internas que podrían colapsar o formar cárcavas kársticas. (16)

2.2.1.6. Clasificación de movimientos en masa

La clasificación de los movimientos en masa abarca diversos tipos:

Caído: involucra la caída de una masa desde un talud con pendiente fuerte, descendiendo principalmente a través del aire. Puede ser rápida o extremadamente rápida y variar en comportamiento según la pendiente superficial. (17)

Inclinación o volteo: consiste en la rotación hacia adelante de unidades de material, generalmente en formaciones rocosas, afectando zonas pequeñas o volúmenes extensos. La

velocidad puede variar de extremadamente lenta a rápida. (17)

Reptación: movimiento muy lento del suelo subsuperficial sin una superficie de falla definida, afectando grandes áreas debido a cambios climáticos. Puede preceder a movimientos más rápidos como flujos o deslizamientos (17).

Deslizamiento: implica un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, pudiendo ser progresivo y afectar una sola masa o varias unidades semiindependientes (17).

Esparcimiento lateral: incluye la extensión lateral acomodada por fracturas de corte y tensión, pudiendo ocurrir en masas de roca o suelos plásticos. (17)

Flujo: implica movimientos relativos de partículas o bloques dentro de una masa, que puede ser lento o rápido, seco o húmedo, y clasificarse en flujo en roca, de residuos, de suelo, flujos de lodo y avalanchas (17).

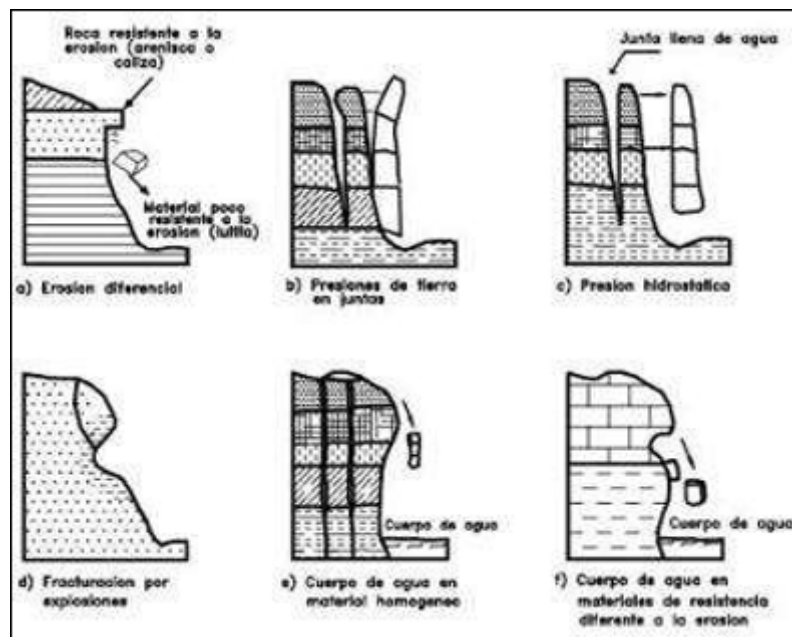
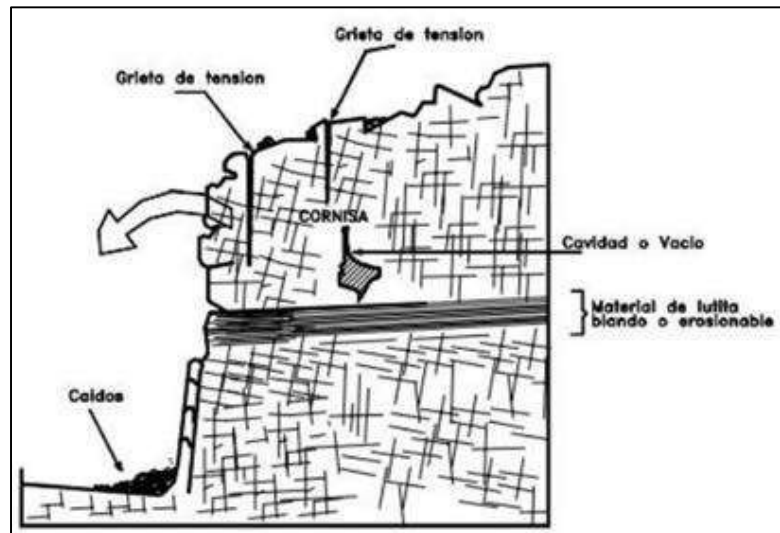
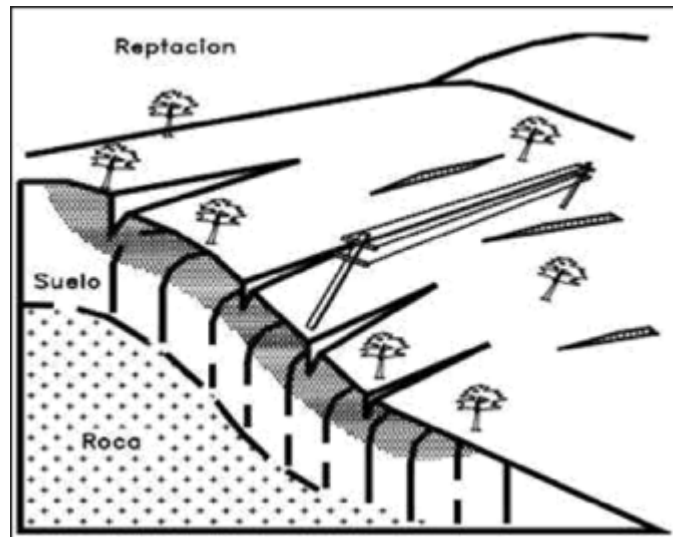


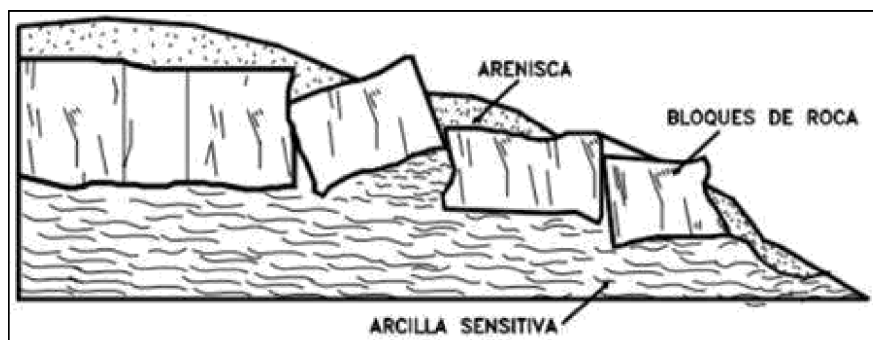
Figura 4. Mecanismos de caída
Tomada de Geotechnical Consulting



*Figura 5. Volteo
Tomada de Geotechnical Consulting*



*Figura 6. Reptación
Tomada de Geotechnical Consulting*



*Figura 7. Esparcimiento lateral
Tomada de Geotechnical Consulting*

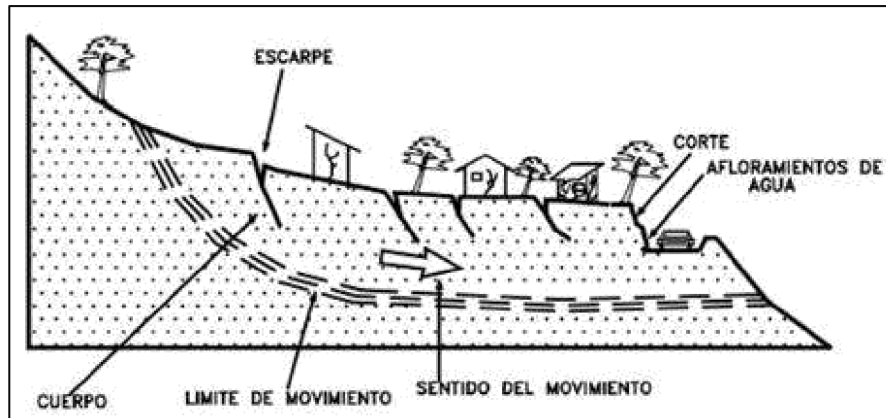


Figura 8. Deslizamiento suelo blando
Tomada de Geotechnical Consulting

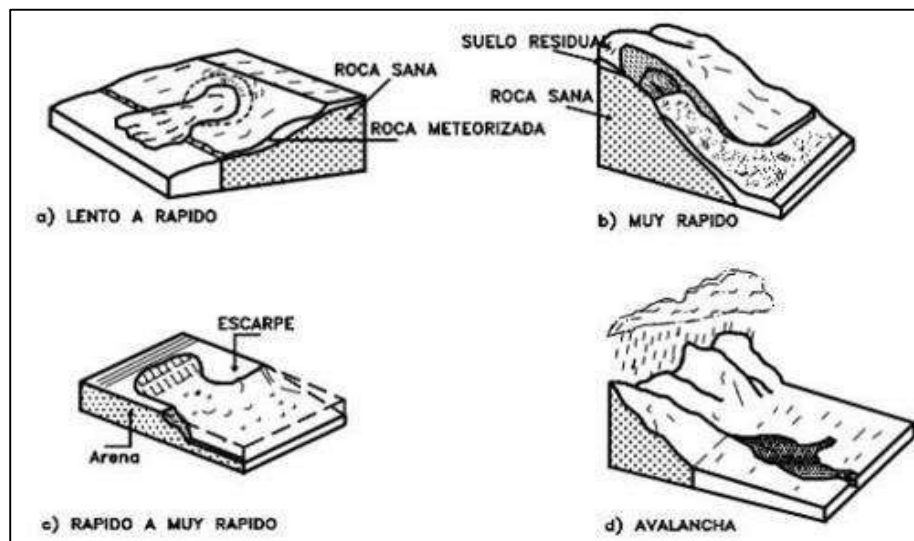


Figura 9. Flujos de velocidades
Tomada de Geotechnical Consulting

2.2.1.7. Roturas de talud

Las roturas en taludes de roca son variadas y dependen de la fracturación del macizo y la orientación de las discontinuidades. Algunos tipos destacaos son:

Rotura plana: ocurre a lo largo de superficies preexistentes como estratificación, juntas tectónicas o fallas, donde las discontinuidades siguen la inclinación del talud (14).

Rotura en cuña: involucra el deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad que afloran en la superficie del talud (14).

Vuelco por estratos: se presenta en taludes de macizos rocosos con estratos que tienen un buzamiento contrario a la inclinación del talud, y dirección paralela o subparalela al mismo (14).

Rotura por pandeo: ocurre a lo largo de planos de estratificación paralelos al talud, con buzamiento mayor que el ángulo de rozamiento interno, pudiendo ser con o sin flexión del estrato. La condición es que los estratos sean lo suficientemente esbeltos en relación con la altura del talud para pandearse (14).

2.2.2 Discontinuidades

Las discontinuidades en los macizos rocosos tienen un impacto crucial en sus propiedades y comportamiento, introduciendo una naturaleza discontinua y anisótropa que los hace más deformables y débiles. Evaluar su comportamiento ante proyectos de ingeniería se vuelve desafiante debido a estas características. Estas discontinuidades activan como planos propensos a la alteración, meteorización y fractura, además de facilitar el flujo de agua (2).

La orientación relativa de las discontinuidades con respecto a una obra de ingeniería puede determinar la estabilidad del terreno frente a dicha instalación (2).

Existen varios tipos de discontinuidades, entre ellos:

Diaclasas o juntas: superficies de fracturación sin desplazamiento o con desplazamiento mínimo, siendo comunes en varios tipos de roca.

Planos de estratificación: superficies que delimitan estratos en rocas sedimentarias, con una continuidad destacada y espaciado variable. Superficies de laminación: Discontinuidades sistemáticas en rocas sedimentarias, que limitan láminas o niveles megascópicos.

Planos de esquistosidad: originados por deformaciones tectónicas en rocas, se disponen perpendicularmente a la dirección compresiva del máximo acortamiento, con alta frecuencia y espaciados milimétricos.

Superficies de contacto litológico: planos que separan diferentes litologías en un macizo rocoso.

Fallas: discontinuidades singulares que involucran rotura o fractura con desplazamiento relativo entre bloques (2).

2.2.3 Evaluación geomecánica

2.2.3.1. Mapeo geomecánico

El primer paso implica recopilar información geomecánica a través de diversos mapeos geotécnicos. Los métodos más confiables se aplican directamente a afloramientos de macizos

rocosos, utilizando los enfoques convencionales "método de líneas en detalle" y "método de celdas en detalle". En el primero, se realiza el mapeo a lo largo de una línea extendida sobre el afloramiento rocoso, mientras que, en el segundo, se efectúa sobre un área de afloramiento de extensión variable, ya sea en la superficie o subterráneo.

Las ubicaciones de mapeo son denominadas estaciones de medición que deben ser posicionadas en los planos geológico-geomecánico. Se señala que, en ausencia de afloramientos, se pueden utilizar testigos de perforaciones diamantinas para llevar a cabo el mapeo geotécnico de la masa rocosa en la ubicación de dichas perforaciones. Otras alternativas incluyen realizar el mapeo geotécnico en el interior de taladros perforados mediante mecanismos de endoscopia y utilizar la fotogrametría (14).

En última instancia, se sugiere que los parámetros de observación y medición se obtengan en formatos de registro diseñados para cada evaluación, siguiendo las normas recomendadas.

Algunos de los parámetros clave a mapear, sin limitarse a ellos, abarcan el tipo de roca, sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, grado de intemperización y presencia de agua. Además, se destaca la importancia de registrar datos sobre la calificación de roca no unida (RCU) y la frecuencia de fracturamiento, especialmente para derivar el índice de calidad de roca (RQD) (14).

2.2.3.2. Clasificaciones geomecánicas: Sistema de clasificación *rock mass rating* (RMR) desarrollado por Bieniawski.

El sistema de clasificación geomecánica del macizo rocoso (RMR, por sus siglas en inglés) es una referencia mundial para categorizar geomecánicamente el macizo rocoso. Inicialmente desarrollado por Bieniawski en 1973 y posteriormente actualizado en 1989, el sistema RMR ha experimentado una nueva actualización en 2014. Esta última modificación ajustó los criterios de evaluación e incorporó el impacto de la alterabilidad de la matriz rocosa por el agua, proporcionando un enfoque más preciso para la evaluación del macizo rocoso (15).

En el año 2000, Geo control realizó una modificación al sistema RMR89, que implicó reemplazar la valoración del Índice de Calidad de la Roca (RQD) y el espaciado de discontinuidades por la valoración del número de juntas por metro en el frente de excavación. Además, se ampliaron los criterios para evaluar las características de las discontinuidades, superando las dificultades asociadas al cálculo del RQD en los frentes de excavación y mejorando la valoración del estado de las juntas en el macizo rocoso (15).

La estructura del RMR14 se basa en cinco parámetros, siendo tres de ellos constantes respecto a los establecidos en el RMR89: resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta, número de juntas por metro y efecto del agua. Los dos nuevos parámetros incorporados en el RMR14 son la resistencia de las discontinuidades y la alterabilidad de la matriz rocosa por efecto del agua (15).

Es importante destacar que, con el nuevo sistema RMR14, los parámetros RQD y espaciado de juntas han dejado aparentemente de ser considerados de manera independiente en la evaluación, ya que han sido incluidos dentro del parámetro número de juntas por metro. Mientras tanto, el parámetro de alterabilidad de la matriz rocosa por efecto del agua ofrece un enfoque más completo y preciso para la clasificación del macizo rocoso (15).

2.2.3.3. Resistencia a la compresión uniaxial

Parámetros que permiten clasificar y clasificar la roca matriz. La resistencia determina la competencia de la roca matriz para mantener unidos sus componentes, y depende fundamentalmente de su composición mineral y del grado de alteración (15).

Esta se puede obtener por criterios de campo, por ensayos de resistencia en laboratorio, o por correlaciones con el martillo Schmidt.

Tabla 1. Parámetros de resistencia a la compresión uniaxial

Parámetro		Rango de valores						
Resistencia del material de la roca intacta	Índice de resistencia de carga puntual	>8 Mpa	4-8 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Para este bajo rango es preferible un ensayo de compresión simple		
	Resistencia a la compresión simple	>200 Mpa	100-200 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	10-25 Mpa	3-10 Mpa	1-3 Mpa
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0

2.2.3.4. Martillo de Schmidt

El esclerómetro o martillo de Schmidt es un dispositivo diseñado para llevar a cabo pruebas de dureza, utilizando un método no destructivo. Aunque inicialmente se desarrolló para estimar la resistencia a la compresión simple del concreto, ha sido adaptado de manera adecuada para generar nuevos modelos, algunos de los cuales son idóneos para calcular la

compresión simple en roca. Esto se debe a que, debido a su tamaño y manejo, el instrumento puede aplicarse tanto en la matriz de la roca como en las caras de las discontinuidades.

Este dispositivo mide la resistencia al rebote de la superficie de la roca, proporcionando datos que se utilizan para determinar la resistencia a la compresión uniaxial. Esta información se correlaciona mediante el gráfico de Miller (1965), que tiene en cuenta la densidad de la muestra y la orientación del martillo con respecto al plano de prueba (15).

2.2.3.5. Rock quality designation (RQD)

Existe la necesidad de cuantificar la competencia del macizo rocoso como base común para la comunicación de esta información y el desarrollo de guías de diseño de ingeniería de rocas. Un sistema ampliamente utilizado para caracterizar la competencia del macizo rocoso es el índice de calidad de roca, conocido como RQD, desarrollado por Deere en 1964. Este sistema se fundamenta en la medición de la frecuencia de fracturas naturales presentes en el macizo rocoso en la dirección de la medición, y una disminución en la valoración del RQD se observa con un aumento en la frecuencia de fracturas (14).

Inicialmente concebido para perforaciones diamantinas con un diámetro igual o superior a 54 mm, el sistema RQD se ha adaptado a diámetros comúnmente utilizados en perforaciones de exploración, como BQ y NQ (47.6 mm y 50.5 mm respectivamente). Aunque los testigos de perforación de menor diámetro son más propensos a sufrir fracturas inducidas durante el proceso de perforación, estudios indican que los diámetros BQ y NQ son apropiados para la recolección de datos geotécnicos.

El valor del RQD se expresa como un porcentaje de la suma de todas las partes de longitudes mayores a 10 cm dividido por la longitud total de la corrida de perforación. Generalmente, se mide para cada corrida de perforación, aunque en ocasiones se registra para diferentes longitudes de taladro, como cada 10 m, dentro de un mismo dominio geotécnico definido por el tipo litológico (14)

Es importante considerar que el RQD proporciona una estimación rápida y preliminar de las condiciones del macizo rocoso, debiendo ser complementado posteriormente con métodos de clasificación de macizo rocoso más sofisticados según sea necesario. No obstante, el RQD presenta limitaciones, como la falta de consideración de la resistencia al corte de las discontinuidades y su sensibilidad a la orientación del testigo de perforación con respecto a las estructuras.

Se han propuesto métodos alternativos para calcular el RQD mediante el mapeo de juntas o discontinuidades en las paredes de excavaciones subterráneas, siendo uno de ellos la aplicación del cálculo convencional del RQD a lo largo de una "línea de detalle" o regla colocada contra la pared de una excavación, como se ilustra en la figura.

Frecuentemente, se requiere realizar una estimación del RQD en zonas donde se ha llevado a cabo el mapeo mediante líneas de detalle o mapeo por celdas. En estas áreas, no es necesario emplear testigos, ya que es posible obtener una representación más precisa del macizo rocoso a partir del mapeo realizado (14).

En este estudio, se aplicó el siguiente método para la estimación del RQD: en el caso de datos obtenidos mediante mapeo por líneas de detalle, es factible calcular un espaciamiento promedio de las juntas (número de discontinuidades dividido por longitud transversal). Bieniawski (1989) ha establecido una relación entre el espaciamiento promedio de las discontinuidades y el RQD, donde las calificaciones se corresponden con RMR89. Es importante destacar que el RQD máximo está relacionado con la propuesta de Priest y Hudson. La estimación del RQD a partir del espaciamiento promedio de las discontinuidades se puede realizar mediante la siguiente ecuación propuesta por Priest y Hudson (14).

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

Donde:

$$\lambda = \frac{1}{\text{frecuencia de discontinuidades}}$$

La relación entre el espaciamiento de las discontinuidades y el RQD promedio, probablemente resultará en estimaciones conservadoras. Por lo tanto, utilizar la ecuación para calcular el RQD es probablemente la opción más adecuada. No obstante, es importante señalar que esta relación también está influenciada por la dirección del eje de medición. Para un espaciamiento de discontinuidades promedio dado, existe un rango significativo de valores posibles para el RQD (14).

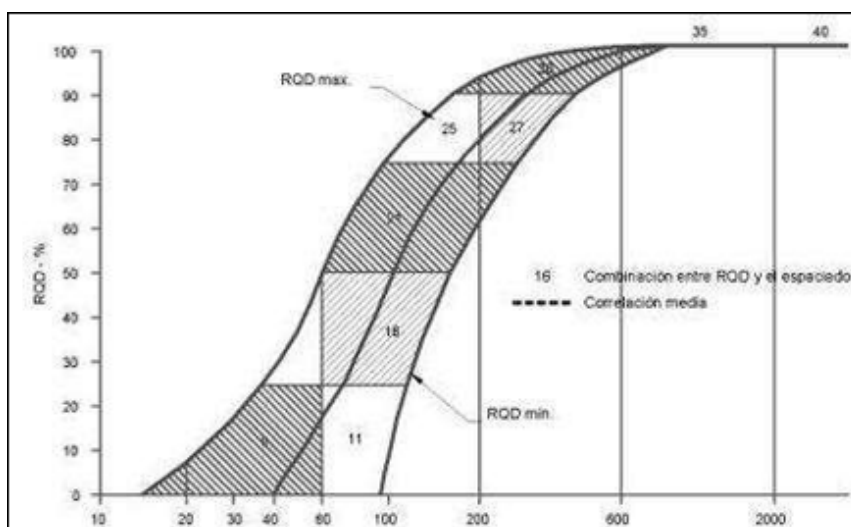


Figura 10. Flujos de velocidades
Tomada de Geotechnical Consulting

2.2.3.6. Espaciamiento de discontinuidades (o juntas)

El término "junta" se refiere a las discontinuidades estructurales, como fallas, diaclasas y planos de estratificación. El espaciado de las juntas es la distancia media entre los planos de discontinuidad de cada familia, es decir, de cada conjunto con características geomecánicas similares.

Existe una relación clara entre este parámetro y el RQD, por lo que, a menos que haya razones históricas relacionadas con la abundante información sobre el RQD anterior a la aparición de las clasificaciones geomecánicas RMR y Q, es posible que estas clasificaciones no hubieran incluido el RQD. (17)

La resistencia del macizo rocoso tiende a disminuir a medida que aumenta el número de juntas, es decir, cuando se reducen los espaciados de cada familia. A continuación, se presenta gráficamente la variación de la resistencia del macizo en función del espaciado de las juntas y de la resistencia a la compresión simple del material rocoso (17).

2.2.3.7. Aguas subterráneas

El agua, en su mayoría, proviene del flujo a lo largo de las discontinuidades (permeabilidad secundaria); sin embargo, en rocas sedimentarias, también puede ocurrir filtración en la matriz rocosa (permeabilidad primaria). Estas infiltraciones ejercen influencia en la resistencia del macizo rocoso (15). En un macizo rocoso con diaclasas, el agua desempeña un papel crucial en su comportamiento, y se debe estimar el flujo de agua en litros por minuto cada 10 metros de túnel. La descripción utilizada para este propósito incluye categorías como completamente seco, húmedo, presencia de agua a presión moderada y agua a presión fuerte (17).

2.2.3.8. Condición de las discontinuidades

Persistencia se refiere a la longitud o extensión superficial del plano de una discontinuidad en el macizo rocoso. Se relaciona con la extensión en área de la discontinuidad, de manera que una persistencia menor indica una mayor estabilidad en la masa rocosa, mientras que una persistencia mayor sugiere una menor estabilidad en el macizo rocoso (13).

La apertura, por otro lado, se define como la separación entre las paredes o superficies rocosas de una discontinuidad. En este contexto, una menor apertura está asociada con una mayor estabilidad y condición del macizo rocoso, mientras que una mayor apertura indica una menor estabilidad y condición en el macizo rocoso. La apertura se refiere a la distancia perpendicular entre las paredes de una discontinuidad sin relleno, y esta distancia puede variar significativamente entre diferentes áreas del macizo, disminuyendo con la profundidad (17).

La rugosidad se refiere a la ondulación de la superficie en la discontinuidad o a irregularidades a pequeña escala que tienen una influencia significativa en el comportamiento geomecánico, especialmente en la resistencia al corte (17).

En cuanto al relleno, se trata del material diferente de la roca que se encuentra entre las paredes de una discontinuidad. Es esencial describir todos los aspectos relacionados con su estado y propiedades, incluyendo la naturaleza de los materiales, si son blandos o están alterados (17).

La alteración se refiere al grado de meteorización, que está influenciado por factores ambientales y procesos físicos, químicos y biológicos que descomponen la masa rocosa in situ. La evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso se puede realizar directamente en el afloramiento (17).

2.2.3.9. Corrección por orientación de las discontinuidades

Para aplicar el índice de clasificación de rocas (RMR) a la evaluación de la estabilidad de taludes, Bieniawski sugiere reemplazar el factor de ajuste por orientación de las discontinuidades, proporcionado en su tabla original para túneles, con otro que varía en un rango de 0 a 60. No obstante, Bieniawski no especifica el significado de cada tipo de orientación en esta variante destinada a taludes (17).

2.2.3.10. Slope mass rating SMR (Romana 1985)

Se trata de una clasificación geomecánica desarrollada por Romana en 1985 con el propósito de evaluar la estabilidad de los taludes rocosos. El sistema de clasificación de macizos rocosos (SMR) se obtiene mediante la corrección del índice de clasificación de rocas (RMR) básico de Bieniawski en 1989, a través de una serie de factores que dependen de la geometría específica del talud. Dichos factores incluyen el paralelismo entre los rumbos de las discontinuidades y del talud (F1), el buzamiento de las discontinuidades (F2), la relación de buzamientos entre las discontinuidades y el talud (F3), y el método de excavación empleado (F4).

En el caso de aplicar el índice de clasificación de rocas (RMR) a la evaluación de la estabilidad de taludes, Bieniawski propone reemplazar el factor de ajuste por orientación de las discontinuidades proporcionado en su tabla original para túneles con otro que varía en un rango de 0 a 60, según se detalla en la tabla siguiente. Sin embargo, no se proporciona una definición explícita del significado de cada tipo de orientación en esta adaptación destinada a taludes (17).

Tabla 2. Valoración de la orientación de las discontinuidades

Orientación de las discontinuidades	Valor del Parámetro de ajuste
Muy favorable	0
Favorable	-5
Normal	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

El índice SMR se calcula restando al RMR primario un factor de ajuste F, el cual está relacionado con la orientación de las discontinuidades, y sumando un factor de excavación F4 que varía en función del método de excavación utilizado. Este factor F es, a su vez, el resultado de multiplicar tres subfactores que tienen en cuenta: la orientación relativa entre el rumbo del plano del talud y el de las discontinuidades (F1), la diferencia entre el buzamiento de las discontinuidades y del talud (F3), y el buzamiento propio de las discontinuidades (F2) (14).

$$SRM = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

2.2.3.11. Factores de ajuste

FI: depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y el de la cara del

talud. Se le asigna un valor de 1 cuando los dos rumbos son paralelos y 0,15 cuando éstos difieren en más de 30°. Empíricamente, Romana (1985) ha obtenido la siguiente relación (14)

$$F_1 = [1 - \sin(\alpha_j - \alpha_s)]^2$$

Donde:

α_j : es la dirección de buzamiento de las discontinuidades. α_s : es la dirección de buzamiento del talud.

F2: depende del buzamiento de la discontinuidad si la rotura plana es el mecanismo más probable de fallo del talud.

Cuando la discontinuidad tiene un buzamiento de 45° o superior, al factor F2 se le asigna un valor de 1 y de 0,15 cuando dicho buzamiento es inferior a 20° (14).

Tabla 3. Factores de ajuste de la clasificación

$SMR = RMR_b + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$ (ROMANA, 1985)					
FACTORES DE AJUSTE DE LAS JUNTAS (F_1, F_2, F_3)			α_j = DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO DE LA JUNTA α_s = DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO DEL TALUD β_j = BUZAMIENTO DE LA JUNTA β_s = BUZAMIENTO DEL TALUD		
	MUY FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
ROTURA PLANA $ \alpha_j - \alpha_s =$	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
VUELCO $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ =$	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
VALORES					
AJUSTE ANALÍTICO	$F_1 = (1 - \sin \alpha_j - \alpha_s)^2$				
ROTURA PLANA $ \beta_j =$	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
VUELCO	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
VALORES					
AJUSTE ANALÍTICO	$F_2 = \lg^2 \beta_j$				
ROTURA PLANA $\beta_j - \beta_s =$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< (-10^\circ)$
VUELCO $\beta_j + \beta_s =$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	-	-
VALORES	0	-6	-25	-50	-60
AJUSTE ANALÍTICO	$F_3 =$ (SE MANTIENEN LOS VALORES PROPUESTOS POR BIENIAWSKI, 1976 / 79)				
FACTOR DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN	$F_4 =$ VALORES EMPÍRICOS ESTABLECIDOS PARA CADA MÉTODO DE EXCAVACIÓN				
	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA MECÁNICA	VOLADURA DEFICIENTE
	+15	+10	+8	0	-8

Tomada de Romana 1985

Tabla 4. Valores del SMR para cada tipo de rotura

TIPO DE ROTURA	INTERVALOS SMR	FRECUENCIA
PLANAS	SMR > 60 60 > SMR > 40 40 > SMR > 15	Ninguna Importantes Muy grandes
EN CUÑA	SMR > 75 75 > SMR > 49 55 > SMR > 40	Muy pocas Algunas Muchas
POR VUELCO	SMR > 65 65 > SMR > 50 40 > SMR > 30	Ninguna Menores Importantes
COMPLETAS	SMR > 30 30 > SMR > 10	Ninguna Posible

Tomada de Romana 1985

Tabla 5. Medidas de corrección de taludes en roca

Sin sostenimiento	Ninguno
Protección	Saneos Zanja de pie Vallas de pie o de talud Redes y/o mallas sobre la superficie del talud
Refuerzo	Bulones Ancajes
Hormigón	Gunita. Hormigón dental
Drenaje	Contrafuertes y/o vigas Superficial Profundo
Re excavación	Tendido del talud. Muros de contención

2.2.4 . Definición de conceptos

Apertura: la abertura o separación entre las paredes de una discontinuidad, donde una menor abertura indica mayor estabilidad del macizo rocoso, y una mayor abertura sugiere menor estabilidad (17).

Espaciamiento de las discontinuidades: corresponde a la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Menor espaciado implica bloques de matriz rocosa más pequeños, mientras que mayor espaciado indica bloques más grandes (17).

Grado de meteorización: responde a factores medioambientales y procesos físicos, químicos y biológicos que descomponen la masa rocosa in situ. La evaluación se realiza directamente sobre el afloramiento (17).

Persistencia: la extensión en área o tamaño de una discontinuidad en el macizo rocoso. Menor persistencia sugiere mayor estabilidad, mientras que mayor persistencia indica menor estabilidad (17).

Relleno: materiales que ocupan los espacios de las discontinuidades. Relleno suave (arcillas) disminuye la competencia del macizo rocoso, mientras que relleno duro (sílice) la aumenta (17).

Resistencia a la compresión: propiedad mecánica de la roca intacta que se define como su capacidad para soportar una carga por unidad de área, expresada en términos de esfuerzo.

Roca: agregado sólido formado por uno o varios minerales, que ocupa grandes extensiones de la corteza terrestre (17).

Roca intacta: elemento de roca, como un trozo o bloque, que no presenta discontinuidades observables (17). - Rock Mass Rating (RMR): Sistema de clasificación geomecánica del macizo rocoso que reemplaza un enfoque para estimar sus propiedades a gran escala. Busca representar con un solo valor las propiedades de resistencia del macizo rocoso.

Rock quality designation (RQD): índice de calidad de la roca, uno de los sistemas más utilizados para caracterizar la competencia del macizo rocoso, desarrollado por Deere en 1964.

Rugosidad: aspereza o irregularidad en la superficie de las discontinuidades, donde menor rugosidad indica menor competencia del macizo rocoso y mayor rugosidad sugiere mayor competencia (17).

Slope mass rating (SMR): clasificación geomecánica desarrollada por Romana en 1985 para evaluar la estabilidad de los taludes rocosos (17).

Talud: superficie inclinada respecto a la horizontal, ya sea de forma natural o como resultado de intervenciones humanas en obras de ingeniería (17).

Orientación: la posición espacial de los planos de debilidad (juntas, diaclasas, fallas, estratificación, etc.), medida o definida por su rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades es paralelo, se considera una familia de discontinuidades (17).

Estabilidad física: comportamiento estable en el corto, mediano y largo plazo de los componentes frente a factores externos e internos. Evita el desplazamiento de materiales para prevenir riesgos y garantizar la integridad física de personas y poblaciones (17).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Métodos y alcances de la investigación

3.1.1 Método general

Se emplea análisis inferencial como método general. (método deductivo y analítico).

3.1.2 Tipo de investigación

Esta investigación es de naturaleza aplicada, ya que se basa en hallazgos y conocimientos de investigación que pueden usarse para resolver directa e inmediatamente los problemas que surgen.

3.1.3 Nivel de investigación

Según su alcance, es explicativo, porque no sólo describe y relaciona, sino que también exige encontrar las causas (causas y motivos) del fenómeno. Por su diseño, es cuasiexperimental, ya que busca la relación entre causa y efecto mediante pretest y posttest, y no hay aleatoriedad en la variable porque la manipulación es una elección, no una intención. Según su enfoque, es cuantitativo y se basa en medidas numéricas.

3.1.4 Diseño de investigación

El diseño de investigación es una investigación transversal no experimental porque implica observar fenómenos sin que el investigador dicte situaciones o condiciones, lo que significa no manipular de ninguna manera las variables de la investigación.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población de esta investigación está dada por el KM 55 de la carretera El Milagro — Santa Isabel.

3.2.2 Muestra

Para esta investigación, la muestra seleccionada consistirá en puntos de control ubicados específicamente en el tramo de 100 metros en la carretera El Milagro — Santa Isabel — Paucartambo.

3.2.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recopilación de datos se implementarán mediante encuestas que utilicen una variedad de actividades estandarizadas; donde se analizan y recopilan datos de la muestra o población.

3.2.4 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

Búsqueda de información: utilizando la técnica de investigación bibliográfica en diferentes tesis sobre nuestro tema, para tener sustento acerca del modelamiento de vibraciones.

Observación. se puede observar que la velocidad de onda P y la velocidad Pico de Partícula Crítica volado no es homogénea en la unidad minera Chinalco.

Entrevistas no estructuradas. esto se realiza a través de chats que sugieren preguntas que se envían al operador del servicio, con el objetivo de obtener opiniones sobre el diseño de red de la aplicación.

3.5 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- Herramientas.
 - Observaciones
 - Entrevistas
 - Check list

- Equipos.
 - Fotográfico
 - Microsoft Office (Excel)
 - AutoCAD
 - Split Desktop

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Resultados del análisis de la información

4.1.1. Ubicación

4.1.1.1. Geología de Pasco

- **Formaciones geológicas:**

La región Pasco tiene una diversidad geológica desde formaciones antiguas hasta recientes. Las rocas del Precámbrico en esta región, aunque menos comunes, son principalmente gneises y esquistos, las más antiguas geológicamente. En el Paleozoico, se formaron secuencias sedimentarias destacadas como la Formación Ambo, con areniscas y conglomerados, y la Formación Tarma, rica en calizas. En el Mesozoico, la sedimentación marina generó depósitos como la Formación Pucará y, durante el Cretácico, la formación Goyllarisquizga, rica en carbón y areniscas.

El Cenozoico fue un periodo de activa tectónica y volcánica, formando depósitos de minerales como cobre, plomo y zinc. Estas actividades geológicas produjeron rocas volcánicas que cubren grandes áreas de la región. Las características geológicas han formado el paisaje de Pasco y son clave para su riqueza minera, haciéndola de gran interés geológico.

- **Tectónica:**

La región de Pasco, en una zona de convergencia de placas tectónicas, ha tenido intensa actividad sísmica y tectónica. Este proceso tectónico ha creado fallas y plegamientos que han transformado el relieve regional. Las fallas activas han causado sismos importantes y, junto con la actividad volcánica, han creado un paisaje montañoso con valles profundos.

La actividad tectónica ha influido en la distribución de recursos minerales, concentrando metales como cobre, plomo, zinc y plata en depósitos comerciales. Estas características tectónicas son importantes para la geología y afectan la seguridad y planificación urbana y rural, ya que la actividad sísmica y deslizamientos representan un riesgo para las comunidades.

- Minería:

Pasco es una de las principales regiones mineras del Perú por sus ricos depósitos minerales. La minería en esta región comenzó en la época colonial y ha continuado hasta hoy. Los recursos principales son plata, plomo, zinc y cobre, presentes en depósitos de intrusiones ígneas y estructuras tectónicas. La minería es clave para la economía local, generando empleo y desarrollo.

La minería ha afectado considerablemente el medio ambiente y la geología de la región. La extracción de minerales ha dañado el suelo y contaminado aguas. La minería ha generado inestabilidad geológica, elevando el riesgo de deslizamientos y desastres naturales. La gestión adecuada de la minería es esencial para mitigar impactos y asegurar el desarrollo sostenible.

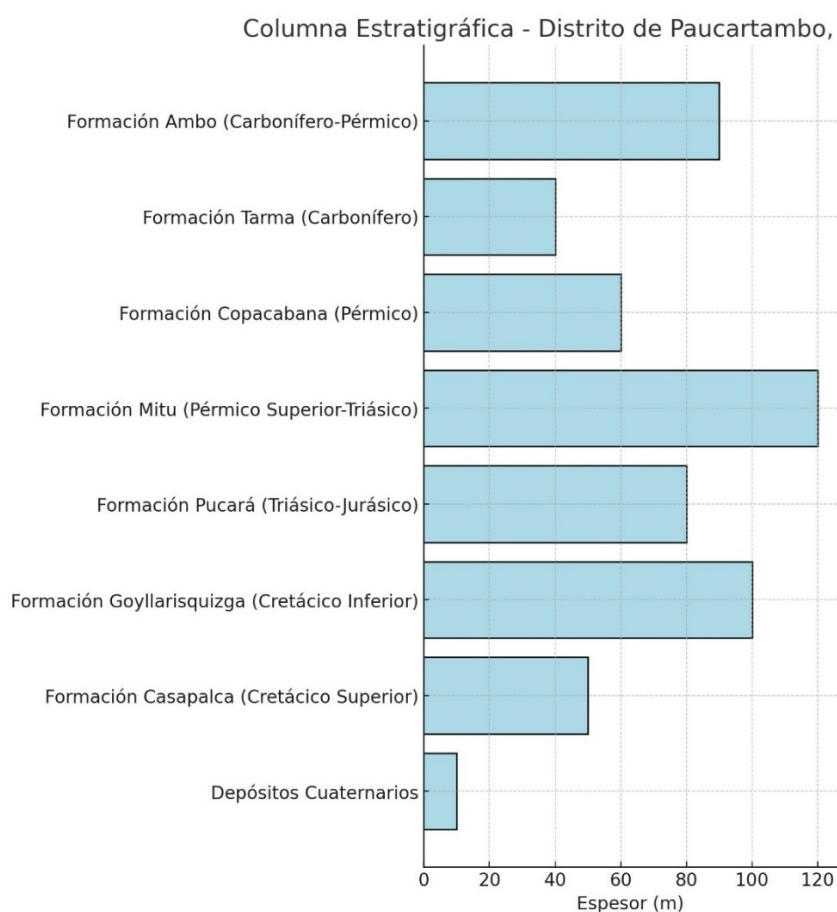


Figura 11. Columna estratigráfica

- Columna estratigráfica de Paucartambo
- ✓ Formación Ambo (Carbonífero-Pérmico)

Litología: compuesta por areniscas, conglomerados y lutitas, con capas de carbón. Las areniscas son generalmente de grano grueso a medio, con cemento de sílice y hematita.

Ambiente de depósito: se depositó en un entorno fluvial y deltaico, resultando en capas de carbón por acumulación de materia orgánica en zonas pantanosas.

Importancia: es clave en la minería de carbón y ofrece información sobre paleo ambientes fluviales del Paleozoico.

- Formación Tarma (Carbonífero)

Litología: calizas masivas gris claro a oscuro, con lutitas y *cherts* intercalados.

Ambiente de depósito: se formó en un mar poco profundo con sedimentación de carbonatos en la plataforma continental.

Las calizas de la formación Tarma son importantes para la construcción y pueden contener plomo y zinc.

- Formación Copacabana (Pérmico)

Litología: incluye calizas, dolomitas, lutitas y areniscas. Las calizas son bioclásticas y fosilíferas.

Ambiente de depósito: se depositó en un mar profundo, acumulando sedimentos ricos en carbonatos.

Importancia: esta formación es clave paleontológicamente por su abundancia de fósiles marinos que interpretan el ambiente deposicional.

- Formación Mitu (Pérmico Superior-Triásico)

Litología: incluye conglomerados, areniscas rojas, lutitas y rocas volcánicas.

Depósito en un ambiente continental volcánico durante intensa actividad tectónica.

La formación Mitu es crucial para comprender la evolución tectónica de la región y sugiere potencial hidrocarburífero en otras cuencas.

- Formación Pucará (Triásico-Jurásico)

Litología: incluye calizas, dolomitas y lutitas, destacando calizas negras con bitumen.

Depósito en un ambiente marino somero con condiciones anóxicas que preservaron materia orgánica.

Importancia: esta formación es crucial en la minería de Cerro de Pasco por sus depósitos de zinc y plomo.

- Formación Goyllarisquizga (Cretácico Inferior)

Litología: principalmente areniscas cuarzosas, con capas de lutitas y conglomerados. Las areniscas son de grano medio a grueso y bien cementadas.

Ambiente de depósito: se depositó en un entorno fluvial y deltaico, con sedimentación influida por tectónica y clima.

Importancia: esta formación es una valiosa fuente de energía por sus depósitos de carbón.

- Formación Casapalca (Cretácico Superior)

Litología: incluye lutitas negras, calizas grises y areniscas. Las lutitas son bituminosas en ciertos niveles.

Ambiente de depósito: depósito en mar profundo y anóxico, que preservó materia orgánica.

Las lutitas bituminosas sugieren potencial hidrocarbúfero en la región.

- Depósitos cuaternarios

Litología: depósitos aluviales, glaciares y coluviales de gravas, arenas, limos y arcillas.

Ambiente de depósito: se formaron por erosión y sedimentación recientes, vinculados a dinámicas glacial y fluvial.

Los depósitos cuaternarios son cruciales para la agricultura, la construcción y la hidrología local.

- Geología del tramo de estudio.

La geología desde el puente El Milagro hasta Yaupi, en la carretera PA 675 del distrito de Paucartambo, Cerro de Pasco, se caracteriza por una transición a través de diversas formaciones geológicas que reflejan la compleja historia tectónica y sedimentaria de la región. A continuación, se describe la geología a lo largo de este recorrido:

1. Puente El Milagro

Geología general: al iniciar el recorrido en puente El Milagro, la geología está dominada por depósitos recientes cuaternarios, como aluviones y coluviones. Estos depósitos se han acumulado debido a la actividad fluvial del río cercano y a procesos de erosión que son comunes en esta parte del valle.

Litología: Predominan gravas, arenas, limos y arcillas, con depósitos aluviales bien desarrollados en las orillas del río. Estos sedimentos son típicos de ambientes de valle donde el transporte de material es relativamente rápido debido a la acción del agua.

2. Ascenso por la carretera PA 675

Geología general: a medida que se asciende desde el puente El Milagro, se comienza a observar un cambio en la litología con la aparición de formaciones más antiguas. La carretera atraviesa áreas donde predominan las formaciones sedimentarias del Mesozoico.

Formación Pucará: a esta altura, es común encontrar rocas pertenecientes a la formación Pucará, que se compone de calizas, dolomitas y lutitas. Estas rocas se depositaron en un ambiente marino somero y son visibles a lo largo de varios tramos de la carretera. Las calizas de la formación Pucará son de particular interés debido a su contenido fósil y su importancia en la industria minera.

3. Zona de transición

Geología general: a medida que la carretera continúa su ascenso, se encuentra una zona de transición geológica donde se superponen diferentes formaciones. En esta área, las calizas de la formación Pucará pueden estar intercaladas con rocas más recientes, incluyendo algunas intrusiones ígneas.

Intrusiones ígneas: estas intrusiones pueden estar asociadas con la actividad tectónica que ha afectado la región a lo largo de su historia geológica. Estas rocas ígneas, como dioritas o granodioritas, se pueden observar en cortes de la carretera y representan eventos de intrusión magmática que contribuyeron a la mineralización de la región.

4. Cercanías de Yaupi

Geología general: al aproximarse a Yaupi, la geología vuelve a estar dominada por formaciones sedimentarias más antiguas, particularmente aquellas del Paleozoico. La carretera pasa cerca de afloramientos de la formación Mitu, que es conocida por sus conglomerados y areniscas rojas, junto con lutitas que se formaron en ambientes continentales.

Formación Mitu: la presencia de esta formación indica un ambiente de depósito fluvial y volcánico activo durante el Pérmico-Triásico. Este tramo de la carretera también puede mostrar evidencias de actividad tectónica pasada, como fallas o pliegues que afectan las rocas sedimentarias y las intrusiones ígneas.

5. Llegada a Yaupi

Geología general: finalmente, al llegar a Yaupi, la geología es dominada por formaciones del Paleozoico, particularmente la formación Ambo, que se caracteriza por areniscas, conglomerados y capas de carbón. Esta formación es indicativa de antiguos ambientes fluviales y deltaicos que prevalecieron durante el Carbonífero y el Pérmico.

Mineralización: dado que Yaupi se encuentra en una región con una rica historia de minería, es probable que la mineralización asociada con la tectónica y la intrusión ígnea haya concentrado minerales metálicos en esta área, lo que ha influido en la actividad económica de la zona.

Se utilizó la cartografía geológica para determinar que tipos de morfología se encuentran en la zona:

- Depósitos coluvio-deluviales, que son propensos a deslizamientos por su geometría caótica y origen cercano a eventos de movimiento de masa. Contienen materiales finos como limo, arcilla y algo de arena.
- Depósitos proluviales: material no consolidado entre flujos altos y poblados, de partículas finas a gruesas.
- Grupo Pulluicana: areniscas limolíticas y lutitas gris parduzcas con escasas calizas nodulares; moderadamente meteorizada, muy fracturada y de baja calidad.



Figura 12. Localidad Monopata

Geomorfología: a partir del kilómetro 00, la ruta presenta pendientes moderadas que van desde suaves a pronunciadas (15° a 35°), con evidencias de erosión. En varios tramos estas pendientes se hacen más pronunciadas en un 25.84 %. Posteriormente, el recorrido desciende por laderas de fuerte pendiente, situadas sobre depósitos eluvio deluviales constituidos predominantemente por suelos arcillosos de arcilla, que van alternando fuertes pendientes y afloramientos hasta llegar a las proximidades del punto kilométrico 18 en el CP Monopata.

Deslizamiento: este fenómeno fue detectado en la región este de la localidad de CP Monopata, correspondiendo a un deslizamiento traslacional de carácter antiguo. Se caracteriza por el desplazamiento del macizo rocoso a lo largo de una superficie de falla específica, con una inclinación de 24 metros de ancho, observándose un desplazamiento de 46

metros. Utilizando la estratificación de los estratos en concordancia con la inclinación, se generó un escarpe casi vertical.

4.1.2. Toma de datos en la zona con respecto del buzamiento y dirección de buzamiento de las discontinuidades in situ

Tabla 6. Medidas de corrección de taludes en roca

Kilómetro	Hasta el kilómetro	Distancia
55+100 km	55+350 km	250 m
55+350 km	55+600 km	250 m
55+600 km	55+800 km	200 m
55+800 km	56+100 km	300 m
Total		1000 m

Se utilizaron datos obtenidos mediante una brújula para medir el buzamiento y su dirección en discontinuidades geológicas a lo largo de la carretera PA 107, entre el km 55+100 desde el puente El Milagro a San Luis, en Cerro de Pasco. El estudio abarcó cinco estaciones distribuidas a lo largo de 1 kilómetro, con distancias variables entre ellas de 200 a 300 metros. El objetivo fue analizar en detalle las características de las fallas presentes en el área de estudio.

Tabla 7. Datos in situ

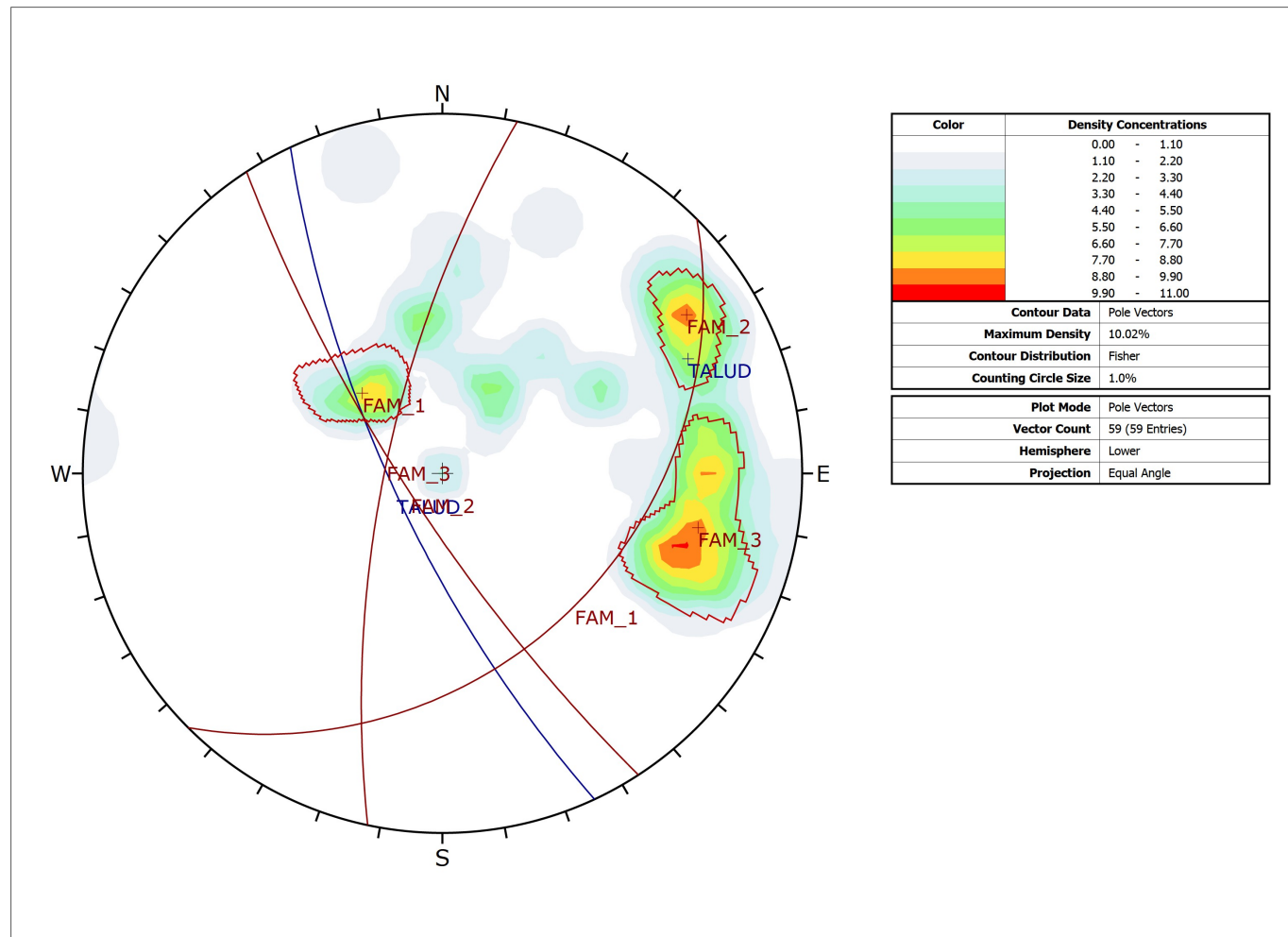
Estación	Inicial	Coordenadas Utm psad56		Tramo final	Coordenadas Utm psad56		Distancia
		Este	Norte		Este	Norte	
E-01	55+100 km	695674.30	9284875.89	55+350 km	695892.30	9284851.89	250 m
E-02	55+350 km	696116.30	9284851.89	55+600 km	696178.30	9284931.89	250 m
E-03	55+600 km	695892.30	9284851.89	55+800 km	696116.30	9284851.89	200 m
E-04	55+800 km	696178.30	9284931.89	56+100 km	695938.30	9285086.89	300 m

Los datos obtenidos *in situ* fueron ingresados a un software para cada estación de estudio, generando varios trazados: a) el trazado de polos, que representa gráficamente la orientación de las discontinuidades; b) el trazado de contornos, que identifica las concentraciones de polos usando una escala de colores, donde el rojo indica mayor densidad; c) el trazado de planos principales, que muestra una estereografía sin activar polos ni contornos; y d) el trazado de rosetas, que brinda la orientación de las familias de discontinuidades. Dos áreas mostraron desprendimiento de rocas, siendo analizadas a través del software.

Tabla 8. Progresivas de desprendimientos

Nº Estación	Tramo inicial	Tramo final
E-02	55+350 km	55+600 km
E-04	55+800 km	56+100 km

Mediante los datos obtenidos *in situ*, se ingresaron al software Dips en un área con deslizamiento de macizo rocoso. Se analizaron cuatro áreas de estudio geomecánico, obteniendo lo siguiente: se generaron trazados de polos, contornos, planos principales y rosetas. Estos permitieron identificar la orientación de discontinuidades y concentraciones de polos, lo que facilitó el análisis de las familias de discontinuidades. En las áreas con mayor desprendimiento, los resultados mostraron una mayor concentración de discontinuidades, permitiendo un análisis detallado de las condiciones geomecánicas.



E-02.dips7

16/09/2024, 11:44:01

Figura 13. Contornos y planos principales – E-02
Tomada de Rocscience DISP

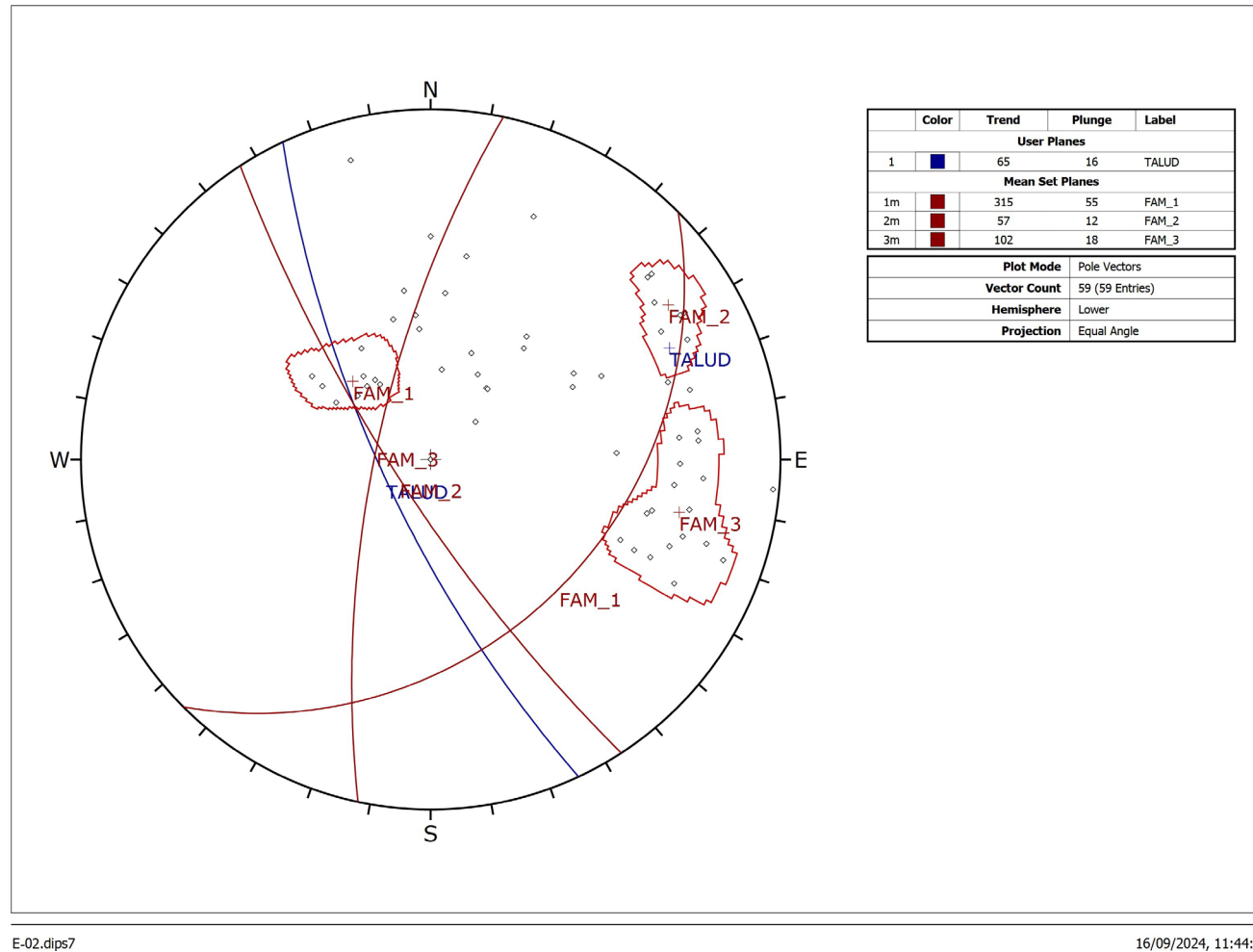


Figura 14. Polos de discontinuidades y trazado planos principales – E-02
Tomada de Rocsciense DISP

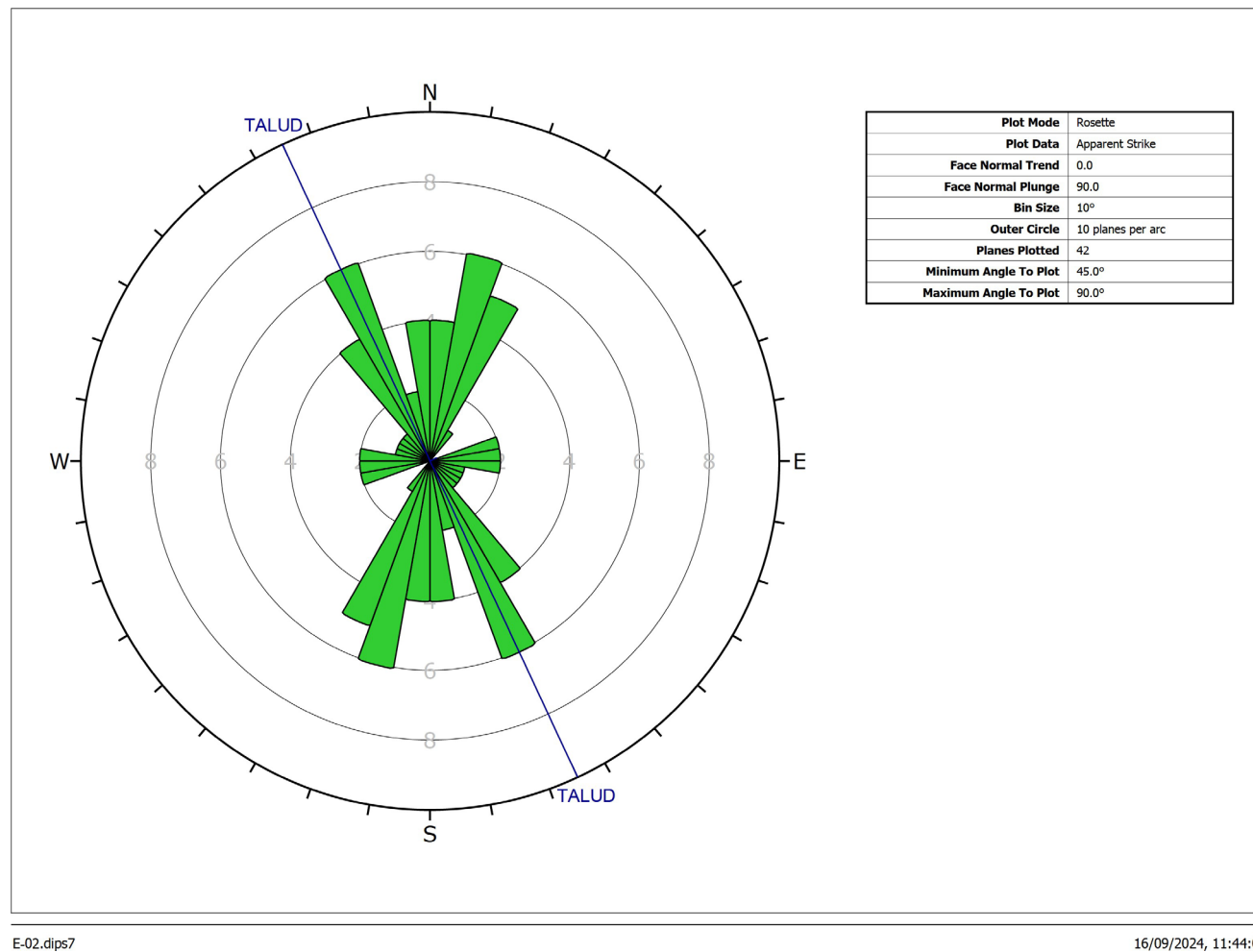


Figura 15. Rosetas – E-02
Tomada de Rocsciense DISP

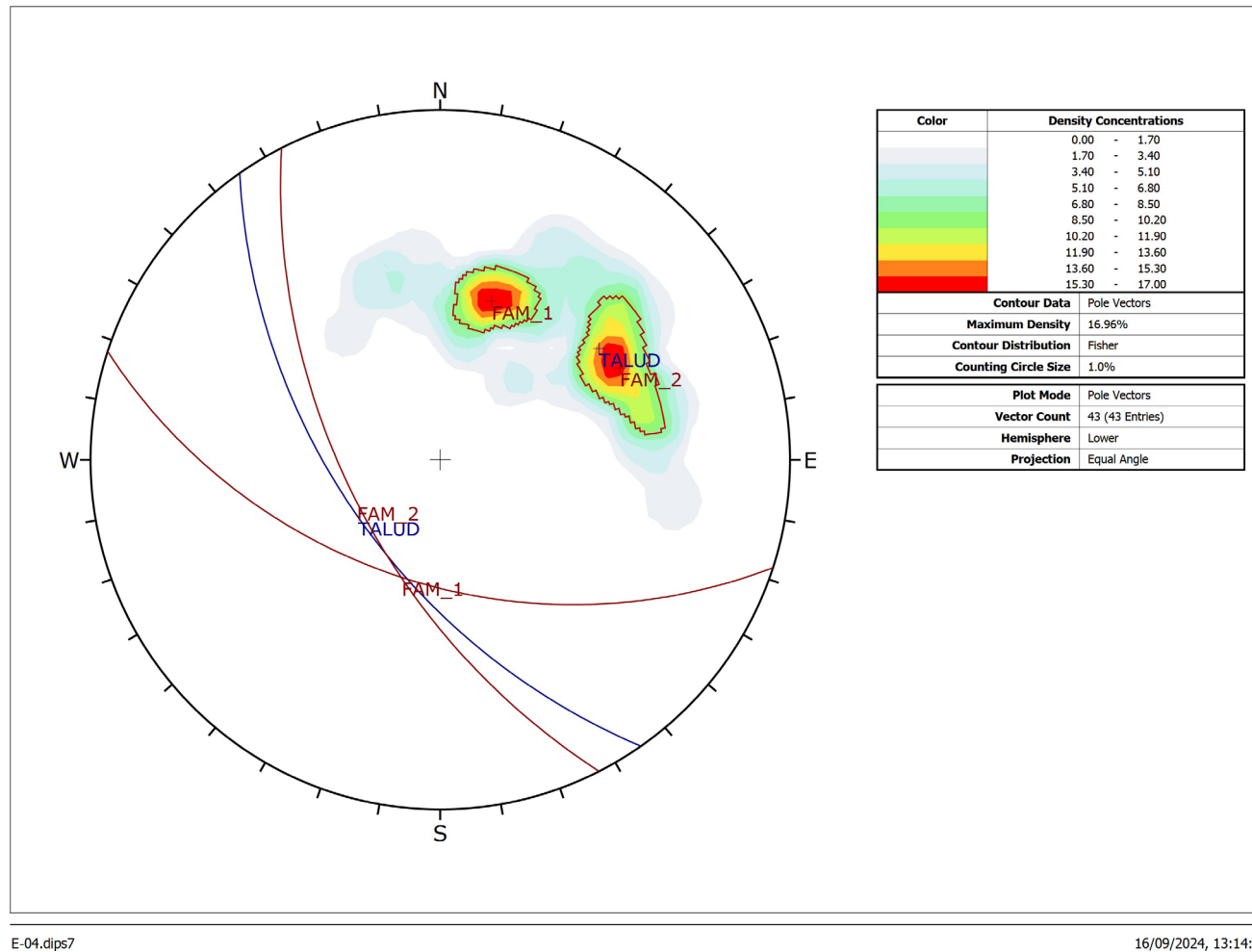
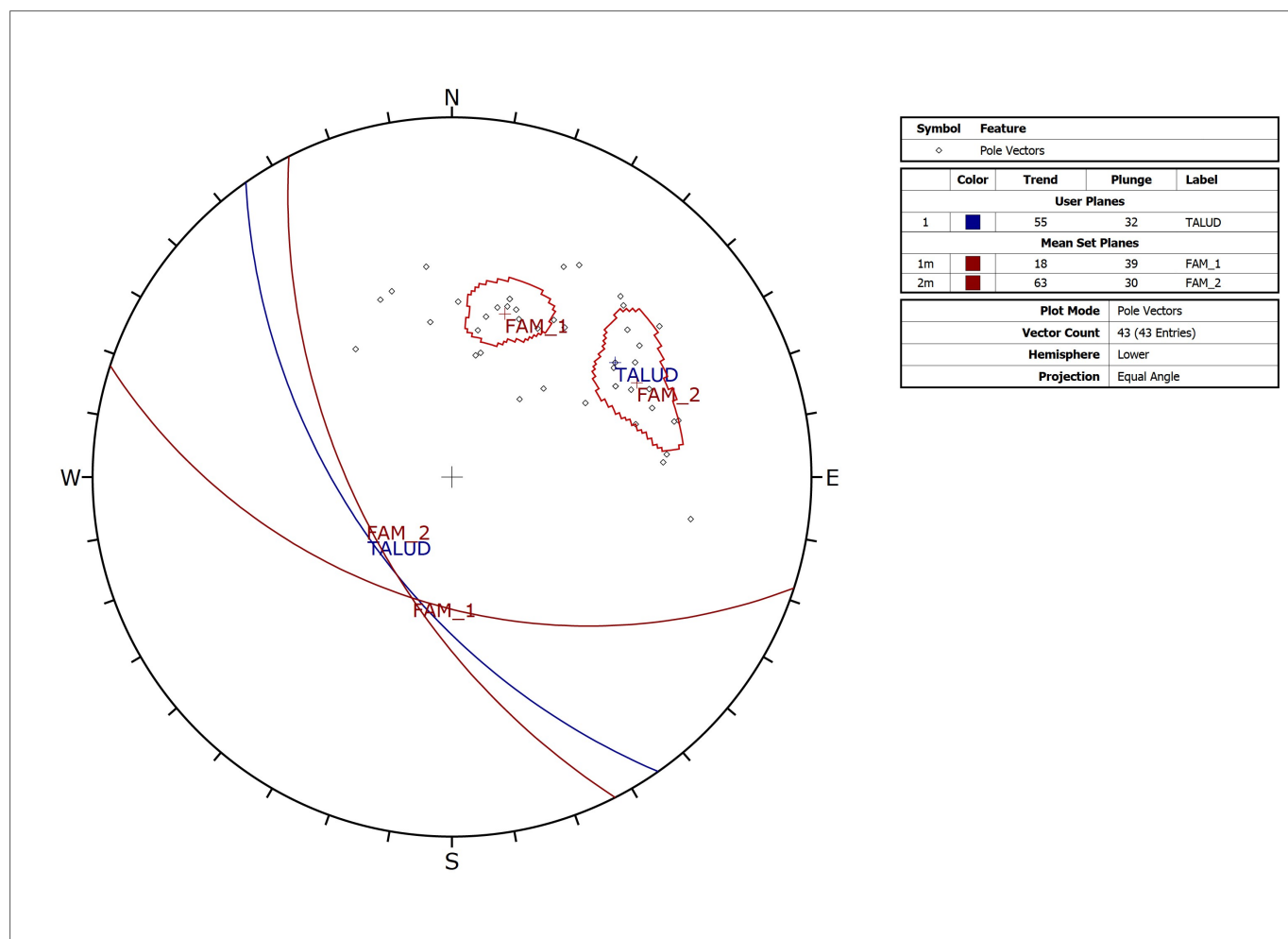


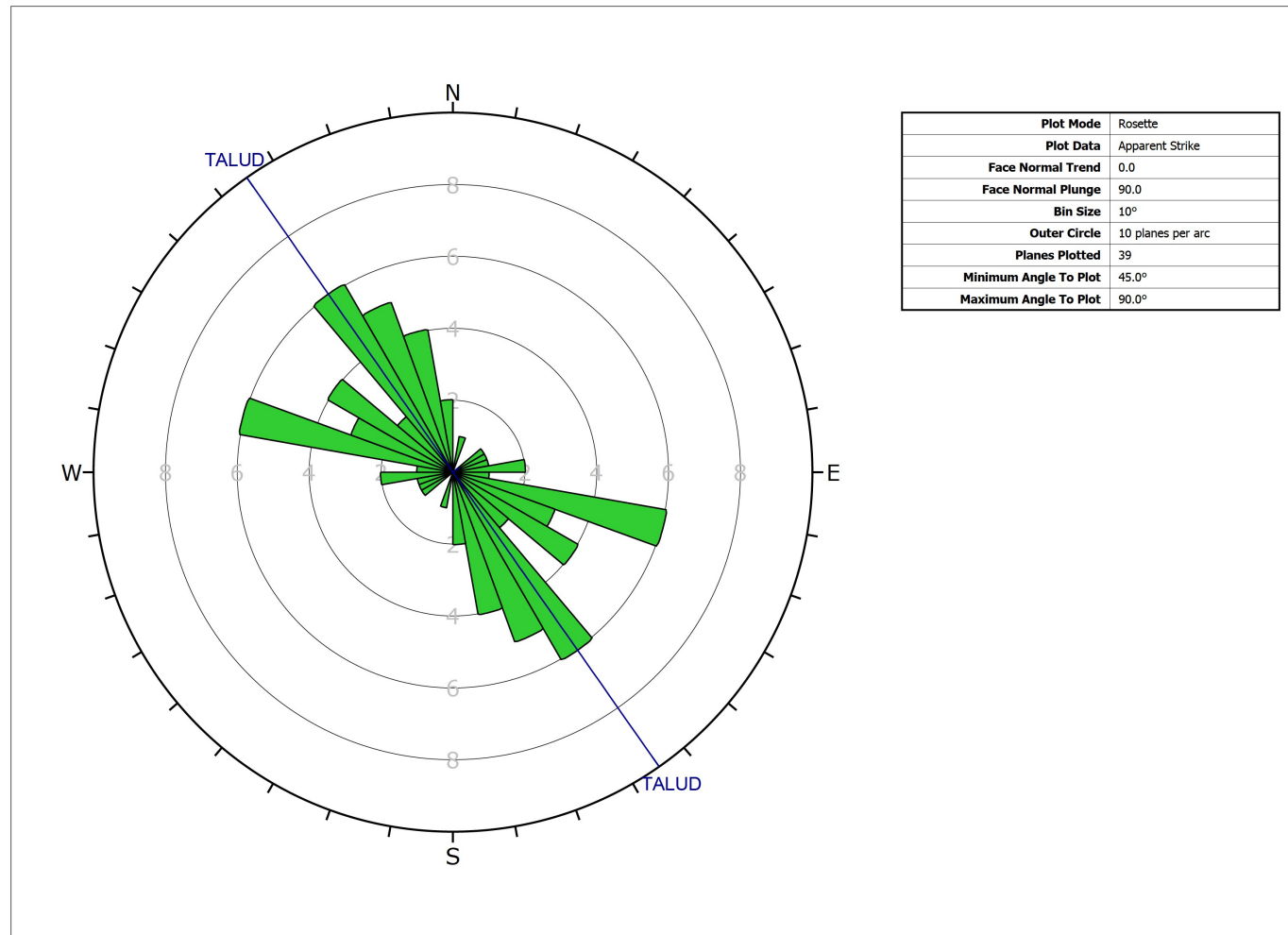
Figura 16. Contornos y planos principales – E-04
Tomada de Rocsciense DISP



E-04.dips7

16/09/2024, 13:14:07

Figura 17. Polos de discontinuidades y trazado planos principales – E-04
Tomada de Rocsciense DISP



E-04.dips7

16/09/2024, 13:14:07

Figura 18. Rosetas – E-04
Tomada de Rocsciense DISP

Tabla 9. Familias de discontinuidades por estaciones

Tramos de estudio			Familia de discontinuidades				Pendiente del talud	Dirección de buzamiento	Tipo de rotura
Nº Estación	Tramo inicial	Tramo final	Fam 01	Fam 02	Fam 03	Fam 04			
E-01	55+100 km	55+350 km	15/32	69/32	-	-	55	23	Sin fallamiento
E-02	55+350 km	55+600 km	57/12	102/18	315/55	-	65	16	Fallo por cuña
E-03	55+600 Km	55+800 km	37/33	345/24	-	-	18	27	Sin fallamiento
E-04	55+800 Km	56+100 km	18/39	63/60	-	-	55	32	Falla por cuña

La tabla muestra que en las estaciones de estudio E-01 y E-03 no se identificaron fallamientos, lo que indica la ausencia de inestabilidad en el talud en esos tramos. Sin embargo, en las estaciones E-02 y E-04 se detectaron fallas por cuña, lo que ha originado problemas relacionados con el deslizamiento de macizo rocoso, siendo este un aspecto clave de la investigación.

4.1.3. Macizo rocoso mediante las clasificaciones RMR y RQD y GSI

Se realizó un análisis *in situ*, según la clasificación geomecánica RMR (rock mass rating), clasificando las muestras de roca según su grado de fracturamiento, el índice RMR y el GSI (geological strength index). Esto permitió caracterizar la resistencia a la compresión del macizo rocoso utilizando el RQD (rock quality designation). A partir de estos parámetros, se llevó a cabo un análisis detallado en cada área de estación geomecánica, obteniendo resultados que reflejan las condiciones y la estabilidad del macizo rocoso en cada una de las estaciones.

Tabla 10. Clasificación geomecánica RMR

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN									
1	Resistencia de la Matriz Rocosa	Ensayo de Carga Puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión Simple (MPa)	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		100-90%	90-75%	75-50%	50-25%	<25%		
Puntuación		20	17	13	6	3			
3	Separación entre diaclasas		> 2m	2-0.6m.	0.6-0.2m.	0.2-0.06m.	< 0.06m.		
Puntuación		20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Cerrada	<0.1mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno suave <5mm	Relleno suave >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua Freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		
ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL									
Dirección Perpendicular al eje del túnel				Dirección Paralela al eje del túnel			Cualquier Dirección Buzamiento 0°- 20°		
Excavación a favor del Buzamiento		Excavación en contra del buzamiento							
Buz. 45°-90°		Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Desfavorable		
Muy Favorable		Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media			
CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES									
Dirección y Buzamiento			Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable		
Puntuación	Túnel		0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones		0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes		0	-5	-25	-50	-60		
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR									
RMR			100-81	80-61	60-41	40-21	<20		
Clase			I	II	III	IV	V		
Calidad			Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala		
Cohesión			> 4 Kp/cm ²	3 - 4 Kp/cm ²	2 - 3 Kp/cm ²	1 - 2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²		
Ángulo de rozamiento			> 45°	35° - 45°	25°- 35°	15° - 25°	< 15°		
Tiempo de Autosuporte y longitud sin sostener y			10 años 15m.	6 meses 8m.	1 semana 5m.	10 horas 2.5m.	30 minutos 1m.		

Tomada de Bieniawski, 1989

4.1.4. Resistencia a la compresión uniaxial

Utilizando el esclerómetro o martillo Schmidt en las cuatro estaciones de estudio, se evaluaron dos tipos de roca según su resistencia a la compresión uniaxial. Las mediciones *in situ*, con el martillo aplicado a 90° sobre roca intacta, revelaron que en las estaciones E-01 y E-03, el macizo rocoso es moderadamente resistente (valor de 4), mientras que en las estaciones E-02 y E-04 se encontró roca débil (valor de 2), de acuerdo a la clasificación de Brown (1988).

Tabla 11. Resistencia a la compresión

Nº Estación	Resistencia a la compresión	Datos In situ	Valor
E-01	25-50	32	4
E-02	5-25	6	2
E-03	25-50	30	4
E-04	5-25	6	2

4.1.5. Rock Quality Designation (RQD):

Para el cálculo del RQD se planteó:

$$RRRD = 115 - (3,3) * J_v$$

El valor de J_v , que representa el número de juntas identificadas por metro cúbico en el macizo rocoso, fue calculado utilizando el criterio de Palmstrom (1995). Este método considera la cantidad de fisuras por muestra lineal en cada área de estudio, permitiendo así determinar la densidad de las discontinuidades en el macizo rocoso. Esta información es fundamental para caracterizar la estabilidad del macizo y realizar un análisis geotécnico preciso.

Tabla 12. Designación de calidad de la roca

Nº Estación	JV	RQD (Formula)	Calidad	Índice de calidad	Valor
E-01	12	75.4	50-75	Resistente	13
E-02	20	49	25-50	Frágil	6
E-03	13	72.1	50-75	Resistente	13
E-04	27.5	24	<25	Muy frágil	3

Se identificó el índice de calidad del macizo rocoso en diversas estaciones de estudio, considerando las juntas por m³ in situ. Según la clasificación geomecánica, las estaciones E-01 y E-03 presentan un macizo rocoso ****resistente**** (rango de 50-75). En la estación E-02, el índice de calidad es de un macizo ****frágil**** (rango de 25-50), mientras que la estación E-04 muestra un macizo ****muy frágil**** con un índice de calidad inferior a 25.

4.1.6. Espaciamiento de estructuras y persistencias

La separación entre diaclasas o el espaciamiento de juntas en las estaciones de estudio es un parámetro importante para evaluar la estabilidad del macizo rocoso. Si el valor de este espaciamiento es menor, indica una mayor persistencia en las fracturas, lo que favorece la estabilidad del macizo. Por el contrario, si el valor es mayor, el macizo rocoso presenta menor cohesión y es menos estable. Este análisis es crucial para determinar las condiciones geomecánicas y la seguridad estructural en el área de estudio.

Tabla 13. Espaciamiento

N° Estación	Descripción	Espaciado de juntas	Datos in situ	Valor
E-01	Moderadamente juntas	0.2-0.6 m	0.5	8
E-02	Juntas	<0.06 m	0.14	5
E-03	Moderadamente juntas	0.2-0.06 m	0.4	8
E-04	Juntas	<0.06 m	0.05	5

Tabla 14. Persistencia

N° Estación	Descripción	Persistencia (m)	Datos in situ	Valor
E-01	Media	3-10 m	7m	2
E-02	Alta	10-20 m	14 m	1
E-03	Media	3-10 m	5 m	2
E-04	Alta	10-20 m	18 m	1

Tabla 15. Abertura

N° Estación	Descripción	Abertura	Datos in situ	Valor
E-01	Cerrada	0.1-1 mm	0.9	3
E-02	Moderadamente abierta	1-5 mm	4	1
E-03	Cerrada	0.1-1 mm	0.7	3
E-04	Moderadamente abierta	1-5 mm	4	1

Mediante el uso de wincha, se mostró estaciones de estudio donde una abertura moderadamente abierta (1-5mm), siendo las E-02 y E-04; mientras que, las E-01 y E-03 cerrada (0,1-1mm).

Tabla 16. Rugosidad

N° Estación	Descripción	Valor
E-01	Ligeramente rugosa	3
E-02	Muy rugosa	6
E-03	Ligeramente rugosa	3
E-04	Muy rugosa	6

De las estaciones de estudio, siendo 4, se mostró que las dos primeras estaciones de estudio siendo E-01 y E-03 son ligeramente rugosos y las continuas E-02 y E-04 son muy rugosos. De tal manera, se evidenció si el macizo rocoso en dichas estaciones de estudio es competente o no.

Tabla 17. Relleno

N° Estación	Descripción	Datos in situ	Valor
E-01	Relleno duro > 5mm	7	2
E-02	Relleno suave <5 mm	4	1
E-03	Relleno duro > 5mm	7	2
E-04	Relleno suave <5 mm	4	1

Para obtener la data, se realizó el uso de una regla (mm), de las cuatro estaciones de estudio, considerándose que en las estaciones de estudio E- 01, E-03, se visualizó relleno suave duro y para las estaciones de estudio E-02 y E-04 se visualizó relleno blando (> 5 mm).

Tabla 18. Descomposición

N° Estación	Descripción	Datos in situ	Valor
E-01	Ligeramente descompuesta	4	5
E-02	Ligeramente descompuesta	4	5
E-03	Moderadamente descompuesta	3	3
E-04	Moderadamente descompuesta	3	3

Mediante la aplicación de los instrumentos de estudio, se identificó que, para las estaciones de estudio, presentó para la E-01 y E-03 roca de ligera descomposición y para las E-02 y E-04 moderadamente descompuesta; visualizando signos de meteorización.

Tabla 19. Filtraciones

N° Estación	Descripción	Valor
E-01	Seco	15
E-02	Ligeramente húmedo	10
E-03	Seco	15
E-04	Ligeramente húmedo	10

Considerando las condiciones de humedad en el área de estudio, se observó que existe en las primeras estaciones de estudio no hay existencia de humedad ni agua; mientras que en las E-02 y E-04 se visualizó en el macizo rocoso ligera humedad.

4.1.7. RMR en relación calidad del macizo rocoso

Tabla 20. Clasificación geomecánica

Clasificación geomecánica- RMR												
Tramo inicial	Tramo final	Estación	Resistencia a la compresión uniaxial	Rqd	Espaciamiento	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno	Descomposición	Filtración	Total
55+100 km	55+350 km	E-01	4	13	8	2	3	3	2	5	15	55
55+350 km	55+600 km	E-02	2	6	5	1	1	6	1	3	10	35
55+600 km	55+800 km	E-03	4	13	8	2	3	3	2	5	15	55
55+800 km	56+100 km	E-04	2	3	5	1	1	6	1	3	10	32

En la tabla se encuentran los valores totales obtenidos por cada parámetro estudiado, donde se consideró la guía clasificación del macizo rocoso (RMR), obteniendo los valores totales E-01 índice de calidad del macizo rocoso de 55 (siendo el índice de calidad de roca regular), E-02 índice de 35 (siendo el índice de calidad de roca pobre), E-03 índice de 55 siendo el (índice de calidad de roca regular) y para la E-04 índice de 32 (de acuerdo con el índice de calidad, es roca pobre).

Tabla 21. Calidad de macizo

Tramo inicial	Tramo final	Estación	I 81-100 Muy buena roca	II 61-80 Buena roca	III 41-61 Roca regular	IV 40-21 Roca pobre	V <21 Roca muy pobre
55+100 km	55+350 km	E-01					
55+350 km	55+600 km	E-02					
55+600 km	55+800 km	E-03					
55+800 km	56+100 km	E-04					

4.1.8. Comportamiento del tipo de roca mediante ensayo

Tabla 22. Tipo de macizo rocoso por tramo de estudio

Tramo inicial	Tramo final	Estación	Clase de roca
55+100 km	55+350 km	E-01	Caliza
55+350 km	55+600 km	E-03	Limolita
55+600 km	55+800 km	E-02	Lutita verde
55+800 km	56+100 km	E-04	arenisca feldespática

Se realizó este objetivo con las muestras obtenidas en campo, en el laboratorio. Se determinó que existe una clasificación de macizo rocoso en las estaciones de estudio.

De las muestras traídas a laboratorio, como se muestra en el anexo correspondiente, como primer procedimiento fue realizar la perforación diamantina, obteniendo testigos. Se siguió la norma American Society for Testing and Materials (ASTM).

- Razón largo/ ancho de la probeta 2 – 3
- Extremos sin grietas.
- Ancho muestra >10 veces el tamaño.

Este ensayo se aplica de forma gradual a un cilindro de roca, hasta que se produzca la rotura de la muestra.

Obteniendo mediante un informe por cada muestra de estudio que se envió a analizar, lo siguiente:

Tabla 23. Resultados obtenidos - laboratorio

Ítem	Elemento Estructura	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Tipo de rotura	Carga KN	Carga Kg	Área mm ²	Volumen mm ³	Densidad g/cm ³	Resistencia Mpa
1	M-01	54	120	770.4	3	75.52	7753.8	2290	274827	2.80	32.98
1	M-02	54	120	610.3	3	14.55	1489.3	2290	274827	2.22	6.35
1	M-03	54	120	731.3	3	71.83	7311.9	2290	274827	2.66	31.37
1	M-04	54	120	610.5	3	14.68	1489.3	2290	274827	2.22	6.41

Se detalló lo obtenido en laboratorio, considerando la resistencia que es un parámetro que define la resistencia a la compresión del material, siendo para la muestra M-01 con resistencia de 32.98 MP, muestra M-03 tiene 31.37MPa., siguiendo de las muestras M-02 y M-04 siendo 6.35 Mpa y 6.41 Mpa respectivamente, de resistencia a la compresión.

4.1.9. Esclerómetro

Este ensayo fue desarrollado por Ernst Schmidt. El esclerómetro utiliza un resorte que registra la cantidad de energía que impulsa la masa de estudio. Para ello, se consideraron las densidades obtenidas de las muestras, así como el peso específico, de acuerdo con la normativa ASTM C805. Esta normativa toma en cuenta la orientación del martillo respecto al plano de ensayo y la densidad.

Para realizar el ensayo de compresión simple, primero se determinan las densidades de las muestras de roca, lo que equivale al peso específico, para luego calcular la resistencia a la compresión uniaxial de la roca.

$$\rho = \frac{\omega_s}{V_{sólido}} \frac{gr}{cm^3}$$

Donde:

- ρ : peso específico.
- ω_s : peso de la muestra
- $V_{sólido}$: Volumen de la muestra

El peso específico se calcula midiendo el volumen de la muestra en una probeta. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 24. Aplicación del principio de Arquímedes

N° de estación	Tipo de roca	Masa (g)	Volumen	Peso específico	Promedio peso específico G/CM3	Promedio peso específico km/m ³
E-01	Caliza	104	42	2.48	2.42	24.24
		83	35	2.37		
E-02	Limolita	29	13	2.23	2.55	25.53
		11.5	4	2.88		
E-03	Lutita verde	53	23	2.30	2.32	23.19
		42	18	2.33		
E-04	arenisca feldespática	29.87	16	1.87	2.32	23.16
		19.35	7	2.76		

Mediante el uso del martillo Schmidt o esclerómetro, se consideraron 10 datos y se promediaron de acuerdo con la Norma ASTM D5873, la cual establece los procedimientos para determinar la resistencia del macizo rocoso utilizando el martillo de rebote.

Tabla 25. Resultados de prueba de Martillo

N° estación	Tipo de roca	Valores	Promedio
		Obtenidos con el martillo	
E-01	Caliza	59.4	60.426
		56.45	
		61.24	
		57.95	
		60.24	
		61.56	
		63.57	
		51.74	
		64.53	
		67.58	
E-02	Limolita	28.56	38.628
		34.56	
		47	
		38.65	
		31.58	
		43.58	
		39.52	
		44	
		37.83	
		41	
E-03	Lutita verde	68.42	57.187
		42.35	
		51.45	
		62.75	
		58.96	
		63.47	
		48	
		54	
		57.89	
		64.58	
E-04	arenisca feldespática	37.52	38.31353
		44	
		37	
		40.74	
		33.87	
		40.12	
		34.5	
		37	
		40.89	
		37.5	

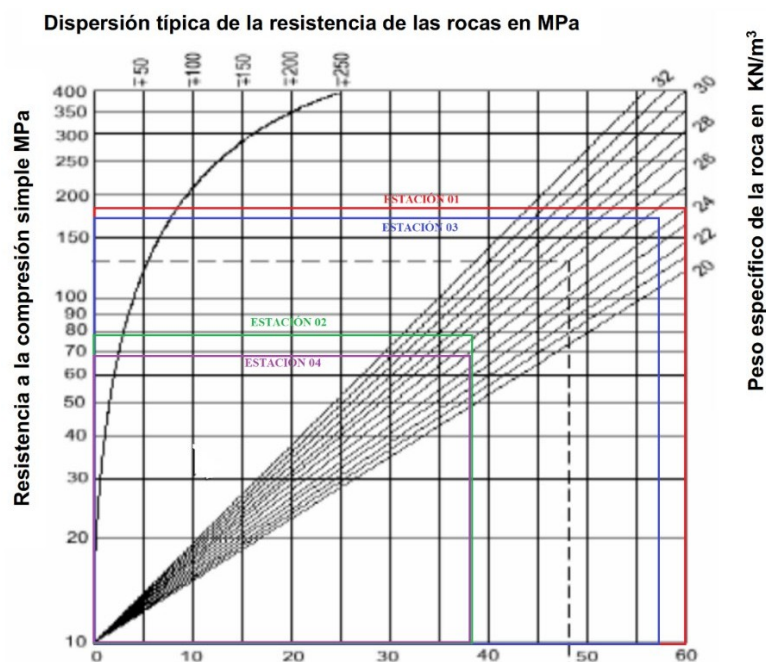


Figura 19. Grafica según Miller y Derre

Siendo de tal forma, que, de acuerdo con la gráfica anterior, donde se interceptan los pesos específicos- y los datos del esclerómetro se obtuvo:

Tabla 26. Resultados del gráfico

Nº estación	Tipo de roca	Resistencia compresión uniaxial (Mpa)
E-01	Caliza	191 Mpa
E-02	Limolita	78 Mpa
E-03	Lutita	168 Mpa
E-04	Arenisca feldespática	65 Mpa

Tabla 27. Ubicación en la valoración del macizo rocoso

Clase	Descripción	Resistencia compresión simple		Estaciones según los resultados
		MPa	kg/cm³	
A	Resistencia muy alta	>225	>2250	
B	Resistencia alta	112-225	1120-2250	E-01 y E-03
C	Resistencia media	56-112	560-1120	E-02 y E-04
D	Resistencia baja	28-56	280-560	
E	Resistencia muy baja	<28	<280	

Según Miller y Derre (1996), la ubicación en la valorización de las estaciones es: para la E-01 y E-03 una resistencia alta (112-225) MPa y para las estaciones E-02 y E-04, las cuales presentan mayor riesgo de derrumbe, muestran resistencia media (56-112) MPa.

4.1.10. Hoek/Brown y Mohr-Coulomb

Se utilizó para este criterio de rotura, el software RocDATA (paquete de Rocscience), para cada estación de estudio, donde se obtuvo

Tabla 28. Clasificación (Usando ROCDATA)

Tramo inicial	Tramo final	Estación	Hoek Crown Clasificaron				Mohr Coulomb FIT		
			SIGSCI	GSI	mi	D	Cohesión	Ángulo de fricción	Módulo de deformación
55+100 km	55+350 km	E-01	191	54	11	1	0.567	54.36	-0.181
55+350 km	55+600 km	E-02	78	22	8	1	0.093	34.52	-0.017
55+600 km	55+800 km	E-03	168	39	8	1	0.192	48.68	-0.085
55+800 km	56+100 km	E-04	65	17	8	1	0.084	33.47	-0.014

Para poder encontrar el ángulo de reposo, se necesitó calcular el ángulo de fricción y cohesión, utilizando datos como el GSI (índice de resistencia geológica), peso específico y los resultados obtenidos de las muestras de estudio. Para ello, se aplicaron los criterios de Mohr-Coulomb y Hoek-Brown, y los datos fueron ingresados al software RocData, donde se consideraron únicamente los parámetros específicos como el ángulo de fricción, la cohesión y el GSI para obtener los resultados finales.

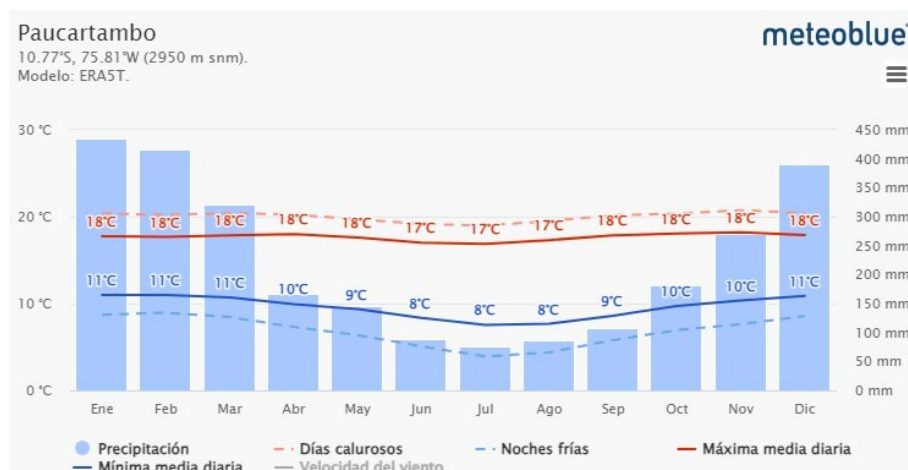


Figura 20. Niveles de lluvia en la zona
Tomada de www.MeteoBlue.com

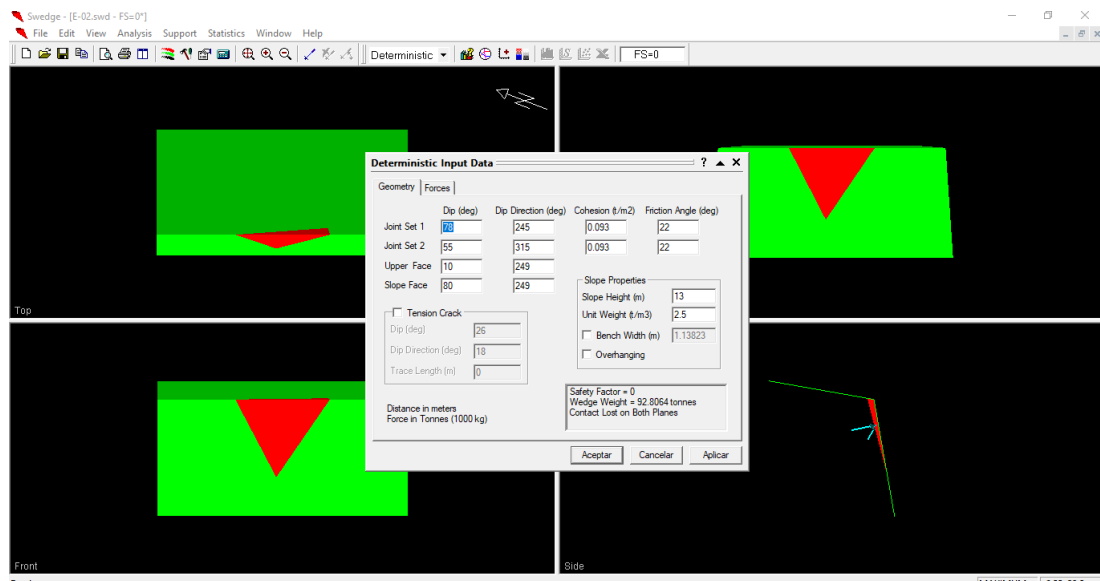


Figura 21. RocData E-02

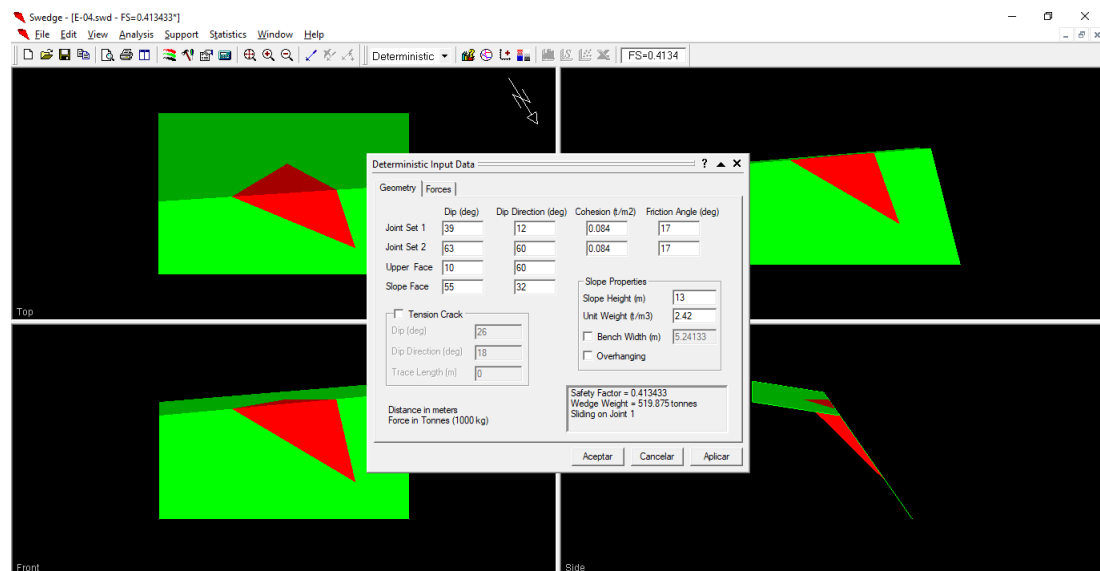


Figura 22. RocData E-04

Los resultados añadiendo presión por agua del programa se muestran a continuación:

Tabla 29. Estaciones de estudio- factor de seguridad

Estación	Tipo de análisis	Factor de seguridad	Altura (m)	CUÑA					
				Ancho(m)	Volumen (m ³)	Peso (toneladas)	Área Join1 (m ²)	Área Join2 (m ²)	Área de cuña pendiente
E-02	Determinístico	0.0	13.0	2.10135	15.852	40.106	29.7522	15.1972	6.4865
E-04	Determinístico	0.41334	10.0	14.418300	244.853	656.060	182.6160	171.4070	69.5447

De acuerdo con las muestras estudiadas y la técnica de observación in situ, se ingresaron al software Swedge solo las dos áreas de estudio. Para la estación E-02 se obtuvo un factor de seguridad de 0, mientras que para la estación E-04 el factor de seguridad fue de 0.395, confirmando la hipótesis de que en los tramos de estudio E-02 y E-04 existe deslizamiento de roca, de acuerdo con los datos ingresados.

4.1.11. Elección de la propuesta para Soporte de talud, del km 55+00 – km 56+1

Se estableció el parámetro de costos para considerar el método de soporte adecuado en función de las estaciones de estudio y los resultados obtenidos a través de los estudios geomecánicos, aplicando la guía de Clasificación Geomecánica RMR y los análisis de laboratorio, así como los factores de seguridad en cada una de ellas. Para ello, primero se debe determinar el área que requiere la adición del soporte, siendo las estaciones de estudio E-02 y E-04 donde se evidenció, a través de la observación directa, deslizamiento del macizo rocoso.

Se estableció un área total para la estación de estudio E-02 de 2600 m² con una altura de 13 m, mientras que para la estación E-04 se encontró un área total de 3000 m² con una altura de 10 m. A continuación, se determinaron los métodos de soporte correspondientes a cada área de estudio.

Tabla 30. Datos de las estaciones que quieren refuerzo

Tabla 6. Datos de las estaciones que quisiere registrar									
N° estación	Tramo inicial	Coordenadas		Tramo final	Coordenadas		Distancia	Altura	Área total
		UTM PSAD56			UTM PSAD56				
		Este	Norte		Este	Norte			
E-02	55+350 km	696116.3	9284851.89	55+600 Km	696178.3	9284931.89	200 m	13m	2600 m²
E-04	55+800 km	696178.3	9284931.89	56+100 km	695938.3	9285086.89	300 m	10m	3000 m²

- **Método elegido para soporte de talud**

Mediante la aplicación de los instrumentos de recolección de datos, en relación con la inestabilidad de taludes, se determinó que los métodos de soporte más adecuados son las mallas metálicas y el hormigón o concreto lanzado. Cada método fue detallado con sus especificaciones técnicas y los costos correspondientes.

Tabla 31. Soportes recomendados

Método de soporte	Condición	Efecto	Especificaciones técnicas
Mallas metálicas	Rocas fracturadas	Estabilización y refuerzo superficial	La función de este tipo de soporte es mantener la superficie sometida a erosión, filtraciones, entre otros, resultando en una mejora del deslizamiento del macizo rocoso en la zona de estudio. La malla será fijada en el terraplén por medio de correas de anclaje, culminando finalmente en el pie del terraplén con barras de acero y jaulas metálicas en forma cúbica, reservadas con material pétreo.
Hormigón lanzado (concreto)	Inestabilidad	Estabilización	Hormigón proyectado, $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (21 MPa), una exposición a ciclos de congelación-descongelación, una exposición a sulfatos despreciable, sin necesidad de permeabilidad, un tamaño máximo de árido de 19 mm.

A continuación, se presentan los presupuestos propuestos para ambos tipos de soportes.

Tabla 32. Presupuesto método 1, E-02

Área de 2600 m²						
Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario		Precio total	
Materiales						
m²	Malla Galvanizada 2.5 x 40 x 3.43	26	S/	650.00	S/	16,900.00
	Barra de Acero Corrugado 3/8" x 9m 1/2"-9	24	S/	22.50	S/	540.00
		24	S/	40.00	S/	960.00
Subtotales materiales:					S/	18,400.00
Equipos						
h	Camión con cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo y 260 kg de carga máxima.	18	S/	480.00	S/	8,640.00
Subtotal equipos:					S/	8,640.00
Mano de obra						
1xh	Ingeniero civil	8	S/	250.00	S/	2,000.00
1xh	Ingeniero Seguridad y Salud	18	S/	100.00	S/	1,800.00
5xh	Obrero	18	S/	50.00	S/	4,500.00
Subtotal mano de obra:					S/	8,300.00
Herramientas y otros						
Nº	Herramientas	-	S/	3,000.00	S/	3,000.00
	otros		S/	2,000.00	S/	2,000.00
Subtotal herramientas y otros:					S/	5,000.00
TOTAL					S/	40,340.00

Tabla 33. Presupuesto método 2, E-04

Área de 3000 m²						
Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario		Precio total	
Materiales						
m²	Malla Galvanizada 2.5 x 40 x 3.43	30	S/	650.00	S/	19,500.00
	Barra de Acero Corrugado 3/8" x 9m 1/2"-9	28	S/	22.50	S/	630.00
		28	S/	40.00	S/	1,120.00
Subtotales materiales:					S/	21,250.00
Equipos						
h	Camión con cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo y 260 kg de carga máxima.	20	S/	480.00	S/	9,600.00
Subtotal equipos:					S/	9,600.00

Mano de obra						
1xh	Ingeniero civil	8	S/	250.00	S/	2,000.00
1xh	Ingeniero Seguridad y Salud	18	S/	100.00	S/	1,800.00
7xh	Obrero	18	S/	50.00	S/	6,300.00
Subtotal mano de obra:					S/	10,100.00
Herramientas y otros						
N°	Herramientas	-	S/	4,000.00	S/	4,000.00
	otros		S/	3,000.00	S/	3,000.00
Subtotal herramientas y otros:					S/	7,000.00
TOTAL					S/	47,950.00

Tabla 34. Presupuesto método 2, E-02

Estación de estudio E-02					
Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario		Precio Total
Materiales					
m3	Resistencia de diseño f'c = 210 kg/cm² (21 MPa). No está expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo, no requiere especificaciones de permeabilidad y no está expuesto a cloruros. El tamaño máximo del agregado es de 19 mm.	250	S/	41.25	S/ 78,356.00
Subtotales materiales:					S/ 78,356.00
Equipos					
20xh	Maquinarias	18	S/	8.00	S/ 2,880.00
Subtotal equipos:					S/ 2,880.00
Mano de obra					
1xh	Residente	8.00	S/	250.00	S/ 2,000.00
1xh	Super. SSOMA	18.00	S/	100.00	S/ 1,800.00
5xh	Operarios	18	S/	50.00	S/ 4,500.00
Subtotal mano de obra:					S/ 8,300.00
Herramientas y otros					
Nº	Herramientas	-	S/	1,200.00	S/ 1,200.00
	costo indirecto	-	S/	1,500.00	S/ 1,200.00
Subtotal Herramientas y otros:					S/ 2,400.00
TOTAL					S/ 90,736.00

Tabla 35. Presupuesto método 2, E-04

Estación de estudio E-04						
Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario		Precio Total	
Materiales						
m3	Resistencia de diseño f'c = 210 kg/cm² (21 MPa). No está expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo, no requiere especificaciones de permeabilidad y no está expuesto a cloruros. El tamaño máximo del agregado es de 19 mm.	280	S/	345.10	S/	96,628.00
Subtotales materiales:					S/	96,628.00
Equipos						
22xh	Maquinarias	18	S/	8.00	S/	3,168.00
Subtotal equipos:					S/	3,168.00
Mano de obra						
1xh	Residente	8.00	S/	250.00	S/	2,000.00
1xh	Super. SSOMA	18.00	S/	100.00	S/	1,800.00
7xh	Operarios	18	S/	50.00	S/	6,300.00
Subtotal mano de obra:					S/	10,100.00
Herramientas y otros						
Nº	Herramientas	-	S/	1,500.00	S/	1,500.00
	costo indirecto	-	S/	1,800.00	S/	1,800.00
Subtotal herramientas y otros:					S/	3,300.00
TOTAL					S/	111,696.00

Tabla 36. Resumen de presupuestos

Nº estación	Tramo inicial	Tramo final	Método de soporte	
			Mallas metálicas	Concreto
E-02	55+350 km	55+600 km	S/ 40,340.00	S/ 98,655.00
E-04	55+800 km	56+100 km	S/ 47,950.00	S/ 111,696.00

Asimismo, los costos se determinan de acuerdo con cada estado de estudio. Por ejemplo, para el estado E-02, que requiere soporte, se consideraron mallas metálicas de S/. 40,340.00 y concreto vaciado por S/. 98,655.00; para el estado E-04, en cambio, se consideró el costo de S/. 47,950.00 y el correspondiente concreto vaciado por S/. 111,696.00. Examinándose de esta manera qué mallas metálicas para las áreas serían el método más apropiado en términos de costos.

4.2. Discusión de resultados

Para desarrollar este trabajo de investigación, se consideraron los antecedentes en el área de estudio, los pequeños deslizamientos son causados por fuertes lluvias, la baja calidad del macizo rocoso (roca pobre) y diversos factores geomecánicos y geotécnicos, lo que ha resultado en la interrupción del paso vehicular y ha afectado a la comunidades cercanas, por ello, el objetivo principal planteado fue realizar un análisis geomecánico para determinar el método de soporte adecuado que permita controlar el talud en la carretera El Milagro – Santa Isabel KM 55+100, Monopata, Paucartambo.

Una vez realizados los trabajos de campo que permitieron obtener datos, se confirmó que el estudio geomecánico adecuado puede identificar el método de soporte necesario para el talud en el tramo KM 55+100 de la carretera El milagro – Santa Isabel, Paucartambo. A través del análisis de la clasificación geomecánica, se identificaron los tipos de roca presentes en el área de estudio, encontrándose roca regular y roca pobre. Esto confirma la investigación Fruzzetti (8), quien se encontró que las estrategias de diseño orientadas a reducir y, posiblemente, evitar las liberaciones de estrés en la zona de influencia eran las más efectivas para prevenir fallas o restaurar la seguridad después de la ocurrencia de un evento de falla. Finalmente, se confirmó la existencia de áreas vulnerables mediante un análisis geológico-geotécnico basado en la clasificación de Bieniawski.

Además, mediante la recolección de datos *in situ* con una brújula, se obtuvieron el buzamiento y la dirección de buzamiento, lo que permitió identificar, utilizando el software DIPS (paquete de Rocscience), los tipos de fallas y las familias de discontinuidades en cada estación de estudio. Así, se determinó que las estaciones E-02 y E-04 presentaban fallas por cuña, mientras que las estaciones E-01 y E-03 eran estables (sin fallas). Esto confirma lo descrito en la investigación de Arroyo y Rodrigo(15), quienes destaca la importancia de identificar las fallas mediante observación directa (in situ) con GPS o brújula, para luego procesar los datos en gabinete y determinar el tipo de falla en las áreas de estudio. Asimismo, se tiene consideración de las propuestas Carrión (5), quien en su investigación sugirió métodos para el sostenimiento de taludes, en los que adecuamos y seleccionamos los adecuados para este tramo estudiado.

Simultáneamente, se utilizaron guías de observación de campo, específicamente las guías de clasificación geomecánica (clasificación de Bieniaswki), que permitieron obtener un valor total para cada estación de estudio. Esto se logró mediante la sumatoria de los valores para determinar la calidad del macizo rocoso en cada estación. Esta clasificación ayuda a identificar

las propiedades de la roca y es fundamental para proyectos de ingeniería de gran envergadura. Además, los softwares del paquete de Rocscience (Slide, Dips, Unwedge) utilizados en la investigación son esenciales para la caracterización del macizo rocoso, ya que contribuyen a determinar la estabilidad del talud, considerando el factor de seguridad y los métodos de sostenimiento ante la inestabilidad del talud, donde encontramos E-01: Caliza 191 Mpa; E-02: Limolita 78 Mpa; E-03 Lutita 168 Mpa; E-04 Arenisca feldespática 65 Mpa. En caso de E-02 y E-04 presentan falla de cuña.

Vargas (2011) planteó, desde una perspectiva crítica, que los métodos de sostenimiento por malla y *shotcrete* son frecuentemente utilizados en diversos sectores, ya que se consideran métodos más factibles y de fácil aplicación en cuanto a tiempos. Esto permite que el factor de seguridad mediante el método de sostenimiento con *shotcrete* sea menor. Así se confirma lo descrito por los especialistas entrevistados, quienes también optaron por estos métodos de sostenimiento en las estaciones de estudio donde se presentó deslizamiento de material rocoso, siguiendo las guías de clasificación que indicaron que la roca era de muy baja calidad y, por tanto, requería sostenimiento. Por su parte, Quispe (11), corrobora lo antes expuesto, indicando que para determinar el método de sostenimiento en su investigación, los parámetros de resistencia de masa rocosa son: RMR = 40-50 puntos, GSI = 40-50, el factor de distrurbancia por voladura = 0.2, el módulo de deformación = 10GPa, y la resistencia a compresión uniaxial con valores que oscilan entre 5.05 a 12.31 MPa; de lo cual se considera pilares artificiales de 1.5 m, de ancho (Wp) con cámaras de 4 m de ancho (Wo), la altura máxima considerada para el corte es de 3 m y el método empleado en el análisis de estabilidad del pilar es el de Lunder y Pakalnis, con un factor de seguridad 1.05e.

También señaló la importancia de analizar el comportamiento lito morfoestructural en su investigación sobre una carretera, donde el alto grado de fracturamiento provocó fallas e inestabilidad de taludes. Para abordar esta problemática, aplicó el paquete de software Rocscience, utilizando Dips v.6 para identificar desprendimientos por rotura en cuña, y RocData para determinar las características del macizo, como el GSI y la resistencia a compresión simple. Finalmente, el software Slide se empleó para calcular los factores de seguridad y la zonificación de inestabilidad. En esta investigación, la problemática principal, el deslizamiento de macizo rocoso, fue abordada mediante los softwares Dips, RocDATA y Swedge del paquete Rocscience. Estos permitieron determinar las discontinuidades en las estaciones de estudio (E-01 y E-03 sin fallas, E-02 y E-04 con fallas por cuña) y calcular el factor de seguridad en E-02 y E-04, considerando la sismicidad y el clima de las áreas de estudio.

Finalmente, desde una perspectiva crítica, se concluyó que los softwares del paquete Rocscience son amplios, sencillos de aplicar y fundamentales para el análisis de la inestabilidad de taludes. Estos programas permiten el uso eficiente de las guías de clasificación geomecánica (RMR) y los datos obtenidos en laboratorio, siendo herramientas clave en diversas ramas de la ingeniería, como la civil, minera y geotécnica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. A través de los datos obtenidos *in situ*, con la medición del buzamiento, se identificaron las fallas geológicas presentes en las estaciones de estudio, siendo fallas por cuña en las estaciones E-02 y E-04, las cuales originan el deslizamiento del macizo rocoso.
2. En el estudio geomecánico, que tenía como objetivo determinar el método de soporte adecuado para el talud, se concluyó que, se pudo deducir la condición del macizo rocoso en las diferentes estaciones de estudio. En las estaciones E-01 y E-03 se identificó una roca de calidad alta, clasificada como macizo rocoso tipo III, con un rango de 41-61 según la clasificación geomecánica. Por otro lado, en las estaciones E-02 y E-04, el macizo rocoso se clasificó como tipo IV, con un rango de 21-40.
3. A través de los ensayos realizados en el laboratorio GSE, se identificó el tipo de roca existente en cada estación de estudio. En la estación E-01 se encontró caliza, en la E-02 limolita, en la E-03 lutita verde y en la E-04 arenisca feldespática, todas rocas de origen sedimentario.
4. También se consideró el factor fluvial para determinar el factor de seguridad donde E-02 tiene 0, y E -04 tiene 0.42, lo que indicaría el en área de estudio es requerido un sistema de sostenimiento. Se propusieron métodos de sostenimiento adecuados en términos de tiempo y costos, como las mallas galvanizadas y el *shotcrete*.

5.2 Recomendaciones

1. Se sugiere implementar anclajes o refuerzos estructurales en las áreas afectadas por fallas para prevenir deslizamientos y garantizar la estabilidad del terreno.
2. Se recomienda utilizar sistemas de soporte más robustos en las estaciones E-02 y E-04, como contenciones reforzadas y drenajes adecuados, para mejorar la estabilidad del macizo rocoso en esas zonas.
3. Es aconsejable adaptar los métodos de excavación y sostenimiento según el tipo de roca en cada estación, considerando técnicas específicas para áreas con lutita y limolita debido a su mayor susceptibilidad a la meteorización.
4. Se propone priorizar la instalación de sistemas de sostenimiento como mallas galvanizadas o *shotcrete* en las estaciones con bajos factores de seguridad, comenzando por E-02 y luego extendiendo la medida a E-04.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SACKSCHEWSKI, Carlos. Soluciones para la estabilidad de taludes de la carretera Canta -Huayllay entre las progresivas del km 102 al km 110. Tesis (Título de Ingeniero Geólogo). Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2017.
2. ALVA, Daniel y CONTRERAS, Lenin. Diseño de estabilidad del talud mediante los softwares Slide y Plaxis en la carretera PE-10A sector Plazapampa en el año 2021. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Trujillo : Universidad Nacional de Trujillo, 2019.
3. ARROYO, José y RODRIGO, Willian. Estudio geomecánico para determinar el tipo de sostenimiento adecuado de los taludes en la carretera Trujillo-Otuzco km10+000 al km15+000. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Trujillo: Universidad Cesar Vallejo, 2020.
4. CARRIÓN, Carlos. Análisis y diseño de la estabilidad de talud en el sector Sausacocha – Pallar km 8+000 al 9+000 provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad, 2017. Tesis (Título de Ingeniero Civil Ambiental). Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2019.
5. OSINERGMIN. *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión, y cierre de labores subterráneas*. Lima : GOB.PE, 2017.
6. OJEDA, Kelly. Estabilización de taludes a través de pernos de anclaje en la rehabilitación y mejoramiento de la carretera Mollepata - Pallasca. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo : UPLA, 2019.
7. MONTE, Ignacio. Análisis de estabilidad de taludes de roca mediante el método de elementos finitos. Tesis (Máster en Ingeniería Geológica y Minera). Chile: Universidad de Concepción, 2020. .
8. FRUZZETTI, Vivienne. *Design Strategies to Mitigate Slope Instabilities in Structurally Complex Formations*. s.l. : Geociencias., 2022.
9. MESA, Milena, ÁLVAREZ, José y CHÁVEZ, Jorge. Evaluación del factor de seguridad en taludes de terraplenes carreteros altos ante carga sísmica. *Nuevo León : Revista de Ingeniería Sísmica*, No. 103, 1-17, 2020.
10. GONZÁLEZ, Luis. *Ingeniería Geológica*. Madrid : Person Educación, 2002
11. QUISPE, Darwin. Evaluación del factor de seguridad en taludes para la determinación del sistema de sostenimiento, carretera Huaypo Grande - Chinchero — Urubamba. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Cusco : Universidad César Vallejo, 2021.
12. HIZARRA, Jorge, LOPEZ, Eduardo y NAVARRO, Francis. Evaluación geomecánica del macizo rocoso para determinar el ángulo de reposo del talud, carretera tramo San Antonio

- puente Chiquiacc, Huancavelica-2021. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Continental, 2021.
13. ACOSTA, Irwin y BARÓN, Hans. Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape- Lambayeque. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Lambayeque : Universidad César Vallejo, 2019.
 14. FIGUEROA, Richard. Estudio geomecánico para el método de soporte del talud KM30+00 La Muchala- San Juan de Licupis, Chota. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Chiclayo : Universidad Cesar Vallejo, 2023
 15. RAMÍREZ, Pedro y ALEJANO, Leandro. *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. Lima : s.n., 2021.
 16. SUÁREZ, Jaime. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga : Ingeniería de Suelos Ltda, 1998.
 17. TURPO, Jaime. Determinación de los parámetros geométricos del talud, para garantizar la estabilidad del tajo superficial del área de explotación en la unidad minera Moises Randy 2010. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Moquegua : Universidad Nacional de Moquegua,, 2018.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de operacionalización

Variables	Definición	Dimensión	Indicadores
VARIABLE INDEPENDIENTE - ESTUDIO GEOMECÁNICO	(14) expresan que el análisis geomecánico tiene como finalidad evaluar la resistencia de los materiales frente a los esfuerzos o actividades dirigidas a ellos, su caracterización y finalmente determinar cuál es las características del macizo rocoso.	Sistema de clasificación.	Índice de Calidad de la Roca (RQD), Clasificación del macizo rocoso (RMR) e Índice de Resistencia Geológica (GSI)
VARIABLE DEPENDIENTE - MÉTODO DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD	(15) mencionan que el método de estabilización de talud se debe efectuar su estudio para verificar si se encuentra en adecuadas condiciones de estabilidad o posible inestabilidad, por lo tanto, conlleva un adecuado proyecto de construcción.	Medidas de estabilización	Factor de seguridad, Shotcrete, Mallas mecánicas y Económica.

Anexo 2
Instrumentos de recolección de datos

N° ESTACIÓN	TRAMO INICIAL	COORDENADAS UTM PSAD56		TRAMO FINAL	COORDENADAS UTM PSAD56		DISTANCIA
		ESTE	NORTE		ESTE	NORTE	

N° ESTACIÓN	TRAMO INICIAL	TRAMO FINAL

TRAMOS DE ESTUDIO			FAMILIA DE DISCONTINUIDADES				PENDIENTE DEL TALUD	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO	TIPO DE ROTURA
N° ESTACIÓN	TRAMO INICIAL	TRAMO FINAL	FAM 01	FAM 02	FAM 03	FAM 04			

Clasificación RMR Geomecánica de Bieniawski 1989: Parámetros de clasificación

PARAMETRO			ESTIMACION Y ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Carga puntual MPa↕ Kg/cm² (aprox)↕	> 10 100	4 – 10 40 – 100	2 – 4 20 – 40	1 – 2 10 – 20	Únicamente Compresión Simple		
		Compr. Simple MPa↕ Kg/cm² (aprox)↕	> 250 >2 500	100 – 250 1 000-2 500	50 – 100 500 – 1 000	25 – 50 250 – 500	5-25 50-250	1-5 10-50	<1 <10
		Valoración	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD %		90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25		
		Valoración	20	17	13	8	3		
3	Separación de discontinuidades		> 2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m		
		Valoración	20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades (ver guía especial)	Muy rugosas. Discontinuas. Sin separaciones. Borde sano y duro	Ligeramente rugosas. Abertura <1 mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas. Abertura<1 mm. Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o aberturas 1 – 5 mm. Discontinuas continuas.	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Discontinua Continua	> 5 mm o abertura > 5 mm		
		Valoración	30	25	20	10	0		
5	Presencia de agua	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 – 25 L/min	25 – 125 L/min	>125 L/min		
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w / σ_1	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración	15	10	7	4	0			
Corrección por orientación de las discontinuidades (ver guía especial)									
6	Dirección y Buzamiento		Muy favorable	Favorable	Medio o regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
	Valoración para	Túneles	0	- 2	- 5	- 10	- 12		
		Cimentación	0	- 2	- 7	- 15	- 25		
		Taludes	0	- 5	- 25	- 50	- 60		

Guía especial para valorar el factor 4. Valoración del estado de las discontinuidades.

Parámetro	Valoración				
Longitud de la discontinuidad (Persistencia)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
	6	4	2	1	0
Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
	6	5	3	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	6	5	3	1	0
Relleno	Ninguno	Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando
		< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Muy alterado	Descompuesto
	6	5	3	1	0

N° Estación	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	DATOS INSITU	VALOR

N° Estación	JV	RQD (FORMULA)	CALIDAD	INDICE DE CALIDAD	VALOR

Anexo 3
Matriz de morfológica

Parámetro	Variaciones	Descripción	Métodos y Comparación
Estudio Geomecánico	Sí / No	¿Se realizó un estudio geomecánico en la zona?	Método de Fellenius/Petterson: Superficies de Falla Circulares. Fuerzas Actuantes en Cada Dovela. Momento Deslizante y Momento Resistente. Factor de Seguridad (FS). Método Simplificado de Bishop: Momento Resistente.
Geología Local	Conocida / Desconocida	¿Se conoce la geología local y las discontinuidades en el área de estudio?	
Inestabilidad del Macizo Rocoso	Alta / Moderada / Baja	¿Se determinó la inestabilidad del macizo rocoso mediante clasificaciones geomecánicas?	
Comportamiento del Tipo de Roca	Analizado / No Analizado	¿Se evaluó el comportamiento del tipo de roca existente en Monopata?	
Métodos de Soporte	Anclajes / Mallas / Drenajes / Otros	¿Qué métodos de soporte se consideran para estabilizar el talud?	

Anexo 4

Matriz de consistencia

Estudio geomecánico para el método de estabilización de talud en Paucartambo, Pasco				
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente	Metodología
¿Como el estudio geomecánico influye en el método de estabilización de talud en Paucartambo, Pasco?	Elaborar el estudio geomecánico para determinar la influencia en el método de estabilización de talud en Paucartambo, Pasco.	El estudio geomecánico influye positivamente en el método de estabilización de talud en Paucartambo, Pasco.		Método: Científico Tipo: Aplicada Nivel: Explicativo
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		Diseño: Experimental Cuantitativo
¿Conocer la geología regional y local de la zona para hallar discontinuidades de del área de estudios?	Describir y evaluar la geología local, mediante toma de data in situ el buzamiento y dirección de buzamiento de las discontinuidades de del área de estudios.	Se conocerá la geología local mediante toma de data in situ el buzamiento y dirección de buzamiento de las discontinuidades del área de estudio.	Estudio geomecánico	Población: Está conformada por el KM 50+100 de la carretera Paucartambo - Monopata Muestra: Puntos de control que estará ubicado en tramo KM 50+100 en un tramo de 100 metros
¿Conocer la inestabilidad del macizo rocoso mediante las aplicaciones de las clasificaciones geomecánicas?	Determinar la inestabilidad del macizo rocoso mediante las aplicaciones de las clasificaciones geomecánicas.	Se clasificará mediante geomecánica la inestabilidad del macizo rocoso.	Variable dependiente	Técnicas: Análisis documental, Observación de campo Instrumentos: Guía de análisis documental, Guía de observación de campo.
¿De qué manera conocer el comportamiento del tipo de roca que existe en Monopata?	Analizar el comportamiento del tipo de roca que existe, mediante los resultados que los ensayos de mecánica de suelos encontrar la resistencia del macizo rocoso y proponer medidas de sostenimiento.	Se interpretará el comportamiento de la roca, mediante mecánica de suelos, para la medida de sostenimiento.	Método de estabilización de talud	Excel, SPSS V.29,

Anexo 5

Glosario

1. Estudio Geomecánico:

- **Definición:** Es un análisis detallado de las propiedades mecánicas y geológicas de un terreno o macizo rocoso. Se utiliza para comprender su comportamiento ante cargas, movimientos y estabilidad.
- **Objetivo:** Evaluar la resistencia, deformabilidad y comportamiento del suelo o roca en función de las condiciones geológicas y las cargas aplicadas.

2. Talud:

- **Definición:** Una superficie inclinada o pendiente en un terreno, como una ladera o un muro de excavación.
- **Estabilización de Talud:** El proceso de prevenir o mitigar el colapso o deslizamiento de un talud mediante técnicas de ingeniería.

3. Discontinuidades:

- **Definición:** Son planos o superficies de debilidad en el macizo rocoso. Pueden ser fallas, juntas, estratos o fracturas.
- **Importancia:** Las discontinuidades afectan la estabilidad del talud y deben ser identificadas y evaluadas en el estudio geomecánico.

4. Clasificaciones Geomecánicas:

- **Definición:** Métodos para categorizar la calidad y la estabilidad del macizo rocoso. Ejemplos incluyen la clasificación RMR (Rock Mass Rating) y la Q-system.
- **Aplicación:** Ayudan a predecir el comportamiento del terreno y a seleccionar métodos de soporte adecuados.

5. Métodos de Soporte:

- **Definición:** Técnicas utilizadas para estabilizar taludes y prevenir deslizamientos. Algunos ejemplos son anclajes, mallas, drenajes, muros de contención y vegetación.
- **Selección:** Se basa en el análisis geomecánico y las condiciones específicas del sitio.

6. Buzamiento:

- **Definición:** El ángulo de inclinación de una capa de roca o estrato en relación con la horizontal.
- **Relevancia:** El buzamiento influye en la estabilidad de los taludes y en la dirección de las discontinuidades.

7. Inestabilidad del Macizo Rcoso:

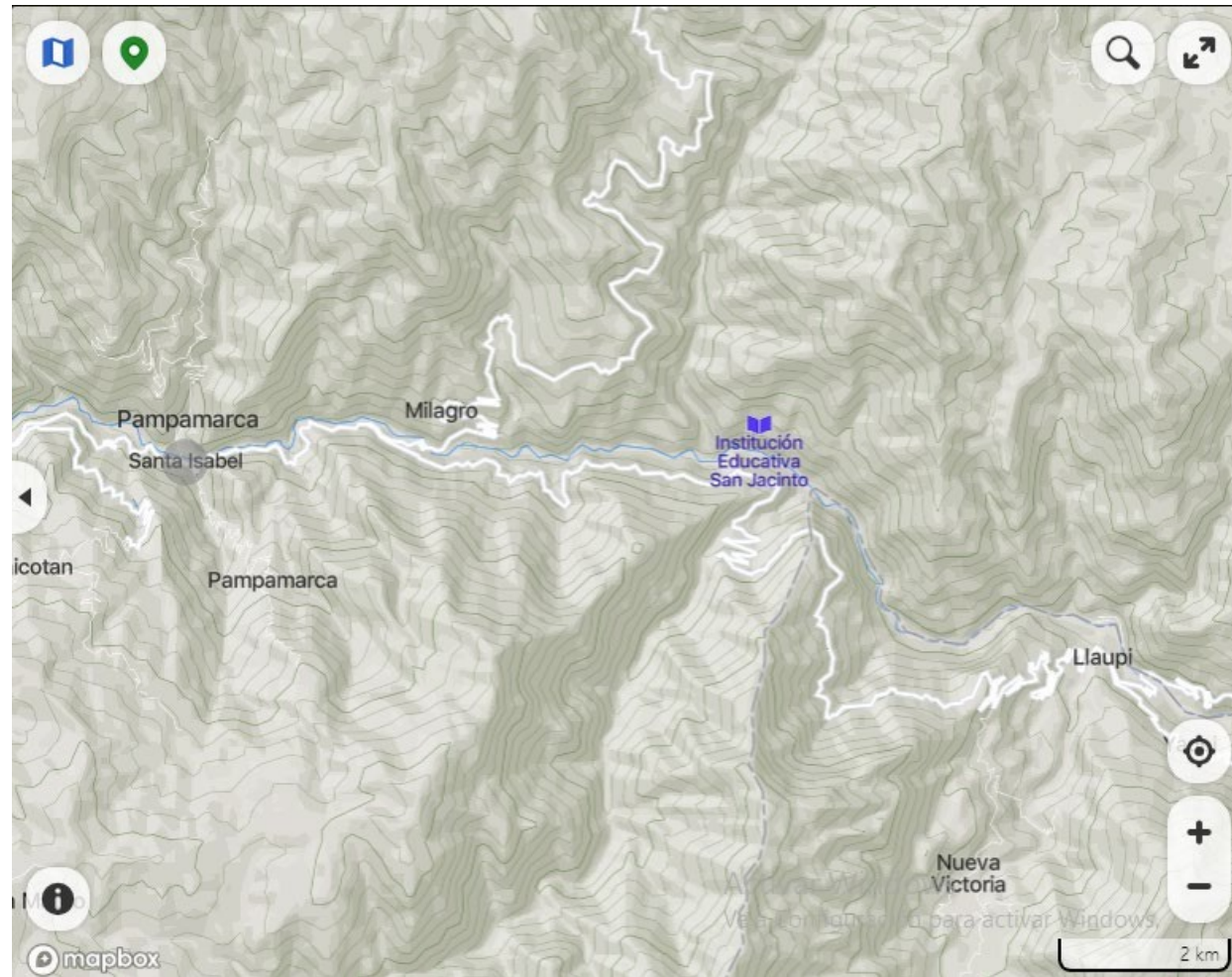
- **Definición:** La susceptibilidad del terreno a deslizamientos, colapsos o deformaciones.
- **Evaluación:** Se realiza mediante análisis geomecánico y observación in situ.

8. Geología Local:

- **Definición:** El estudio de las características geológicas específicas de un área determinada.
 - **Importancia:** Ayuda a comprender la formación geológica, la presencia de fallas y la distribución de las rocas.
9. **Equilibrio Límite:**
- **Definición:** Es el estado en el que las fuerzas internas y externas en un talud están en equilibrio. Se evalúa para determinar si el talud es estable o propenso a deslizamientos.
 - **Importancia:** El análisis del equilibrio límite ayuda a diseñar medidas de estabilización adecuadas.
10. **Pseudo-Estático:**
- **Definición:** Se refiere a las fuerzas que actúan sobre un talud en condiciones estáticas, como el peso propio del suelo y las cargas aplicadas.
 - **Aplicación:** El análisis pseudo-estático es fundamental para evaluar la estabilidad de taludes.
11. **Modelo Numérico:**
- **Definición:** Es un enfoque computacional para simular el comportamiento de un talud mediante métodos numéricos (por ejemplo, el método de elementos finitos).
 - **Uso:** Los modelos numéricos permiten predecir el comportamiento del talud ante diferentes condiciones y cargas.
12. **Rebanadas:**
- **Definición:** Se refiere a la división de un talud en segmentos verticales para analizar su estabilidad. Cada rebanada se considera como una unidad independiente.
 - **Método de Análisis:** El método de rebanadas se utiliza para calcular las fuerzas y momentos en cada segmento.
13. **Resistencia del Suelo o Roca:**
- **Definición:** La capacidad del material del talud para resistir las fuerzas aplicadas sin colapsar.
 - **Determinación:** Se evalúa mediante pruebas de laboratorio y análisis geotécnicos.
14. **Elementos Estructurales Resistentes:**
- **Definición:** Son componentes como anclajes, mallas, drenajes, muros de contención, etc., que se utilizan para fortalecer y estabilizar el talud.
 - **Implementación:** Estos elementos se diseñan según las condiciones específicas del sitio.
15. **Estabilidad de Taludes en Suelos y Rocas:**
- **Enfoque Diferenciado:** La estabilización de taludes varía según si el material es suelo o roca. Los métodos y consideraciones son distintos para cada caso.

Anexo 6

Plano



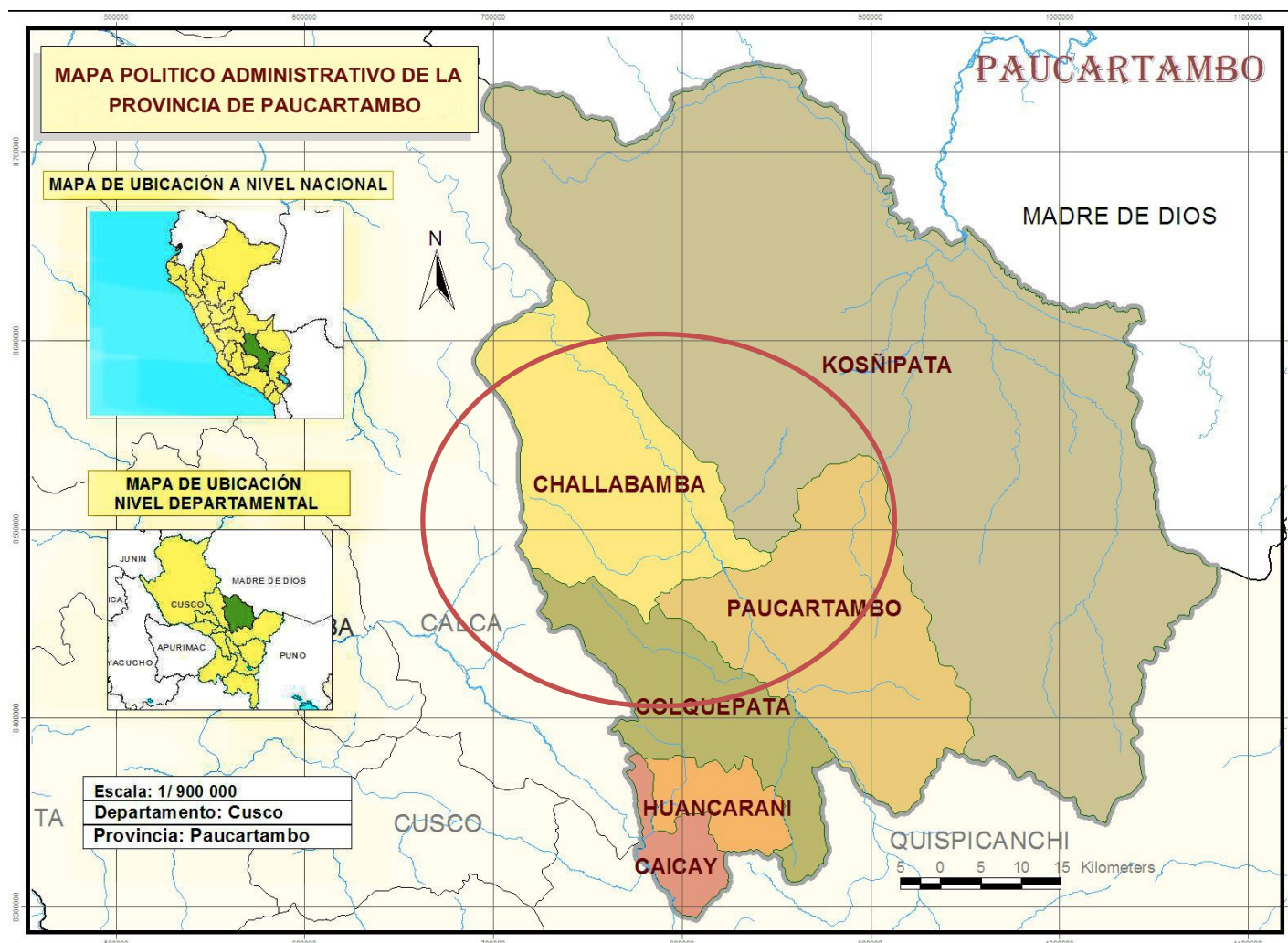


Figura 23. CP Monopata



Figura 24. Distritos de Paucartambo



Figura 25. Fotografía de la zona



Figura 26. Muestras en el laboratorio

		LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO										
		RESISTENCIA A LA COMPRESION TESTIGOS CILINDRICOS										
		NORMA ASTM C39 MTC E704										
TRATAMIENTO DE MUESTRAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA MEUSTRAS		TESIS: ESTUDIO GEOMECÁNICO Y SU INFLUENCIA EN EL MÉTODO DE ESTABILIZACIÓN DE TALUD EN PAUCARTAMBO, PASCO										
ELEMENTO (s)	DISEÑOS DE CONCRETO CONVENCIONAL	ROCA										
ITEM	ELEMENTO	Diámetro	ALTURA	PESO	TIPO DE ROTURA (*)	CARGA	CARGA	ÁREA	VOLUMEN	DENSIDAD	RESISTENCIA	RESISTENCIA
	ESTRUCTURA	(mm)	(mm)	(kg)		(KN)	(KG)	(mm2)	(mm3)	g/Cm3	Kg/Cm2	Mpa
1	M-01	54	120	770.4	3	75.52	7753.8	2290	274827	2.80	330.4	32.98
1	M-02	54	120	610.3	3	14.55	1489.3	2290	274827	2.22	64	6.35
1	M-03	54	120	731.3	3	71.83	7311.9	2290	274827	2.66	315	31.37
1	M-04	54	120	610.5	3	14.68	1489.3	2290	274827	2.22	65	6.41

FOTOS ESQUEMA DE FALLAS

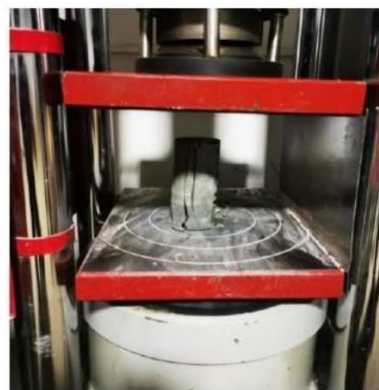


Figura 27. Resultados de laboratorio



