

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y DISEÑO DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL TRAMO DE CARRETERA KM 40+200 – KM 44+800, DESVÍO MICHICUILLAY-QUINUAMAYO, CAJAMARCA 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Geóloga



Autoras:

Eliana Lizbeth Mamani Leiva
Pamela Anali Pisco Salazar

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

- ✓ A Dios, por permitirme realizar este estudio, por darme la vida, la salud, y muchas de sus bendiciones recibidas.
- ✓ A mi madre, por haberme apoyado siempre, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha brindado para cumplir cada uno de mis objetivos trazados.
- ✓ A mi padre, quien con sus buenos consejos ha sabido guiarme por un buen camino, y me ha enseñado a luchar día a día para conseguir nuestros sueños.
- ✓ A mis hermanos, quienes me motivan a ser mejor cada día.
- ✓ A mis familiares, por ser un pilar muy importante en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a:

- ✓ La universidad Privada del Norte y en especial a la Facultad de ingeniería geológica por abrirnos las puertas y permitirnos lograr una formación profesional en ella.
- ✓ A los docentes de la carrera de ing. Geológica por todas sus enseñanzas brindadas durante estos 5 años de nuestra vida universitaria.
- ✓ Por último, agradecer a nuestro asesor, Daniel Alejandro Alva Huamán por su orientación y conocimientos compartidos que ha hecho posible elaboración de este trabajo.

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	10
RESUMEN.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	18
2.1. Tipo de investigación	18
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	18
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	19
2.4. Procedimiento	22
2.4.1 Etapa Pre Campo:.....	22
2.4.2. Etapa de Campo:	22
2.4.3. Etapa Post Campo:	23
2.4.3.1. Generalidades	26
2.4.3.1.3.1Plegamientos 28	
2.4.3.1.3.2Fallas 28	
2.4.4. Aspectos Éticos.....	31
CAPÍTULO III. RESULTADOS	32
3.1 Caracterización geomecánica del TALUD 01	32
3.1.1 Evaluación del RMR en el talud 01	32
3.1.2 Valoración GSI	37
3.1.3 Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown	38
3.1.4 Análisis cinemático	40
3.1.5 Factor de seguridad	43
3.2 Caracterización geomecánica del TALUD 02	44
3.2.1 Evaluación del RMR en el talud 02.....	44
3.2.2 Valoración GSI.....	49
3.2.3 Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown.....	50
3.2.4 Análisis cinemático	52
3.2.5 Factor de seguridad	55
3.3 Caracterización geomecánica del TALUD 03	56
3.3.1 Evaluación del RMR en el talud 03.....	56
3.3.2 Valoración GSI	62
3.3.3 Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown.....	63
3.3.4 Análisis cinemático	64

3.3.5	Factor de seguridad	67
3.4	Caracterización geomecánica del TALUD 04	69
3.4.1	Evaluación del RMR en el talud 04.....	69
3.4.2	Valoración GSI	74
3.4.3	Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown	75
3.4.4	Análisis cinemático	76
3.4.5	Factor de seguridad	78
3.5	Caracterización geomecánica del TALUD 05	79
3.5.1	Evaluación del RMR en el talud 05	79
3.5.2	Valoración GSI	85
3.5.3	Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown	86
3.5.4	Análisis cinemático	86
3.5.5	Factor de seguridad	89
3.6	Caracterización geomecánica del TALUD 06	90
3.6.1	Evaluación del RMR en el talud 06.....	90
3.6.2	Valoración GSI	95
3.6.3	Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown	96
3.6.4	Análisis cinemático	97
3.6.5	Factor de seguridad	99
3.7	Caracterización geomecánica del TALUD 07	100
3.7.1	Evaluación del RMR en el talud 07.....	100
3.7.2	Valoración GSI	106
3.7.3	Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown	107
3.7.4	Análisis cinemático	108
3.7.5	Factor de seguridad	111
3.8	Caracterización geomecánica del TALUD 08	112
3.8.1	Evaluación del RMR en el talud 08.....	112
3.8.2	Valoración GSI	118
3.8.3	Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown	119
3.8.4	Análisis cinemático	120
3.8.5	Factor de seguridad	122
3.9	DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y REFUERZOS FRENTE A LA INESTABILIDAD SUPERFICIAL DE TALUDES	126
3.9.1	Sistemas de protección para la estabilidad de taludes con mallas metálicas.....	126
3.9.2	Metraje calculado de cada talud.....	127
3.9.3	Estimación de costos para la aplicación de la malla metálica.....	127
3.9.4	Sistema de refuerzo para la estabilidad de taludes con cambio de topografía.....	131
3.9.4.1	Remodelación de la geometría del talud	131
3.9.4.2	Factor de Seguridad aplicando cambio de geometría del talud	131
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		133
4.1	Discusión.....	133
4.2	Conclusiones.....	134
REFERENCIAS.....		136
ANEXOS.....		138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros clasificación RMR Geomecánica de Bieniawski 1989.	21
Tabla 2. Clasificación RMR	24
Tabla 3. Relación del RQD y calidad del macizo.....	25
Tabla 4. Coordenadas UTM WGS84 de la zona de estudio.	30
Tabla 5. Acceso a la zona de estudio	31
Tabla 6. Rango de Valores para la Resistencia de la roca intacta.....	32
Tabla 7. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD	34
Tabla 8. Valoración para el espaciamiento.....	34
Tabla 9. Valoración de la persistencia.	35
Tabla 10. Valoración para la abertura.	35
Tabla 11. Valoración de la Rugosidad.	35
Tabla 12. Valoración del tipo de Relleno.	35
Tabla 13. Valoración para el tipo de alteración.....	36
Tabla 14. Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso.....	36
Tabla 15. Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.....	36
Tabla 16. Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades.	37
Tabla 17. Valoración del GSI.	37
Tabla 18. Datos de discontinuidades por familias.	40
Tabla 19. Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta”.....	44
Tabla 20. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD	45
Tabla 21. Valoración para el espaciamiento	46
Tabla 22. Valoración de la persistencia	47
Tabla 23. Valoración para la abertura.....	47
Tabla 24. Valoración de la Rugosidad	47
Tabla 25. Valoración del tipo de Relleno.....	47
Tabla 26. Valoración para el tipo de alteración	48
Tabla 27. Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso.....	48
Tabla 28. Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.....	48
Tabla 29. Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades	49
Tabla 30. Valoración del GSI	49
Tabla 31. Datos de discontinuidades por familias	52
Tabla 32. Rango de Valores para la resistencia de la roca intacta.	57
Tabla 33. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD	58
Tabla 34. Valoración para el espaciamiento	59
Tabla 35. Valoración de la persistencia	59
Tabla 36. Valoración para la abertura.....	60
Tabla 37. Valoración de la Rugosidad	60
Tabla 38. Valoración del tipo de Relleno.....	60
Tabla 39. Valoración para el tipo de alteración	60
Tabla 40. Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso.....	61
Tabla 41. Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.	61
Tabla 42. Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades	62
Tabla 43. Valoración del GSI	62
Tabla 44. Datos de discontinuidades por familias	64
Tabla 45. Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta”	69
Tabla 46. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD	71
Tabla 47. Valoración para el espaciamiento	71
Tabla 48. Valoración de la persistencia	72
Tabla 49. Valoración para la abertura.....	72
Tabla 50. Valoración de la Rugosidad	72
Tabla 51. Valoración del tipo de Relleno.....	73
Tabla 52. Valoración para el tipo de alteración	73
Tabla 53. Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso.....	73
Tabla 54. Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.....	73
Tabla 55. Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades	74

Tabla 56. Valoración del GSI	74
Tabla 57. Datos de discontinuidades por familias.	76
Tabla 58. Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta”	80
Tabla 59. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD	81
Tabla 60. Valoración para el espaciamiento	82
Tabla 61. Valoración de la persistencia	82
Tabla 62. Valoración para la abertura	82
Tabla 63. Valoración de la Rugosidad	83
Tabla 64. Valoración del tipo de Relleno	83
Tabla 65. Valoración para el tipo de alteración	83
Tabla 66. Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso.....	83
Tabla 67. Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.....	84
Tabla 68. Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades	84
Tabla 69. Valoración del GSI	85
Tabla 70. Datos de discontinuidades por familias.	86
Tabla 71. Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta”.....	90
Tabla 72. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD	92
Tabla 73. Valoración para el espaciamiento	92
Tabla 74. Valoración de la persistencia	93
Tabla 75. Valoración para la abertura	93
Tabla 76. Valoración de la Rugosidad	93
Tabla 77. Valoración del tipo de Relleno.....	94
Tabla 78. Valoración para el tipo de alteración	94
Tabla 79. Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso.....	94
Tabla 80. Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.....	95
Tabla 81. Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades	95
Tabla 82. Valoración del GSI	96
Tabla 83. Datos de discontinuidades por familias.	97
Tabla 84. Rango de Valores para la resistencia de la roca intacta.	101
Tabla 85. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD	102
Tabla 86. Valoración para el espaciamiento	103
Tabla 87. Valoración de la persistencia	103
Tabla 88. Valoración para la abertura	103
Tabla 89. Valoración de la Rugosidad	104
Tabla 90. Valoración del tipo de Relleno.....	104
Tabla 91. Valoración para el tipo de alteración	104
Tabla 92. Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso.....	105
Tabla 93. Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.....	105
Tabla 94. Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades	106
Tabla 95. Valoración del GSI	106
Tabla 96. Datos de discontinuidades por familias	108
Tabla 97. Rango de Valores para la resistencia de la roca intacta.	113
Tabla 98. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD	114
Tabla 99. Valoración para el espaciamiento	115
Tabla 100. Valoración de la persistencia.....	115
Tabla 101. Valoración para la abertura	115
Tabla 102. Valoración de la Rugosidad	116
Tabla 103. Valoración del tipo de Relleno	116
Tabla 104. Valoración para el tipo de alteración.....	116
Tabla 105. Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso.....	117
Tabla 106. Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.....	117
Tabla 107. Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades	118
Tabla 108. Valoración del GSI	118
Tabla 109. Datos de discontinuidades por familias	120
Tabla 110. Resumen de RMR ajustado de los 8 taludes estudiados	124
Tabla 111. Metraje de los taludes que necesitan de malla metálica.....	127
Tabla 112. Cotización de la malla de 2 mm de diámetro para 1276 m ²	128
Tabla 113. Cotización de la malla de 2.70 mm de diámetro para 1276 m ²	129
Tabla 114. Cotización de la malla de 3.40 mm de diámetro para 1276 m ²	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estimación GSI a través de la observación realizada en campo.....	20
Figura 2. Plano Geológico Michiquillay - Quinamayo. Fuente. Propia.	27
Figura 3. Falla normal con una dirección NE-SW y orientación (Dip/ Dip Directio): 72/49 en la Formación Yumagual.	29
Figura 4. Ubicación de la zona de estudio.	30
Figura 5. Valorización de GSI en campo.....	38
Figura 6. Análisis de material 1 en RocData del talud 01.	39
Figura 7. Análisis de material dos en RocData del talud 01.	39
Figura 8. Talud N°1 Análisis de rotura planar.....	41
Figura 9. Talud N°1 Análisis de rotura en cuña.	41
Figura 10. Talud N°1 Análisis de rotura por vuelco.....	42
Figura 11. Talud 1: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas.	43
Figura 12. Talud 1: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones pseudoestáticas.	43
Figura 13. Talud 2: Valorización de GSI en campo.	50
Figura 14. Talud 2: Análisis material 1 en RocData	51
Figura 15. Talud 2: Análisis de material 2, en RocData.....	51
Figura 16. Talud N°2 Análisis de rotura planar.....	53
Figura 17. Talud N°2 Análisis de rotura en cuña.	54
Figura 18. Talud N°2 Análisis de rotura por vuelco.....	55
Figura 19. Talud N°2 Análisis del FS en condiciones estáticas.	55
Figura 20. Talud N°2 Análisis del FS en condiciones pseudoestáticas.	56
Figura 21. Valorización de GSI en campo.....	62
Figura 22. Análisis en RocData del talud 03.	64
Figura 23. Talud N°3 Análisis de rotura planar.....	65
Figura 24. Talud N°3 Análisis de rotura en cuña.	66
Figura 25. Talud N°3 Análisis de rotura por vuelco.....	67
Figura 26. Talud 3: Análisis del FS en condiciones estáticas.....	67
Figura 27. Talud 3: Análisis del FS en condiciones pseudoestáticas.	68
Figura 28. Talud 3. Análisis del FS en condiciones estáticas con sistema de cambio de topografía.....	68
Figura 29. Valorización de GSI en campo.....	75
Figura 30. Talud N°4: Análisis en RocData.	76
Figura 31. Talud N°4: Análisis de Rotura Planar.	77
Figura 32. Talud N°4: Análisis de Rotura por Cuña.	77
Figura 33. Talud N°4: Análisis de Rotura por Vuelco.	78
Figura 34. Talud 4: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas.	78
Figura 35. Talud 4: Análisis del factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas.....	79
Figura 36. Valorización de GSI en campo "talud 5".	85
Figura 37. Talud N°5: Análisis en RocData.	86
Figura 38. Talud N°5: Análisis de Rotura Planar.	87
Figura 39. Talud N°5: Análisis de Rotura por Cuña.	88
Figura 40. Talud N°5: Análisis de Rotura por Vuelco.	88
Figura 41. Talud 5: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas.	89
Figura 42. Talud 5: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones pseudoestáticas.	89
Figura 43. Valorización de GSI en campo "talud 6".	96
Figura 44. Talud N°6: Análisis en RocData.	97
Figura 45. Talud N°6: Análisis de Rotura Planar.....	98
Figura 46. Talud N°6: Análisis de Rotura por Cuña.	98
Figura 47. Talud N°6: Análisis de Rotura por Vuelco.	99
Figura 48. Talud 6: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas.	99
Figura 49. Talud 6: Análisis del factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas.....	100
Figura 50. Valorización de GSI en campo del talud 7.....	107
Figura 51. Análisis en RocData del talud 07.	108
Figura 52. Talud N°7 Análisis de rotura planar.....	109
Figura 53. Talud N°7 Análisis de rotura en cuña.	110

Figura 54. Talud N°7 Análisis de rotura por vuelco.....	111
Figura 55. Talud 7; Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas.	111
Figura 56. Talud 7: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones pseudoestáticas.....	112
Figura 57. Valoración de GSI en campo del talud 8.....	118
Figura 58. Análisis en RocData del talud 08.	120
Figura 59. Talud N°8 Análisis de rotura planar.....	121
Figura 60. Talud N°8 Análisis de rotura en cuña.	121
Figura 61. Talud N°8 Análisis de rotura por vuelco.....	122
Figura 62. Talud 8: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas.	123
Figura 63. Talud 8: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones pseudoestáticas.....	123
Figura 64. Mapa Geomecánico Michiquillay – Quinuamayo.....	125
Figura 65. Malla Metálica.	126
Figura 66. Talud N°03 en condiciones estáticas.....	132
Figura 67. Talud N° 03 en condiciones pseudoestáticas	132

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cohesión.	23
Ecuación 2. Ángulo de fricción.....	23
Ecuación 3. Cálculo de RMR.	24
Ecuación 4. RQD por metro.	25
Ecuación 5. QRD a través del número de juntas.	25

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar las características geomecánicas de los macizos rocosos para el diseño de la estabilidad de taludes en el tramo de carretera KM 40+200 – KM 44+800, desvío Michiquillay – Quinuamayo, Cajamarca 2021. El tipo de investigación según su propósito es aplicado, según su finalidad básico, el alcance es de carácter correlacional y en cuanto al enfoque de investigación es cuantitativa.

Se realizó la caracterización geomecánica de ocho estaciones identificadas en la zona de estudio, utilizando RQD, la clasificación de Bieniawski RMR – 1989, así como también la caracterización por GSI, con los cuales se determinó el comportamiento geomecánico de cada macizo rocoso: Estación 1 – III (Regular), Estación 2 – III (Regular), Estación 3 – IV (Mala), Estación 4 – III (Regular), Estación 5 – III (Regular), Estación 6 – III (Regular), Estación 7 – III (Regular) y Estación 8 – III (regular) . También se realizó el análisis cinemático encontrando que la mayor probabilidad que exista una rotura son las del tipo planar y rotura por cuña. Así mismo se determinó los factores de seguridad para cada talud, de los 8 taludes evaluados el talud N°3 es inestable con un FS de 0.72 en condiciones estáticas y un FS de 0.58 en condiciones pseudoestáticas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, para los taludes estables 1, 2, 4, 5, 6, 7 y 8 se ha propuesto medidas de protección utilizando mallas metálicas de acero a lo largo de esos tramos, con la finalidad de controlar la erosión de la capa superficial y prevenir la caída de rocas. Asimismo, para el talud N° 03 se propone cambiar la topografía con el objetivo de estabilizar el macizo rocoso, llegando a incrementar su FS de seguridad a 4.96 en condiciones estáticas y un FS de 3.26 en condiciones pseudoestáticas.

Palabras clave: Caracterización geomecánica, estabilidad de taludes.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de laderas y desprendimientos de rocas son algunos de los procesos geológicos más comunes en la superficie de la Tierra. Muchos proyectos de ingeniería resultan afectados o afectan la estabilidad de taludes al producir modificaciones en las condiciones iniciales del medio rocoso, el cual responde a estos cambios deformándose y/o rompiéndose (Matteis, 2003). Ello se puede evidenciar hoy en día mediante deslizamientos en los tramos de carreteras, en túneles; que se debe principalmente a factores que dominan el comportamiento y las propiedades mecánicas de los macizos.

Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego (2015) Señalan que la falla de un talud o ladera se debe principalmente a un incremento en los esfuerzos actuantes o a una disminución de resistencia al esfuerzo cortante del suelo. Esta variación, en general, es causada por efectos naturales y actividades humanas. Según Botero, Flores, & Romo en 2011, los factores principales que afectan la estabilidad de un talud, natural o diseñado son: erosión, lluvia, sismicidad, aspectos geológicos, cargas externas, Excavaciones y/o rellenos. Es importante conocer los términos básicos acerca de los parámetros de Diseño de estabilidad de taludes y Métodos de Cálculo de estabilidad de taludes.

Clasificaciones geomecánicas (RMR, RQD, SMR, GSI): consisten en evaluar las propiedades de los macizos rocosos compuestos por roca intacta y sus discontinuidades. Estas clasificaciones se basan en criterios cuantificados cuya aplicación permite calificar el macizo rocoso, en base a ello ofrece una prognosis sobre el tipo de sostenimiento a emplear, la forma de organizar la excavación, o las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos estudiados (Díaz, 2016).

Se denomina talud a la superficie inclinada, con respecto a la horizontal, que adoptan permanentemente o provisionalmente las estructuras de tierra. Estos pueden ser artificiales, cuando están contruidos por el hombre en sus obras de ingeniería (terraplén o desmonte), o naturales (laderas). Asimismo, pueden ser de suelos, rocas o mixtos (Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego., 2015).

Agentes externos responsables de la inestabilidad: son una fuerza de masa, el peso y, eventualmente, los efectos de filtración, a los cuales hay que añadir otros factores como las sobrecargas estáticas/ dinámicas, (Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego., 2015).

Se considera parámetros resistentes cuando se estudian los suelos y los macizos rocosos una de las propiedades más importantes, en lo que respecta a la estabilidad de taludes, es su resistencia, esto hace referencia a los parámetros resistentes tales como cohesión y ángulo de fricción ($c'-\phi'$) para cada uno de los niveles afectados, los cuales dependerán de los movimientos experimentados por el subsuelo (Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego., 2015).

Para determinar el análisis de seguridad de la estabilidad de una masa de suelo, se debe determinar su coeficiente de seguridad al deslizamiento, comparando los esfuerzos que tienden a producir el deslizamiento con aquellos que tienden a evitarlo. El factor de seguridad engloba la imprecisión tanto en las acciones como en las resistencias, los modelos de cálculo y la incertidumbre del error humano. Las normativas más utilizadas en Perú en las cuales se determina el factor de seguridad a emplear son la CE.020, AASHTO LrFD, nAVfAC-DM7 y FHWA-nHI-11-032 (Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego., 2015).

Los métodos de cálculo estabilidad taludes, son modelos de equilibrio límite o modelos numéricos. Los modelos de equilibrio límite se basan en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. Para

ello, se supone que la resistencia al corte del terreno se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte, sin tener en cuenta el estado tensional ni las deformaciones.

En ocasiones, puede ser interesante cuantificar estas deformaciones, en cuyo caso se recomienda acudir a modelos numéricos que permiten estudiar el estado tensional de los elementos y sus deformaciones (Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego., 2015).

Las zonas sísmicas dentro del territorio nacional, se consideran cuatro, tal como se muestra en el anexo N° 14. Basándose en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, así como en la información neo tectónica (Ministerio de Vivienda, 2016).

El coeficiente de sismicidad, es el cociente de la fuerza cortante horizontal que debe considerarse que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo. Según la ubicación de la zona de estudio para el departamento de Cajamarca será considerado de 0.35. Para poder realizar el análisis de estabilidad de taludes se realizará a través del programa Slide, por lo que es necesario obtener los parámetros de m_b , s y a del RockData.

El uso de software en los análisis de estabilidad de taludes finitos, inicialmente el método de equilibrio límite fue bien aceptado, dado que podía entregar soluciones por medio de cálculos hechos en forma manual. Sin embargo, las nuevas tecnologías permitieron facilitar los análisis, pudiendo incluso llegar a resultados más precisos al realizar un mayor número de iteraciones o al dividir la masa deslizante en dovelas más pequeñas. En nuestra investigación hemos realizado el análisis del FS, en el software Slide, con el método Spencer podemos analizar cualquier forma de la superficie de falla, asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Asimismo, rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida (Ministerio de Vivienda, 2016).

Mira, Alcántara, & Gutiérrez (2013) en su investigación sobre caracterización geomecánica y análisis de la estabilidad del talud sur del macizo rocoso de Monteagudo Murcia - España, nos menciona que el tipo de rotura está condicionada por las características de fracturación del macizo rocoso, es decir la orientación, tipo y características de las discontinuidades, y el grado de rotura y disgregación del mismo. Dicha investigación tuvo como resultado el tipo de rotura enfocado a la orientación del plano del talud respecto a la de cada discontinuidad lo cual indica que no es probable que se produzca rotura de tipo planar, aunque sí de tipo en cuña.

Jordá, Tomás, Cano, & Riquelme (2016) en su estudio Evaluación de la calidad geomecánica de taludes inestables en la Zona Andina mediante la aplicación de la clasificación Slope Mass Rating, Ecuador. Aplicó la clasificación SMR a diversos taludes rocosos con problemas de estabilidad, localizados en diferentes zonas de la cordillera andina (Bolivia, Perú y Ecuador). Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que el índice SMR puede aplicarse de forma muy satisfactoria en los análisis preliminares de taludes en la que existen numerosos taludes de media a alta inclinación, en macizos muy fracturados con predominio de un cierto control estructural.

Diaz & Rodriguez (2018) Realizaron un estudio de la estabilidad de taludes en roca perteneciente a la formación carhuaz y farrat entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera Ciudad de Dios – Cajamarca. Para poder llegar a un veredicto final se dividió a la zona en siete estaciones geomecánicas en las cuales los cálculos de la cohesión oscilan entre 0.013 MPa y 0.092 MPa, los ángulos de fricción interno fluctúan entre 32.10 deg. y 41.04 deg, asimismo se analizó la cinemática de los taludes, a ello se sumó el cálculo de la densidad de las unidades litológicas aflorantes. Los datos obtenidos se ingresaron al software especializados (Rocscience) para obtener el Factor de Seguridad (FS) el cual se obtuvo valores entre 0.68 a 1.12 para condiciones estáticas y de 0.54 a 0.94 para condiciones

pseudoestáticas; ello indica que la zona estudiada es potencialmente inestable, por lo cual el autor propone realizar un estudio geotécnico para estabilizar y evitar deslizamientos en el sector.

Cajamarca es una ciudad situada en la sierra de nuestro territorio peruano en la cual sus vías de acceso, son riesgosas por presentar desprendimientos de material de los taludes ello se da con más frecuencia en épocas de lluvia, asimismo la sismicidad también es un factor que influye, es por ello que Existen estaciones sísmicas instaladas a nivel mundial que registran el paso de las ondas y las almacenan para su posterior análisis y procesamiento. (CENEPRED, 2017). El tramo de carretera desvío Michiquillay - Quinuamayo es un acceso vehicular activo en dicha ciudad, la construcción de esta vía ha generado un gran frente de talud de roca artificial lo cual ha generado un cambio de las condiciones de estabilidad en la que se encontraba inicialmente. Por esta razón es necesario realizar una caracterización geomecánica y diseño de estabilidad de taludes en dicha zona. Teniendo en cuenta las clasificaciones geomecánicas, (RMR) desarrollado por Bieniawski (1989), índice de Calidad de la Roca, RQD, el sistema de clasificación de masa de pendiente (SMR), GSI, e índice de sismicidad, asimismo el uso de softwares especializados como RocData, Slide, Dips. Y con ello identificar zonas de inestabilidad del talud y proponer un diseño idóneo de estabilidad. Por lo expuesto anteriormente es muy importante realizar esta investigación ya que beneficiará a la población en general de la región Cajamarca y principalmente a las autoridades para que puedan tomar cartas en el asunto estabilizando los taludes de alto grado de inestabilidad y evitar posibles daños a futuro.

Según lo planteado se formuló la siguiente interrogante ¿Cuáles son las características geomecánicas de los macizos rocosos para el diseño de estabilidad de taludes en el tramo de carretera KM 40+200 – KM 44+800, desvío Michiquillay-Quinuamayo, Cajamarca 2021? Teniendo como objetivo general de la investigación determinar las características

geomecánicas de los macizos rocosos para el diseño de la estabilidad de taludes en el tramo de carretera KM 40+200 – KM 44+800, desvío Michiquillay-Quinuamayo, Cajamarca 2021. Y como objetivos específicos describir la geología, local y estructural de la zona de estudio, evaluar los parámetros geomecánicos de los macizos rocosos mediante la clasificación del RMR y GSI, calcular el factor de seguridad de los 8 taludes estudiados, y finalmente plantear alternativas de diseño para mejorar la estabilidad de los taludes. Así mismo, se ha formulado la siguiente hipótesis “Al realizar la caracterización geomecánica se podrá diseñar la estabilidad de los taludes en el tramo de carretera KM 40+200 – KM 44+800, desvío Michiquillay-Quinuamayo, Cajamarca 2021”.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación según su propósito es aplicado, se enfoca en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación. Se usa ciencia y teoría ya existente para la caracterización geomecánica y en base a ello hacer una propuesta de diseño de estabilidad del talud. Según el alcance es de carácter correlacional porque existe una relación entre las variables “Caracterización Geomecánica y diseño de estabilidad de taludes”, en cuanto al enfoque de investigación es cuantitativa ya que permite medir y cuantificar parámetros. Por lo tanto, esta investigación es de tipo aplicado-correlacional-cuantitativa. El diseño de investigación es de carácter no experimental y transversal, porque consiste en un estudio sistemático y empírico en que las variables independientes no se manipulan porque ya han sucedido. Asimismo, este tipo de diseño recolecta datos en un solo momento, en un tiempo único, por lo que su propósito es describir y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Aguilar, Duarte, & Orrantia, 2011).

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población: Todos los macizos rocosos de los taludes de la carretera Michiquillay-Quinuamayo.

Muestra: Los macizos rocosos que presentan inestabilidad en el tramo de carretera KM 40+200 – KM 44+800 desvío Michiquillay-Quinuamayo.

Dicha muestra ha sido seleccionada por conveniencia al recorrer la zona, en la cual se han escogido los taludes donde hay desprendimiento de material a la vía asfaltada y además se seleccionaron a los taludes que a simple vista se ven macizos rocosos muy fracturados.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica utilizada para la recolección de la información es la observación directa en campo de los macizos rocosos, además se realizará el análisis de la revisión bibliográfica de libros, papers y boletines. Se hizo uso de instrumentos de recolección de datos como: fichas para hallar RMR siendo adaptada de acuerdo a nuestra necesidad, ficha para calcular el espaciamiento lo cual es creada por nosotras mismas, tabla para el GSI adaptada a nuestra investigación, encuestas elaboradas y una libreta de campo. También se utilizó instrumentos portátiles como picota, brújula, GPS, etc. El análisis de los datos se realizará mediante softwares como: Slide, ArcGis, Dips, Google Earth y RockData. Permittiéndonos realizar mapas geológicos, mapas de ubicación, calcular el factor de seguridad, determinar la concentración de discontinuidades, entre otros. A continuación, se muestra tablas y formatos obtenidos para la caracterización geomecánica.

Figura 1.

Estimación GSI a través de la observación realizada en campo.

INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000)		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
<p>Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.</p>		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		Superficie muy rugosas, no meteorizadas, frescas	Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro	Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos compactos.	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos de arcillas suaves.
ESTRUCTURA		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →				
	INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas	90			N/A	N/A
	FRACTURADA Macizo rocos con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de dicontinuidades	80	70			
	MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entrabados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas		60	50		
	FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion			40		
	DISGREGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados				30	
	LAMINADA/FOLIADA Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistocidad y cizalla	N/A	N/A		20	
						10

Tabla 1.

Parámetros clasificación RMR Geomecánica de Bieniawski 1989.

Parámetros		Estimación y escala de valores					
1	Resistencia de la roca	Carga puntual MPa	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	
		Compresión simple	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa
	Valor		15	12	7	4	2
2		RQD	90-100%	15-90%	50-75%	25-50%	<125%
	Valor		20	17	13	8	3
3		Separación de discontinuidades	>2 m	0.6 - 2 m	0.2 -0.6m	0.06 – 0.2 m	<0.06 m
	Valor		20	15	10	8	5
		Longitud de la discontinuidad	<1 m	1 - 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	>20 m
	Valor		6	4	2	1	0
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	>5 mm
	Valor		6	5	3	1	0
4	Estado de las discontinuidades	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	Valor		6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5 mm	Relleno duro >5 mm	Relleno blando <5 mm	Relleno blando >5mm
	Valor		6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
	Valor		6	5	3	1	0
5	Presencia de agua	Relación Pagua/Ppri nc	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo
	Valor		15	10	7	4	0

NOTA: Parámetros y valores para la clasificación geomecánica RMR₈₉. Fuente. Bieniawski (1989).

2.4. Procedimiento

2.4.1 Etapa Pre Campo:

En la etapa pre campo se recopiló toda la información literaria, principalmente de libros, artículos y boletines del tema en sí o relacionados a la Mecánica de Rocas, Geomecánica y Estabilidad de taludes. Se desarrolló la búsqueda mediante plataformas confiables donde la información es verificada y validada siendo de gran aporte a nuestra investigación. Se elaboraron planos de accesibilidad y ubicación, se investigó sobre el clima y vegetación de la zona.

2.4.2. Etapa de Campo:

En la etapa de campo se desarrolló un reconocimiento de la zona donde se trabajará nuestra investigación, así mismo de las formaciones y estructuras geológicas que se encuentran dentro del área estudiada en el desvío Michiquillay-Quinuamayo Km 40+200 - Km 44+800.

Se desarrolló los análisis geomecánico del macizo rocoso mediante materiales e instrumentos que fueron preparados y elaborados en gabinete.

Se tomó evidencias fotográficas, muestras de roca para ser analizadas en el laboratorio.

Asimismo, se realiza la evaluación del GSI mediante el grafico de la figura N°1, en la cual se presentan valores que oscilan desde 1 hasta 100. Aquellos valores cercanos a 1 señalan que el macizo rocoso es débil o de menor calidad, con superficies que se encuentran visiblemente meteorizada y altamente fragmentada, presencia de arcilla blanda en las juntas y con estructuras poco resistentes. Caso contrario, los valores de GSI cercanos a 100, señalan la gran calidad de los macizos, presentando estructuras marcadas por pequeñas fragmentaciones. Este análisis se realiza con el fin de caracterizar el índice geológico de la roca, aplicándose de la siguiente manera,

primero observamos las condiciones de superficie en el eje Y y en el eje X se analiza la condición de las superficies de las discontinuidades de la roca, luego combinamos ambas observaciones y se obtiene el GSI en intervalos. (Ramírez & Alejano, 2004). Se realizó la evaluación del RMR el cual mediante la valoración de la caracterización geomecánica, se tiene en cuenta todos los parámetros del macizo rocoso, asignándose a cada uno de los parámetros un valor, por lo que el RMR se obtiene de la suma de todos ellos. (Romana, Serón, & Montalar, 2001).

El cálculo del RMR permite la obtención de la cohesión y el ángulo de fricción, comprobándose con resultados obtenidos en el laboratorio.

2.4.3. Etapa Post Campo:

Con la información obtenida en campo realizamos todos los cálculos necesarios para llegar al objetivo planteado, siguiendo el siguiente orden.

Evaluación del RMR

El RMR, nos sirve para determinar la calidad del macizo rocoso, es apto para ver la valoración de los taludes y permite obtener la cohesión y el ángulo de fricción, también obtenemos los parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb. A continuación, se mostrará las siguientes ecuaciones del RMR y los parámetros resistentes. (Ros, 2008)

Ecuación 1. Cohesión.

$$c = 5RMR \text{ (KPa)}$$

Ecuación 2. Ángulo de fricción.

$$\phi = 5 + \frac{RMR}{2} \text{ (deg)}$$

Para calcular el RMR se tomaron en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso:

1. Resistencia de la roca intacta que se obtiene mediante ensayo de carga puntual o compresión simple.
2. Calculamos el RQD.
3. Espaciamiento de las discontinuidades, hace referencia a la longitud entre discontinuidades dentro de la zona de estudio.
4. Estado de las discontinuidades, lo cual incluye: Longitud de la discontinuidad, abertura, rugosidad, relleno y alteración.
5. Presencia de agua subterránea. A todos los parámetros anteriores se le asigna un valor, obteniéndose el RMR con la suma de todos ellos.

Ecuación 3. Cálculo de RMR.

$$RMR = 1 + 2 + 3 + 4 + 5$$

Tabla 2.

Clasificación RMR

Clase	Calidad de roca	RMR
I	Muy buena	81-100
II	Buena	61-80
III	Regular	41-60
IV	Mala	21-40
V	Muy mala	0-20

NOTA: Clasificación del RMR con valores que oscilan (0-100). Fuente. Bieniawski (1989).

Cuando se obtiene el RMR para el macizo rocoso, se puede obtener los parámetros, la cohesión y el ángulo de fricción mediante las ecuaciones 1,2 y 3.

RQD (Rock Quality Designation Index)

Para calcular el RQD y no se cuenta con testigos de perforación, el RQD se expresa a partir de la siguiente ecuación.

Ecuación 4. RQD por metro.

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

Donde (λ): es la frecuencia media de las discontinuidades por metro.

Ecuación 5. QRD a través del número de juntas.

$$RQD = 115 - 3.3 Jv \rightarrow Jv > 4.5$$

$$RQD = 100 \rightarrow Jv \leq 4.5$$

Dónde: Jv es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m³

Cuando se obtiene el RQD, la calidad de la roca es determinada por la siguiente tabla 3.

Tabla 3.

Relación del RQD y calidad del macizo

RQD (%)	CALIDAD DE LA ROCA
<25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Regular
75-90	Buena
90-100	Muy buena

NOTA: puntaje expresado en porcentajes. Fuente. Bieniawski, 1989.

- Mediante el software Dips versión 6.0 se realiza el análisis de las discontinuidades, permitiéndonos analizar y visualizar datos estructurales con los resultados obtenidos en campo, determinando mediante el software las orientaciones de las discontinuidades, el cálculo de confianza, el análisis cinemático mediante técnicas de proyección estereográfica, entre otros.
- Se calcula los parámetros de mb, a, s, mediante el software Rock Data, siendo de gran ayuda para calcular los parámetros de la masa rocosa antes mencionados, ya que este programa puede ajustar el criterio de falla lineal de

Mohr-Coulomb, criterio de falla no lineal, criterio de falla generalizado de Hoek-Brown, Barton Bandis y el modelo Power Curve.

- Se determina el factor de seguridad gracias al software Slide, debido a que es una de las mejores aplicaciones para la estabilidad de taludes, ayudando a calcular problemas geotécnicos, integrando capacidades de análisis de sensibilidad, probabilístico y análisis retrospectivos.
- Finalmente, se propone 2 propuestas de sostenimiento para el diseño y estabilidad de los taludes del tramo de carretera desvío Michiquillay – Quinuamayo.

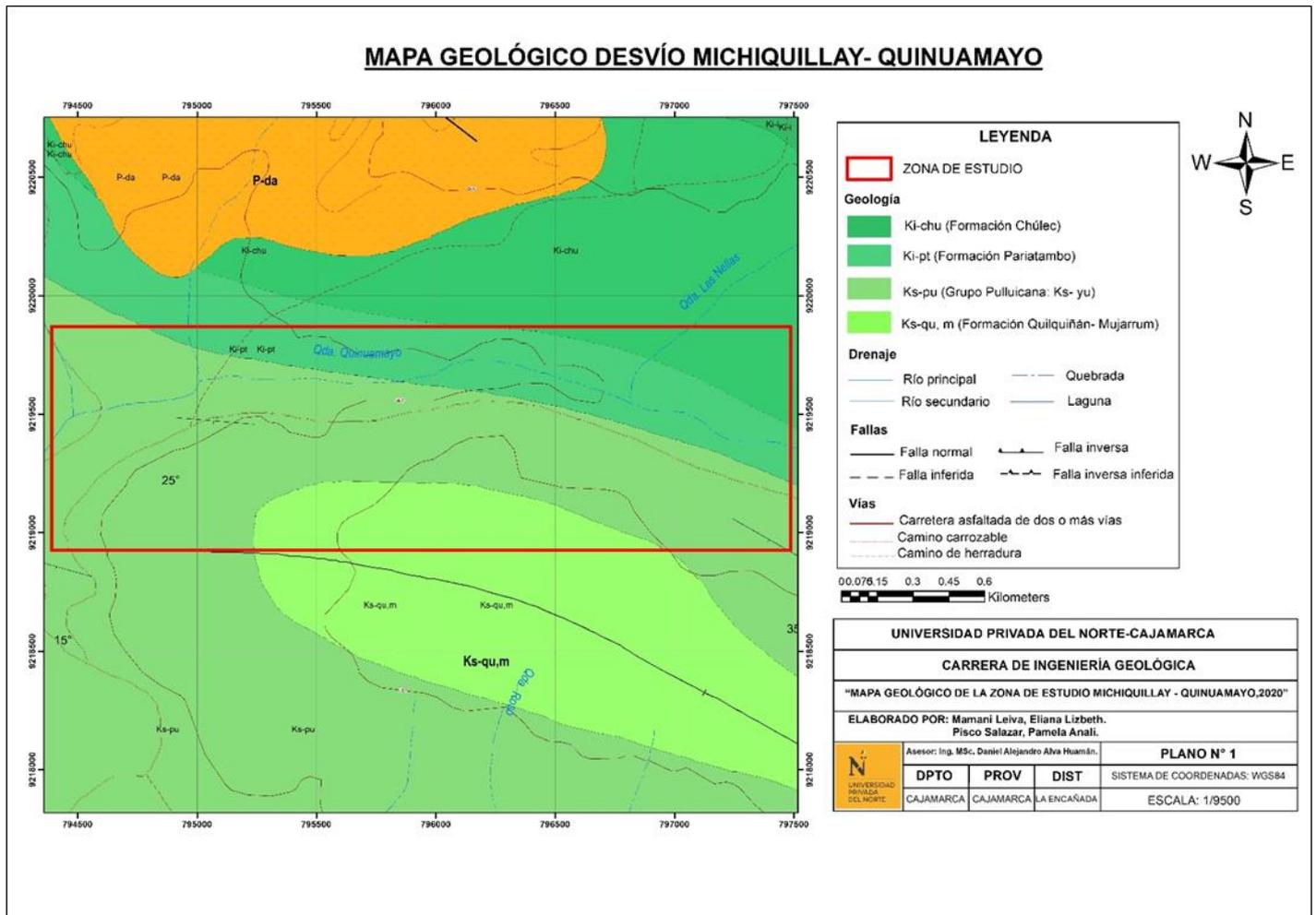
2.4.3.1.Generalidades

2.4.3.1.1 Litología de la zona de estudio

Teniendo en cuenta la geología regional de la zona de estudio, se encuentran presente la formación quilquiñam - mujarrum, yumagual, pariatambo y chulec, en cuanto a la geología local de nuestra zona de estudio, los taludes de carretera afloran en la formación Yumagual. A continuación, se muestra el plano geológico y se detalla la formación de la zona de estudio.

Figura 2.

Plano Geológico Michiquillay - Quinuamayo. Fuente. Propia.



2.4.3.1.2

2.4.3.1.2 Formación Yumagual

A lo largo de nuestra zona de estudio aflora la formación Yumagual en los diferentes taludes rocosos. Se encuentra constituido por margas y calizas gris parduzcas depositados de forma casi uniforme, presenta una coloración amarillenta debido al contenido de lutaceo margoso. Presenta un espesor aproximado de 700 m.

Suprayace con una pequeña discordancia a la formación Pariatambo e infrayace con aparente concordancia a la formación Mujarrún. Debido a su litología y contenido fosilífero su edad y correlación se le sitúa en el Neo-Albiano y parte temprana del

Cenomaniano, correlacionándoseles a estos afloramientos con la parte inferior del Grupo Pulluicana y con la parte baja de la formación Jumasha del centro del país (Cruzado, 2011)..

2.4.3.1.3 Geología estructural

La carretera Encañada-Celendín. Tramo Km 40+200 - Km 44+800 se caracteriza por presentar plegamientos sinclinal y anticlinal de dirección SE-NW y estructuralmente con fallas de dirección NW-SE hasta E-W, además existe diversas familias de diaclasas que caracterizan al macizo rocoso de cada Formación Geológica.

2.4.3.1.3.1 Plegamientos

Anticlinal con una dirección NE – SW en la formación Yumagual ubicado en la progresiva 43+200.

De los datos de orientación (Dip/ Dip Direction) tomados en campo fueron flanco izquierdo: 20/303 y el flanco derecho 36/132, utilizando proyecciones estereográficas en el software Dips se determinó el eje del anticlinal con un (trend/plunge) de 87/039.

2.4.3.1.3.2 Fallas

Se aprecian algunas fallas a lo largo del afloramiento en los taludes.

Figura 3.

Falla normal con una dirección NE-SW y orientación (Dip/ Dip Directio): 72/49 en la Formación Yumagual.



2.4.3.1.3.3 Clima

El distrito de la Encañada, por ser una zona de clima tropical de montaña con temperaturas templadas, los veranos suelen ser largos, frescos y nublados y los inviernos son cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año las temperaturas oscilan entre 1 °C a 15 °C y rara vez baja a -1°C o sube más a más de 18 °C.

2.4.3.1.3.4 Ubicación

El área de estudio se encuentra localizado políticamente en el distrito de la Encañada, en la provincia y departamento de Cajamarca al norte del Perú; correspondiente al Cuadrángulo de San Marcos (15-g) en la zona 17S.

2.4.3.1.3.5 Ubicación geográfica

Tabla 4.

Coordenadas UTM WGS84 de la zona de estudio.

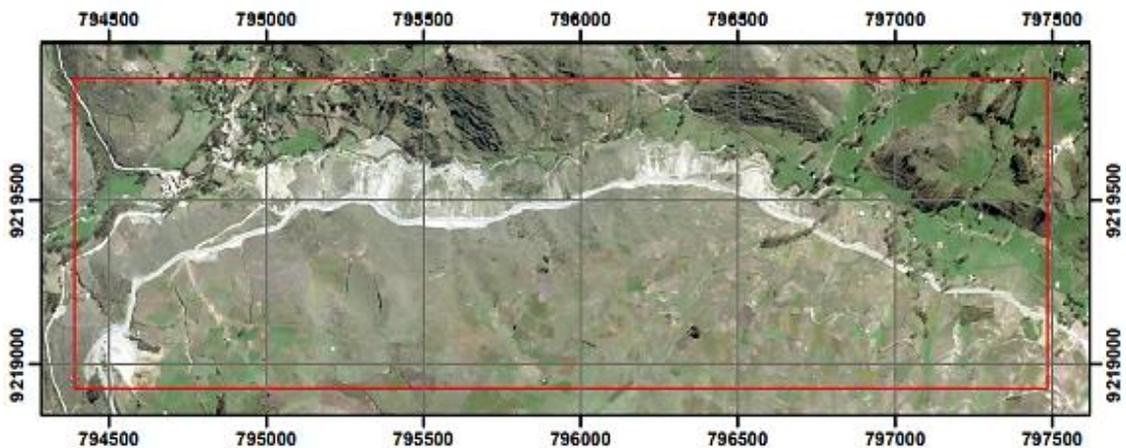
Punto	Longitud (m.)	Latitud (m.)
Inicial (39 Km.+700)	794830	9218215
Final (45 Km. +360)	797435	9219159

2.4.3.1.3.6 Ubicación política

La ubicación política en el cual se desarrolló la investigación es en distrito Encañada, provincia y departamento de Cajamarca y país Perú.

Figura 4.

Ubicación de la zona de estudio.



2.4.3.1.3.7 Accesibilidad

Para llegar a la zona de estudio contamos con un acceso por la vía Cajamarca Celendín, a una hora aproximadamente llegando al desvío a Michiquillay.

Tabla 5.

Acceso a la zona de estudio

Tramo	Carretera	Distancia	Tiempo	Tipo de Vía
Cajamarca – desvió a Michiquillay	Celendín	44 km.	60 min.	Asfaltada

2.4.4. Aspectos Éticos

Los aspectos éticos que se tomaron en cuenta son:

Al acudir a la zona de investigación gestionar los permisos correspondientes de ser necesario para no tener ningún problema al llegar al lugar. Con respecto a los instrumentos utilizados todos son calibrados con anticipación presentando los certificados que sustenten su buen estado para poder tomar datos o que sean calculados sin ningún problema para evitar anomalías o variaciones demasiado altas. También es importante mencionar que los softwares utilizados pertenecen a Rocscience y son de libre descarga, sin costo alguno para el tiempo en que se realizara el procesamiento de datos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Caracterización geomecánica del TALUD 01

3.1.1 Evaluación del RMR en el talud 01

El talud se encuentra ubicado en las coordenadas E: 797015 N: 9219308, ubicado a la margen derecha de la carretera desvío Michiquillay Quinuamayo, Km 40+200 - Km 44+800. El talud está compuesto por caliza altamente meteorizada del Fm. Yumagual, también se puede notar que la roca a medida que se acerca a la corona del talud pierde sus características litológicas, el cual tiende a comportarse casi como un suelo.

- **Resistencia de la roca intacta**

La roca se rompe con 1 golpe de picota.

Tabla 6.

Rango de Valores para la Resistencia de la roca intacta

Nº de golpes con la picota	UCS (MPa)	PLS (MPa)	Puntaje	Comentarios
Hendida por la uña	<1	En este rango no se recomienda el uso de	0	
El espécimen se desmenuza bajo la acción de firmes golpes, puede ser mondado por una navaja.	1 a 5	ensayos de carga puntual para estimar la resistencia a la roca “intacta”	1	Resistencia muy baja
El espécimen puede ser raspado con dificultad con una	5 a 25		2	

navaja del bolsillo,
se endenta mas de
5mm con un golpe.

El espécimen no puede ser raspado con una navaja del bolsillo, puede ser fracturado con un golpe.	25 a 50	1 a 2	4	Resistencia baja
Se rompe con 1 o 2 golpes.	50 a 100	2 a 4	7	Resistencia Moderada
Se rompe con 3 o más golpes.	100 a 250	4 a 10	12	Resistencia alta
El espécimen no se rompe solo se astilla.	>250	>10	15	Resistencia muy alta

- **Índice de calidad de la roca, RQD**

El RQD se ha estimado midiendo una longitud lineal de 4m del talud.

Se calculó mediante la siguiente formula:

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

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{m}$$

$$\lambda = \frac{24}{4}$$

$$\lambda = 6$$

$$RQD = 87.81\%$$

Tabla 7.

Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD

Calidad de Macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA calidad geotécnica	<25	3
MALA calidad geotécnica	25 a 50	8
REGULAR calidad geotécnica	50 a a75	13
BUENA calidad geotécnica	75 a 90	17
EXCELENTE calidad geotécnica	90 a 100	20

Según los cálculos obtenidos para el RQD se sitúa entre un 75 a 90 % ello indica que la calidad del macizo rocoso es de buena calidad geotécnica, recibiendo un puntaje de 17.

- **Espaciamiento de las discontinuidades**

En este punto se midió 1 estrato y 3 diaclasas (denominado 2, 3 y 4) que corresponden a los estratos como estructura principal el estrato 1, y los otros a las diaclasas (2, 3 y 4).

Para los 4 sistemas de discontinuidades se obtuvo un valor promedio de 62 cm = 0.62 m, obteniendo una valoración de 15.

Tabla 8.

Valoración para el espaciamiento

Espaciado de las discontinuidades	>2m	0.6-2m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m
Valor	20	15	10	8	5

- **Condición de las discontinuidades (Jc)**

Persistencia: se tomó una longitud de 1 a 3 m, obteniendo un puntaje de 4.

Tabla 9.

Valoración de la persistencia.

Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Valor	6	4	2	1	0

Abertura: se obtuvo un valor de 0.54mm = 0.00054 m, obteniendo una valoración de 3.

Tabla 10.

Valoración para la abertura.

Abertura	Nada	<0.01mm	0.1-1.0 mm	1-5mm	>5mm
Valor	6	5	3	1	0

Rugosidad: la roca fue ligeramente rugoso, obteniendo una valoración de 3.

Tabla 11.

Valoración de la Rugosidad.

Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	ondulada	suave
Valor	6	5	3	1	0

Relleno: se reconoció un Relleno blando <5mm, obteniendo una valoración de 2.

Tabla 12.

Valoración del tipo de Relleno.

Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
Valor	6	4	2	2	0

Alteración: el macizo presenta una alteración moderadamente, obteniendo una valoración de 3.

Tabla 13.

Valoración para el tipo de alteración.

Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Valor	6	5	3	1	0

Condición del agua

El macizo rocoso se presenta en condiciones húmedas, obteniendo una valoración de 7.

Tabla 14. *Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso.*

Flujo de agua en juntas	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
Valor	15	10	7	4	0

- **Valoración del macizo rocoso RMR básico.**

Tabla 15.

Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.

PARAMETROS	VALOR	PUNTAJE
Resistencia de la roca	25 – 50 MPa	4
RQD %	87.81	17
Espaciamiento	0.62m	15
Persistencia	1-3m	4
Abertura	0.54mm	3

Rugosidad	Ligeramente Rugoso	3
Relleno	Relleno Duro <5 mm	2
Alteración	Moderadamente	3
Presencia de agua	Húmedo	7
TOTAL RMR BASICO		58

- **Valoración del RMR ajustado.**

Tabla 16.

Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades.

ORIENTACIÓN			OBRA
Az	Dip	EE	Tal
N295°	70°	-	X
Dirección de las Discontinuidades Rumbo de las discontinuidades: Perpendicular			Corrección por orientación
Excavación con el Buzamiento Incl. 45° - 90°			0
TOTAL RMR AJUSTADO			58

3.1.2 Valoración GSI

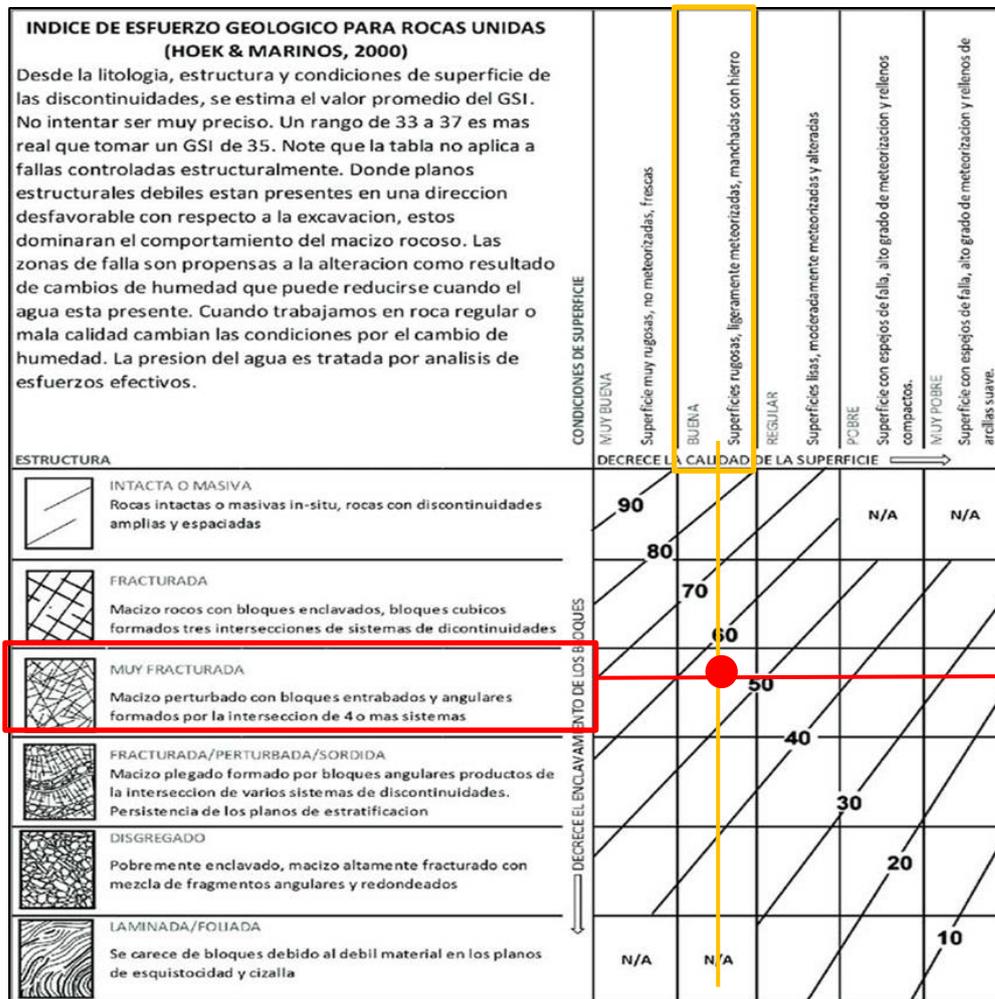
Tabla 17.

Valoración del GSI.

GSI	TOTAL
GSI = RMR BASICO - 5	
GSI = 58 - 5	53

Figura 5.

Valorización de GSI en campo



3.1.3 Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown

En este análisis se ingresa el rango de resistencia a la compresión uniaxial y el GSI y el tipo de roca en la que se ha hecho el análisis, para el primer talud se obtuvo un valor de GSI de 55 valorizado en campo y una resistencia a la compresión valorada con golpes de picota la cual se obtuvo entre 25-50Mpa.

Después del análisis se obtuvo un Angulo de fricción de 31.98° y una cohesión relativamente baja de 1.890 Mpa.

Figura 6.

Análisis de material 1 en RocData del talud 01.

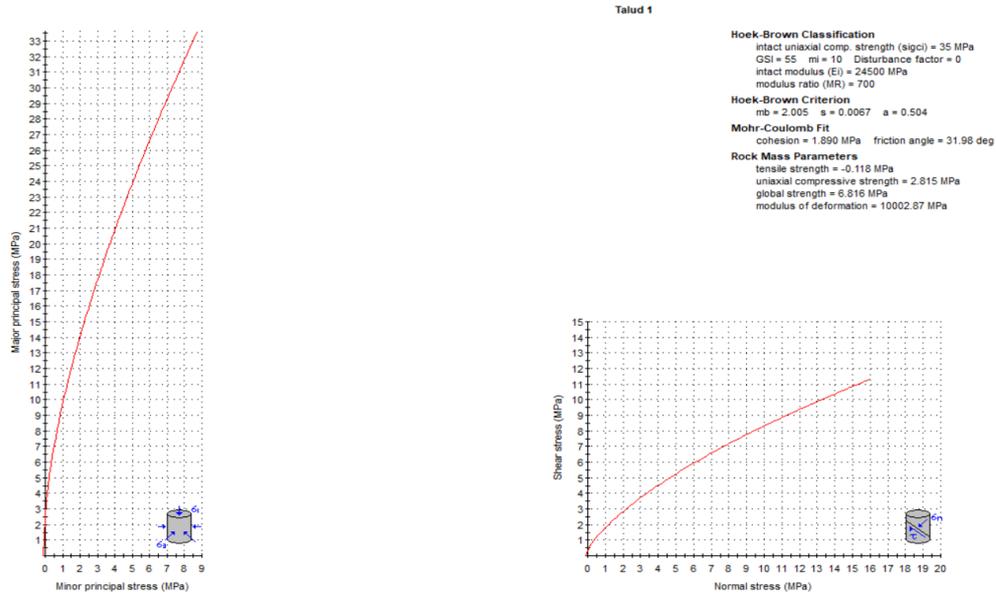
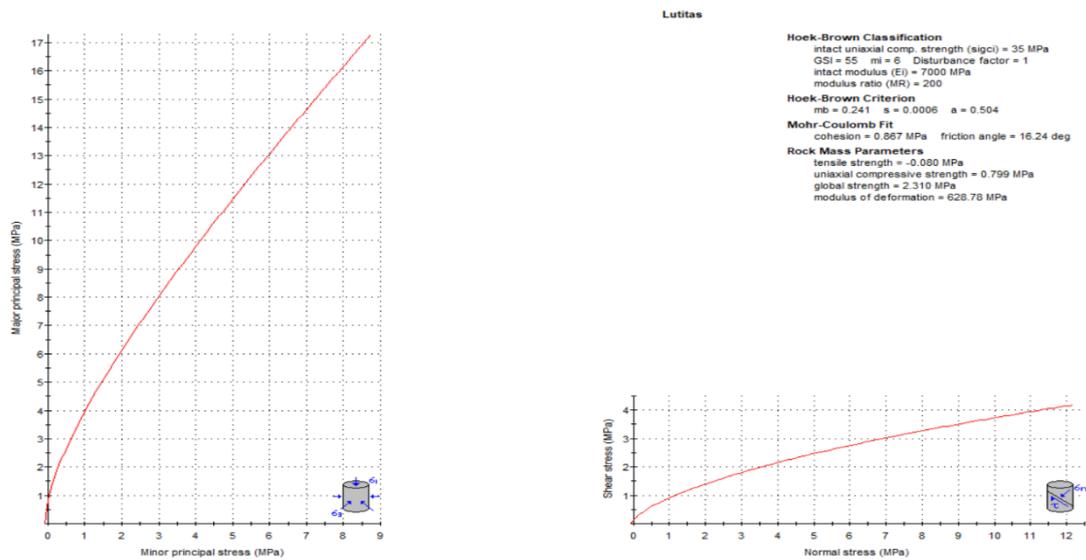


Figura 7.

Análisis de material dos en RocData del talud 01.



3.1.4 Análisis cinemático

El análisis cinemático es una aproximación sencilla a la evaluación de la estabilidad del diseño de las excavaciones en macizos rocosos, con gran control estructural y una distribución no homogénea o isótropa de las discontinuidades. Este análisis está basado fundamentalmente en la orientación de las discontinuidades principales y el ángulo de fricción o rozamiento, Hoek y Bray (1981).

Para ello se tomó en cuenta los siguientes datos.

Tabla 18.

Datos de discontinuidades por familias.

ESTACIÓN 1	NORTE	ESTE	AZIMUT	BUZAMIENTO	DIP DIRECTION
ESTRATIFICACIÓN	9219308	797015	N105	10	195
	9219308	797015	N110	12	200
	9219308	797015	N120	15	210
	9219308	797015	N108	13	198
FAMILIA 1	9219308	797015	N325	76	55
	9219308	797015	N330	70	60
	9219308	797015	N328	75	58
	9219308	797015	N323	74	53
FAMILIA 2	9219308	797015	N245	86	335
	9219308	797015	N240	80	330
	9219308	797015	N243	85	333
	9219308	797015	N248	82	338
FAMILIA 3	9219308	797015	N213	89	303
	9219308	797015	N210	85	300
	9219308	797015	N200	80	290
	9219308	797015	N208	86	298

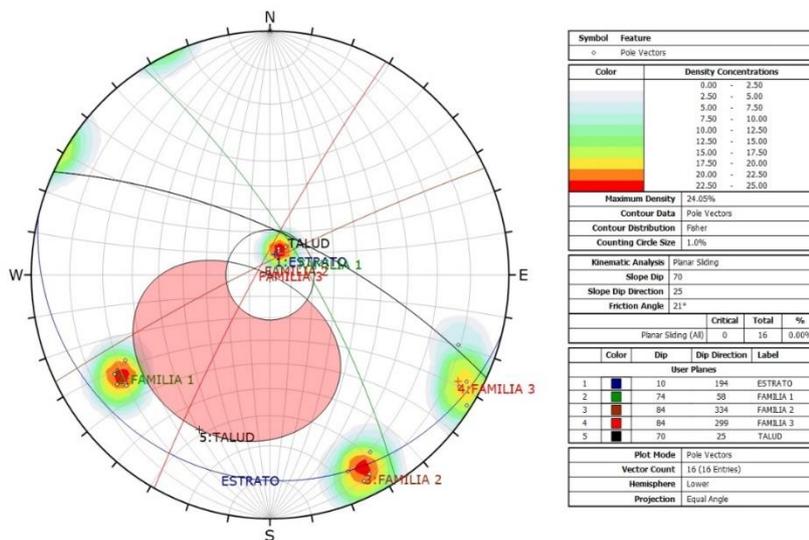
Para este análisis se suele trabajar con los polos de los planos, es decir, con la proyección estereográfica de la recta normal al plano, de manera de facilitar la definición de sets

estructurales (orientaciones preferenciales de estructuras y planos), el software nos facilita proyectar planos y estructuras tomando como base los datos de sus orientaciones respectivas.

- **Análisis de falla planar**

Figura 8.

Talud N°1 Análisis de rotura planar.

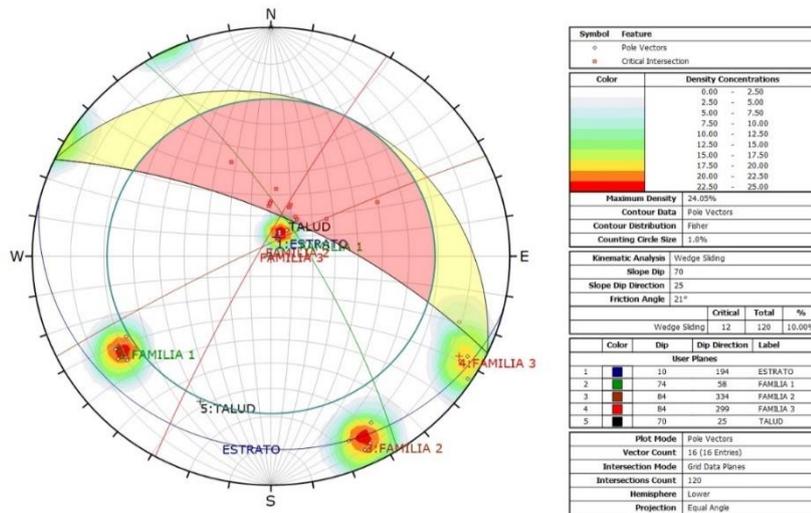


Después de tomar los datos en campo analizamos en el software dips la rotura planar, para la cual se tomó tres familias de diaclasas y un estrato, los cuales son predominantes en el talud N°1, este caso no encontramos ningún riesgo de deslizamiento tipo planar la probabilidad de rotura es 0%, tampoco existe ninguna familia crítica para este tipo de rotura. Por lo tanto, se determina que el talud es estable para este tipo de rotura.

- **Análisis de falla por cuña**

Figura 9.

Talud N°1 Análisis de rotura en cuña.

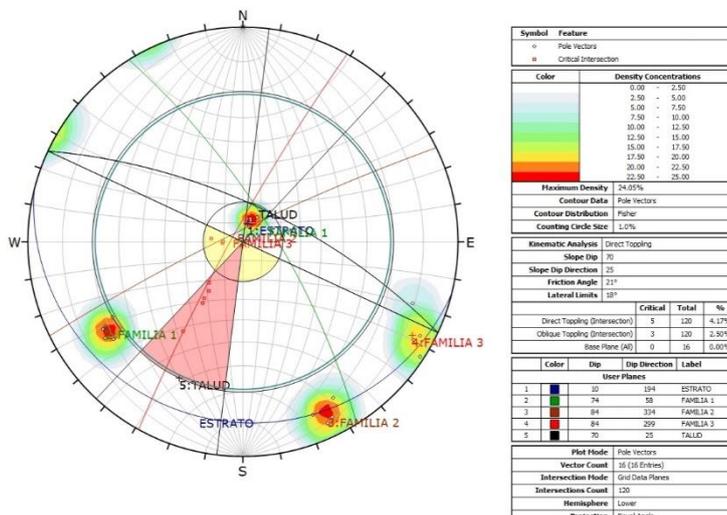


Análisis rotura en cuña talud 1: en este talud encontramos tres familias de diaclasas, analizando para la rotura en cuña tenemos que la probabilidad de que exista una rotura en cuña es de 10%. De las cuales las familias críticas son la familia 2 y la familia 1, ocurriendo pequeñas cuñas dentro de una misma familia de diaclasas debido a la dirección que presenta cada familia, debido a la baja probabilidad de rotura por cuña, se determina que el talud es estable.

- **Análisis de falla por vuelco**

Figura 10.

Talud N°1 Análisis de rotura por vuelco.



Analizando la rotura por vuelco tenemos que la probabilidad general de rotura por vuelco es de 4.17%, es decir ninguna familia se encuentra dentro de la zona crítica y el talud tiene una dirección apropiada para evitar este tipo de rotura en la zona, entonces se determina que el talud es estable para la rotura por vuelco.

3.1.5 Factor de seguridad

Figura 11.

Talud 1: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas.

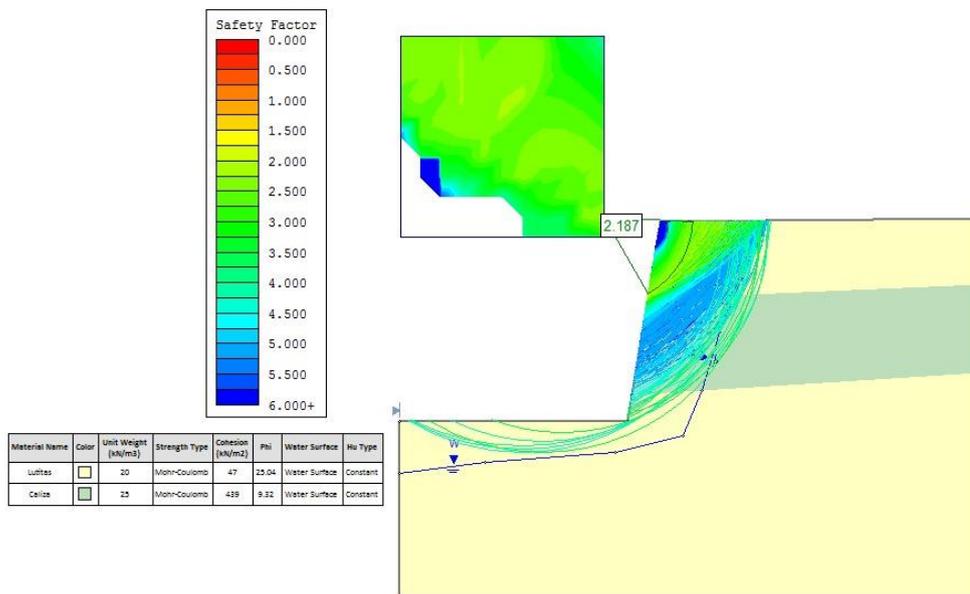
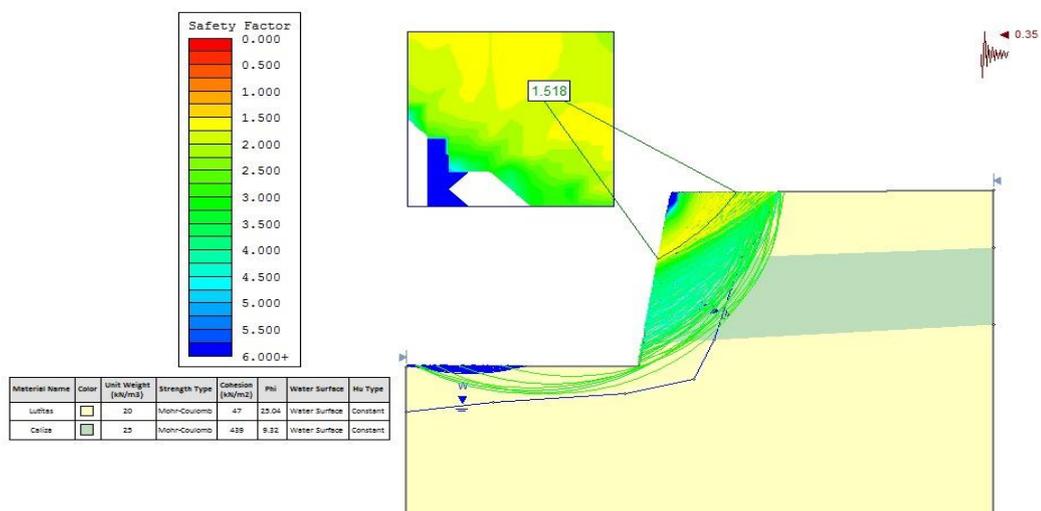


Figura 12.

Talud 1: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones pseudoestáticas.



Se aprecia que el talud es estable en condiciones estáticas con un Factor de Seguridad es de 2.118 y un FS de 1.518 para condiciones pseudoestáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.35 y un coeficiente vertical de 0.

3.2 Caracterización geomecánica del TALUD 02

3.2.1 Evaluación del RMR en el talud 02

El talud N°2 se encuentra ubicado en las coordenadas E:796833 N:9219369, hacia la margen derecha de la carretera. El talud está compuesto por caliza altamente meteorizada de la Fm. Yumagual, presenta 5 metros de altura, por encima del talud presenta una leve capa de suelo el cual influye en la meteorización del talud, ya que el agua se infiltra por las fracturas rellenándolo con material arcilloso.

- **Resistencia de la roca intacta**

La roca se rompe en promedio con 1 golpes de picota.

Tabla 19.

Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta”

N° de golpes con la picota	UCS (MPa)	PLS (MPa)	Puntaje	Comentarios
Hendida por la uña	<1	En este rango no se recomienda el uso de ensayos de carga puntual para	0	
El espécimen se desmenuza bajo la acción de firmes golpes, puede ser mondado por una navaja.	1 a 5	estimar la resistencia a la roca “intacta”	1	Resistencia muy baja
El espécimen puede ser raspado con dificultad con una navaja del	5 a 25		2	

bolsillo, se endenta mas de 5mm con un golpe.

El espécimen no puede ser raspado con una navaja del bolsillo, puede ser fracturado con un golpe.	25 a 50	1 a 2	4	Resistencia baja
Se rompe con 1 o 2 golpes.	50 a 100	2 a 4	7	Resistencia Moderada
Se rompe con 3 o más golpes.	100 a 250	4 a 10	12	Resistencia alta
El espécimen no se rompe solo se astilla.	>250	>10	15	Resistencia muy alta

- **Índice de calidad de la roca, RQD**

El RQD se ha estimado midiendo una longitud lineal de 5m del talud.

Se calculó mediante la siguiente formula:

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

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{m}$$

$$\lambda = \frac{44}{5}$$

$$\lambda = 8.80$$

$$RQD = 77.98\%$$

Tabla 20.

Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD

Calidad de Macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA calidad geotécnica	<25	3

MALA calidad geotécnica	25 a 50	8
REGULAR calidad geotécnica	50 a a75	13
BUENA calidad geotécnica	75 a 90	17
EXCELENTE calidad geotécnica	90 a 100	20

Según los cálculos obtenidos para el RQD se sitúa entre un 75 a 90 % ello indica que la calidad del macizo rocoso es de buena calidad geotécnica, recibiendo un puntaje de 17.

- **Espaciamiento de las discontinuidades**

En este punto se midieron 4 sistemas de discontinuidades (denominado 1, 2, 3 y 4) que corresponden a los estratos como estructura principal denominado 1 y los otros a fracturas denominado (2, 3 y 4).

Para los cuatro sistemas de discontinuidades se obtuvo un valor promedio de 32.5 cm = 0.325 m, obteniendo una valoración de 10.

Tabla 21.

Valoración para el espaciamiento

Espaciado de las discontinuidades	>2m	0.6-2m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m
Valor	20	15	10	8	5

- **Condición de las discontinuidades (Jc)**

Persistencia: se tomó una longitud de 3.5 m, obteniendo un puntaje de 2.

Tabla 22.

Valoración de la persistencia

Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Valor	6	4	2	1	0

Abertura: se obtuvo un valor de 9mm, obteniendo una valoración de 0.

Tabla 23.

Valoración para la abertura

Abertura	Nada	<0.01mm	0.1-1.0 mm	1-5mm	>5mm
Valor	6	5	3	1	0

Rugosidad: la roca fue ligeramente rugosa, obteniendo una valoración de 3.

Tabla 24.

Valoración de la Rugosidad

Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	ondulada	Suave
Valor	6	5	3	1	0

Relleno: se reconoció un Relleno blando >5mm, obteniendo una valoración de 0.

Tabla 25.

Valoración del tipo de Relleno

Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
Valor	6	4	2	2	0

Alteración: el macizo presenta se encuentra muy alterada, obteniendo una valoración de 1.

Tabla 26.

Valoración para el tipo de alteración

Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Valor	6	5	3	1	0

Condición del agua

El macizo rocoso se presenta en condiciones húmedas, obteniendo una valoración de 7.

Tabla 27.

Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso

Flujo de agua en juntas	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
Valor	15	10	7	4	0

- **Valoración del macizo rocoso RMR básico.**

Tabla 28.

Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.

PARAMETROS	VALOR	PUNTAJE
Resistencia de la roca	25-50 MPa	4
RQD %	77.98	17
Espaciamiento	0.325m	10
Persistencia	3.5m	2

Abertura	9mm	0
Rugosidad	Ligeramente Rugoso	3
Relleno	Relleno Duro >5 mm	0
Alteración	Muy alterada	1
Presencia de agua	Húmedo	7
TOTAL RMR BASICO		44

- **Valoración del RMR ajustado.**

Tabla 29.

Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades

ORIENTACIÓN			OBRA
Az	Dip	EE	Tal
N295°	70°	-	X
Dirección de las Discontinuidades			Corrección por orientación
Rumbo de las discontinuidades: Perpendicular			
Excavación con el Buzamiento			0
Incl. 45° - 90°			
TOTAL RMR AJUSTADO			44

3.2.2 Valoración GSI

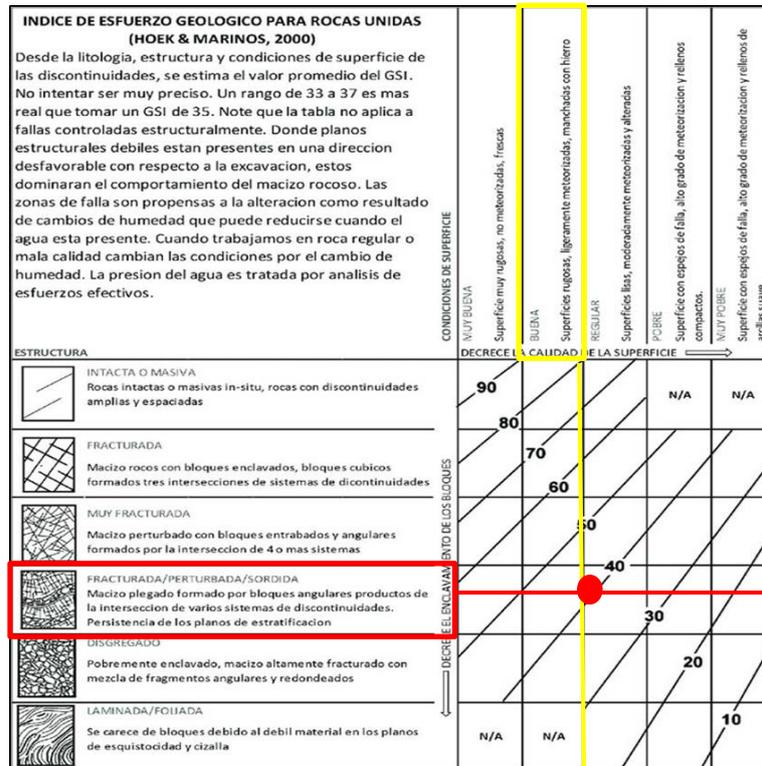
Tabla 30.

Valoración del GSI

GSI	
GSI = RMR BASICO - 5	
GSI = 44 - 5	TOTAL
	39

Figura 13.

Talud 2: Valorización de GSI en campo.



3.2.3 Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown

En este análisis se ingresa el rango de resistencia a la compresión uniaxial y el GSI y el tipo de roca en la que se ha hecho el análisis, para el primer talud se obtuvo un valor de GSI de 40 valorizado en campo y una resistencia a la compresión valorada con golpes de picota la cual se obtuvo entre 25-50Mpa.

Después del análisis se obtuvo un Angulo de fricción de 12.94° y una cohesión relativamente baja de 0.644 Mpa.

Figura 14.

Talud 2: Análisis material 1 en RocData

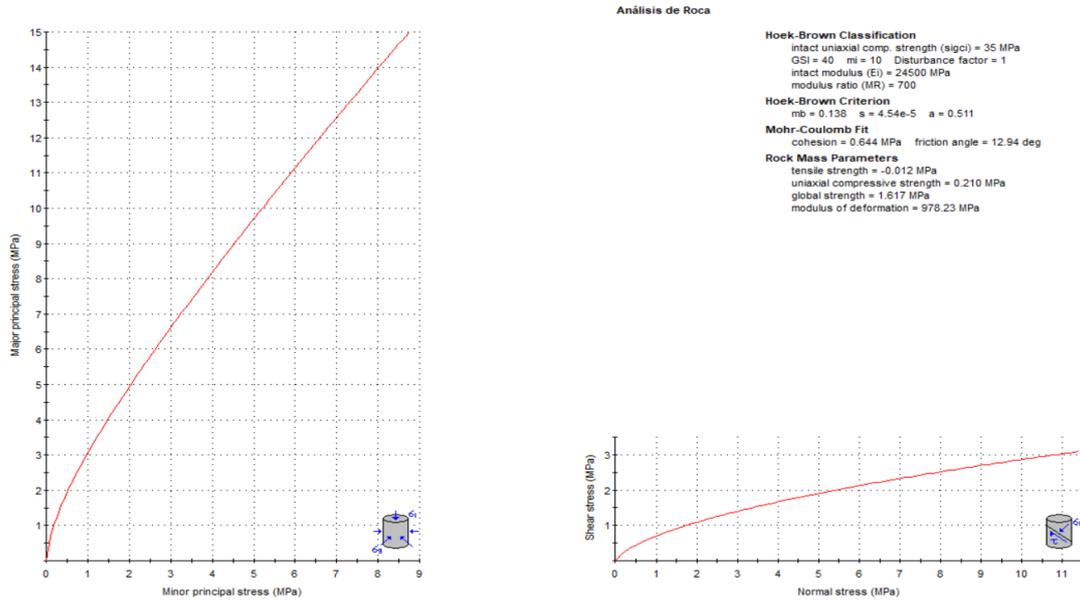
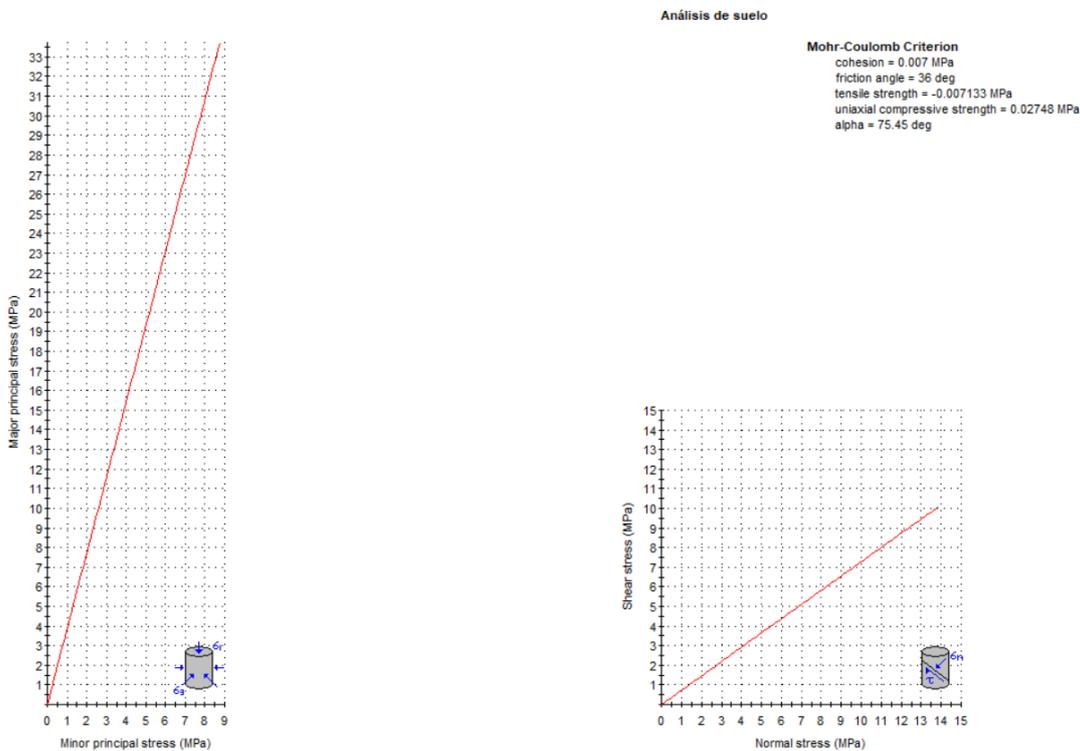


Figura 15.

Talud 2: Análisis de material 2, en RocData



3.2.4 Análisis cinemático

El análisis cinemático es una aproximación sencilla a la evaluación de la estabilidad del diseño de las excavaciones en macizos rocosos, con gran control estructural y una distribución no homogénea o isótropa de las discontinuidades. Este análisis está basado fundamentalmente en la orientación de las discontinuidades principales y el ángulo de fricción o rozamiento, Hoek y Bray (1981).

Para ello se tomó en cuenta los siguientes datos.

Tabla 31.

Datos de discontinuidades por familias

ESTACIÓN 2	NORTE	ESTE	AZIMUT	BUZAMIENTO	DIP DIRECTION
ESTRATO	9219369	796833	N135	11	225
	9219369	796833	N130	12	220
	9219369	796833	N120	15	210
	9219369	796833	N125	10	215
FAMILIA 1	9219369	796833	N193	86	283
	9219369	796833	N190	88	280
	9219369	796833	N185	80	275
	9219369	796833	N195	85	285
FAMILIA 2	9219369	796833	N90	80	180
	9219369	796833	N94	80	184
	9219369	796833	N88	85	178
	9219369	796833	N92	82	182
FAMILIA 3	9219369	796833	N130	80	220
	9219369	796833	N128	85	218
	9219369	796833	N130	80	220
	9219369	796833	N135	79	225

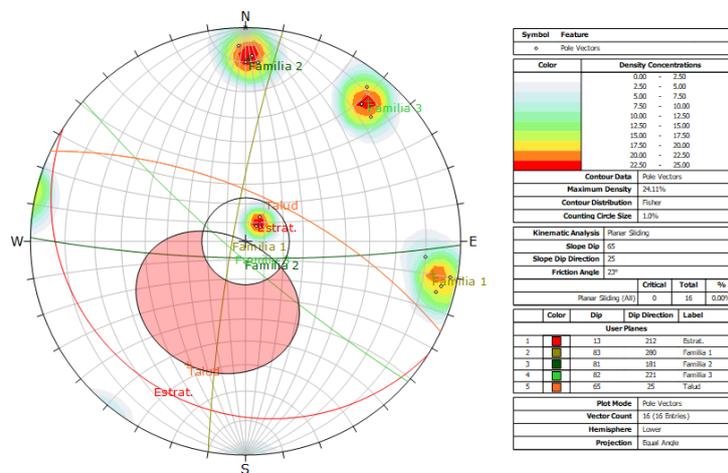
Para este análisis se suele trabajar con los polos de los planos, es decir, con la proyección estereográfica de la recta normal al plano, de manera de facilitar la definición de sets estructurales (orientaciones preferenciales de estructuras y planos), el software nos

facilita proyectar planos y estructuras tomando como base los datos de sus orientaciones respectivas.

- **Análisis de rotura planar**

Figura 16.

Talud N°2 Análisis de rotura planar.

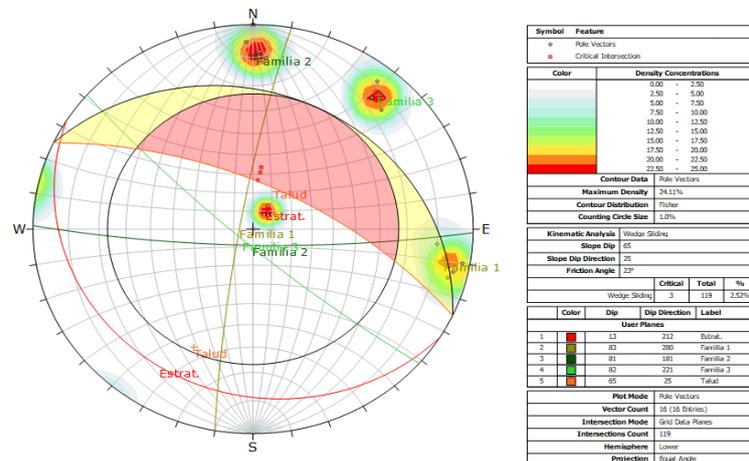


Después de tomar los datos en campo analizamos en el software dips la rotura planar, para la cual se tomó tres familias de diaclasas y un estrato, los cuales son predominantes en el talud N°2, este caso no encontramos ningún riesgo de deslizamiento tipo planar la probabilidad de rotura es 0%, tampoco existe ninguna familia crítica para este tipo de rotura. Por lo tanto, se determina que el talud es estable para este tipo de rotura.

- **Análisis de rotura por cuña**

Figura 17.

Talud N°2 Análisis de rotura en cuña.

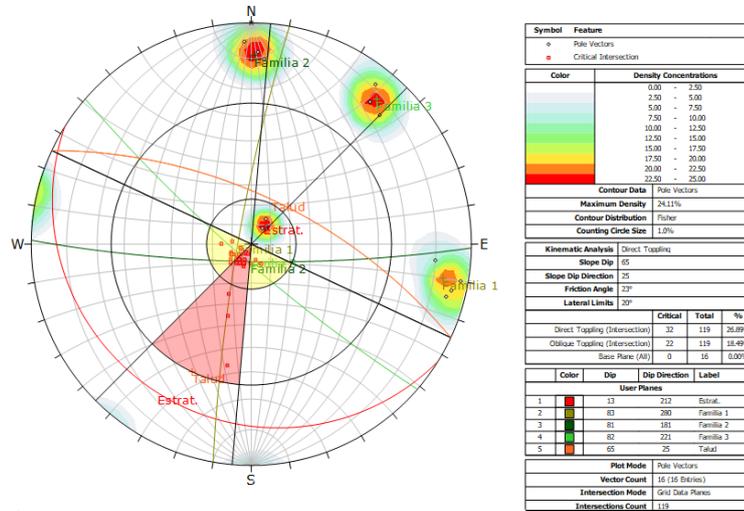


Análisis rotura en cuña talud 2: en este talud encontramos tres familias de diaclasas, analizando para la rotura en cuña tenemos que la probabilidad de que exista una rotura en cuña es de 3%. De las cuales las familias críticas son la familia 2 y la familia 1, ocurriendo pequeñas cuñas dentro de una misma familia de diaclasas debido a la dirección que presenta cada familia, debido a la baja probabilidad de rotura por cuña, se determina que el talud es estable.

- **Análisis de rotura por vuelco**

Figura 18.

Talud N°2 Análisis de rotura por vuelco.



Analizando la rotura por vuelco tenemos que la probabilidad general de rotura por vuelco es de 4.17%, es decir ninguna familia se encuentra dentro de la zona crítica y el talud tiene una dirección apropiada para evitar este tipo de rotura en la zona, entonces se determina que el talud es estable para la rotura por vuelco.

3.2.5 Factor de seguridad

Figura 19.

Talud N°2 Análisis del FS en condiciones estáticas.

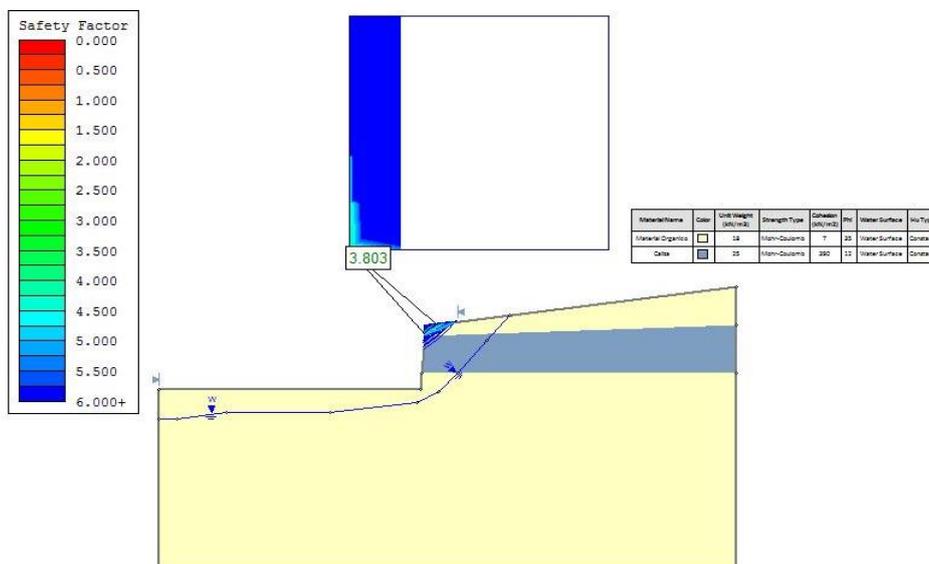
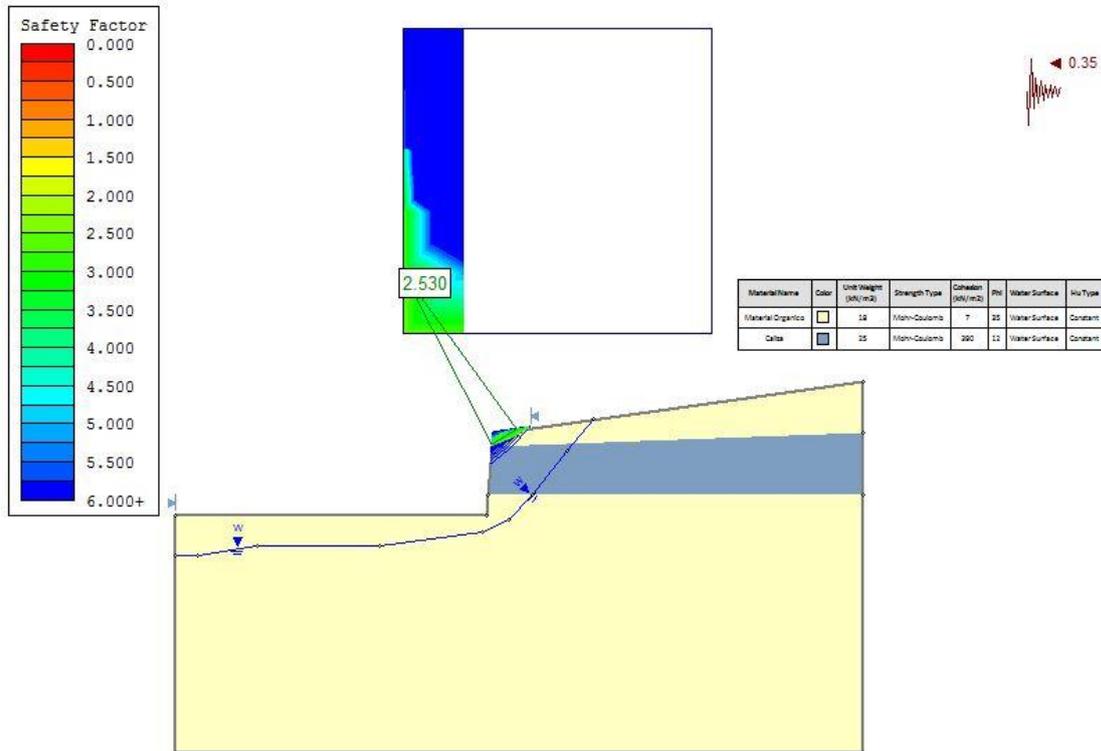


Figura 20.

Talud N°2 Análisis del FS en condiciones pseudoestáticas.



Se aprecia que el talud es estable en condiciones estáticas con un Factor de Seguridad es de 3.803 y un FS de 2.530 para condiciones pseudoestáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.35 y un coeficiente vertical de 0.

3.3 Caracterización geomecánica del TALUD 03

3.3.1 Evaluación del RMR en el talud 03

El talud se encuentra ubicado en las coordenadas E: 796637 N: 9219369 en el margen derecho de la carretera “La Encañada - Celendín”. El talud está compuesto por calizas altamente fracturadas perteneciente a la Fm. Yumagual, este talud tiene una altura de 43 metros y un grado de pendiente bastante alto, el cual lo vuelve vulnerable no solo a la inestabilidad sino también a la posible caída de rocas. Este talud también se observa que hay dos tipos de grado de fracturación de la roca, en uno el espaciado y persistencia entre las juntas es menor, el cual lo hace que tenga mayor cantidad de diaclasas y están

casi verticales el cual genera que ingrese infiltraciones de agua. En el otro caso el macizo rocoso está sobre, se observa que la roca esta menos fracturada y las diaclasas tienen distinta orientación y yacen discordantemente a las fracturas que se muestran en el pie del talud.

- **Resistencia de la roca intacta**

La roca se rompe con 1 golpe de picota.

Tabla 32.

Rango de Valores para la resistencia de la roca intacta.

N° de golpes con la picota	UCS (MPa)	PLS (MPa)	Puntaje	Comentarios
Hendida por la uña	<1	En este rango no se recomienda el uso	0	
El espécimen se desmenuza bajo la acción de firmes golpes, puede ser mondado por una navaja.	1 a 5	puntual para estimar la resistencia a la roca “intacta”	1	Resistencia muy baja
El espécimen puede ser raspado con dificultad con una navaja del bolsillo, se endenta mas de 5mm con un golpe.	5 a 25		2	
El espécimen no puede ser raspado con una navaja del bolsillo, puede ser fracturado con un golpe.	25 a 50	1 a 2	4	Resistencia baja

Se rompe con 1 o 2 golpes.	50 a 100	2 a 4	7	Resistencia Moderada
Se rompe con 3 o más golpes.	100 a 250	4 a 10	12	Resistencia alta
El espécimen no se rompe solo se astilla.	>250	>10	15	Resistencia muy alta

- **Índice de calidad de la roca, RQD**

El RQD se ha estimado midiendo una longitud lineal de 4m del talud.

Se calculó mediante la siguiente formula:

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

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{m}$$

$$\lambda = \frac{51}{3}$$

$$\lambda = 17$$

$$RQD = 49.32\%$$

Tabla 33.

Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD

Calidad de Macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA calidad geotécnica	<25	3
MALA calidad geotécnica	25 a 50	8
REGULAR calidad geotécnica	50 a 75	13
BUENA calidad geotécnica	75 a 90	17
EXCELENTE calidad geotécnica	90 a 100	20

Según los cálculos obtenidos para el RQD se sitúa entre un 25 a 50 % ello indica que la calidad del macizo rocoso es de mala calidad geotécnica, recibiendo un puntaje de 8.

- **Espaciamiento de las discontinuidades**

En este punto se midió 1 estrato y 2 diaclasas (denominado 2 y 3) que corresponden a los estratos como estructura principal el estrato 1, y los otros a las diaclasas (2 y 3).

Para los 3 sistemas de discontinuidades se obtuvo un valor promedio de 20cm = 0.20 m, obteniendo una valoración de 8.

Tabla 34.

Valoración para el espaciamiento

Espaciado de las discontinuidades	>2m	0.6-2m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m
Valor	20	15	10	8	5

- **Condición de las discontinuidades (Jc)**

Persistencia: se tomó una longitud de 18 m, obteniendo un puntaje de 1.

Tabla 35.

Valoración de la persistencia

Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Valor	6	4	2	1	0

Abertura: se obtuvo un valor de 6mm, obteniendo una valoración de 0.

Tabla 36.

Valoración para la abertura

Abertura	Nada	<0.01mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	>5mm
Valor	6	5	3	1	0

Rugosidad: la roca fue ondulada, obteniendo una valoración de 1.

Tabla 37.

Valoración de la Rugosidad

Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	ondulada	suave
Valor	6	5	3	1	0

Relleno: se reconoció un Relleno blando >5mm, obteniendo una valoración de 0.

Tabla 38.

Valoración del tipo de Relleno

Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
Valor	6	4	2	2	0

Alteración: el macizo presenta se presenta muy alterado, obteniendo una valoración de 1.

Tabla 39.

Valoración para el tipo de alteración

Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Valor	6	5	3	1	0

Condición del agua

El macizo rocoso se presenta en condiciones húmedas, obteniendo una valoración de 7.

Tabla 40.

Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso

Flujo de agua en juntas	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
Valor	15	10	7	4	0

- **Valoración del macizo rocoso RMR básico.**

Tabla 41.

Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.

PARAMETROS	VALOR	PUNTAJE
Resistencia de la roca	25 - 50 MPa	4
RQD %	49.32	8
Espaciamiento	0.20m	8
Persistencia	10-20m	1
Abertura	6mm	0
Rugosidad	Ondulada	1
Relleno	Relleno Blando >5 mm	0
Alteración	Muy alterada	1
Presencia de agua	Húmedo	7
TOTAL RMR BASICO		30

- **Valoración del RMR ajustado.**

Tabla 42.

Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades

ORIENTACIÓN			OBRA
Az	Dip	EE	Tal
N295°	74°	-	X
Dirección de las Discontinuidades			Corrección por orientación
Rumbo de las discontinuidades: Perpendicular			
Excavación con el Buzamiento			0
Incl. 45° - 90°			
TOTAL RMR AJUSTADO			30

3.3.2 Valoración GSI

Tabla 43.

Valoración del GSI

GSI	
GSI = RMR BASICO - 5	TOTAL
GSI = 30 - 5	25

Figura 21.

Valorización de GSI en campo.

INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000)		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
<p>Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.</p>		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		Superficie muy rugosa, no meteorizadas, frescas	Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro	Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos compactos.	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos de arcillas suaves.
ESTRUCTURA		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE				
 <p>INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas</p>		90			N/A	N/A
 <p>FRACTURADA Macizo rocos con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de discontinuidades</p>		80				
 <p>MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entrelazados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas</p>		70				
 <p>FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion</p>		60				
 <p>DISGREGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados</p>		50				
 <p>LAMINADA/FOLIADA Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistocidad y cizalla</p>		40				
		30				
		20				
		10				
		N/A	N/A			

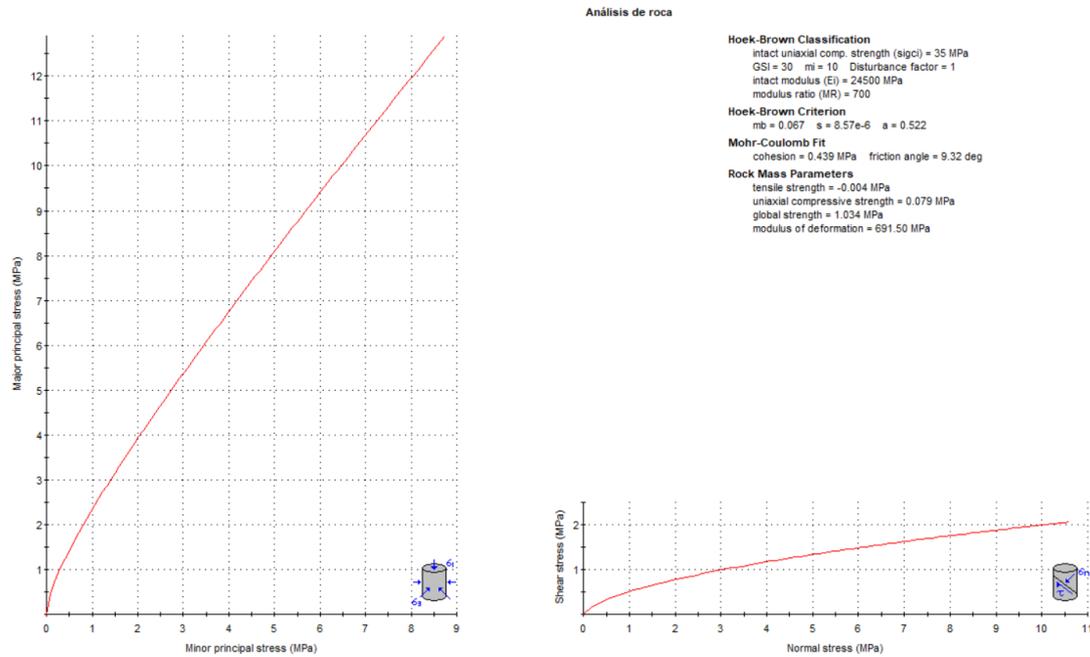
3.3.3 Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown

En este análisis se ingresa el rango de resistencia a la compresión uniaxial y el GSI y el tipo de roca en la que se ha hecho el análisis, para el tercer talud se obtuvo un valor de GSI de 30 valorizado en campo y una resistencia a la compresión valorada con golpes de picota la cual se obtuvo entre 25-50Mpa.

Después del análisis se obtuvo un Angulo de fricción de 19.55° y una cohesión relativamente de 1.042 Mpa.

Figura 22.

Análisis en RocData del talud 03.



3.3.4 Análisis cinemático

El análisis cinemático es una aproximación sencilla a la evaluación de la estabilidad del diseño de las excavaciones en macizos rocosos, con gran control estructural y una distribución no homogénea o isotropa de las discontinuidades. Este análisis está basado fundamentalmente en la orientación de las discontinuidades principales y el ángulo de fricción o rozamiento, Hoek y Brawn (1981).

Para ello se tomó en cuenta los siguientes datos.

Tabla 44.

Datos de discontinuidades por familias

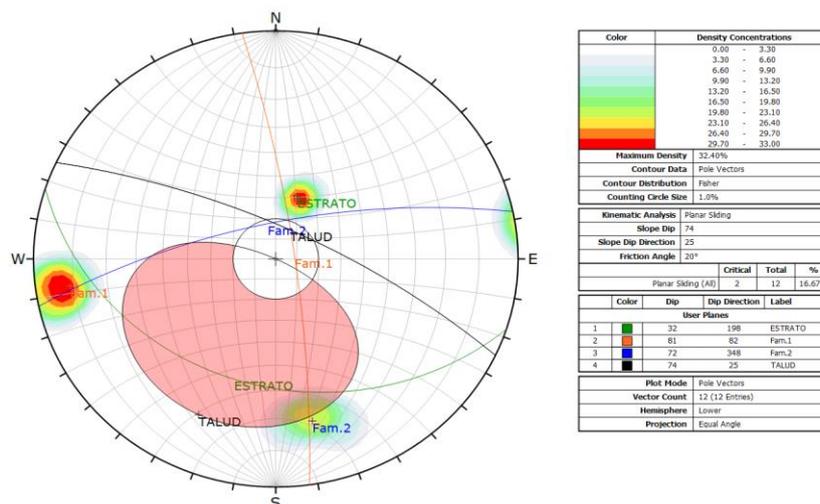
ESTACIÓN 3	NORTE	ESTE	AZIMUT	BUZAMIENTO	DIP DIRECTION
	9219469	796637	N110	30	200
ESTRATIFICACIÓN	9219469	796637	N110	32	200
	9219469	796637	N115	35	205

	9219469	796637	N108	29	198
FAMILIA 1	9219469	796637	N351	86	81
	9219469	796637	N350	85	80
	9219469	796637	N353	80	83
	9219469	796637	N352	84	82
FAMILIA 2	9219469	796637	N260	70	350
	9219469	796637	N250	75	340
	9219469	796637	N255	69	345
	9219469	796637	N266	72	356

Para este análisis se suele trabajar con los polos de los planos, es decir, con la proyección estereográfica de la recta normal al plano, de manera de facilitar la definición de sets estructurales (orientaciones preferenciales de estructuras y planos), el software nos facilita proyectar planos y estructuras tomando como base los datos de sus orientaciones respectivas.

- **Análisis de falla planar**

Figura 23. Talud N°3 Análisis de rotura planar.



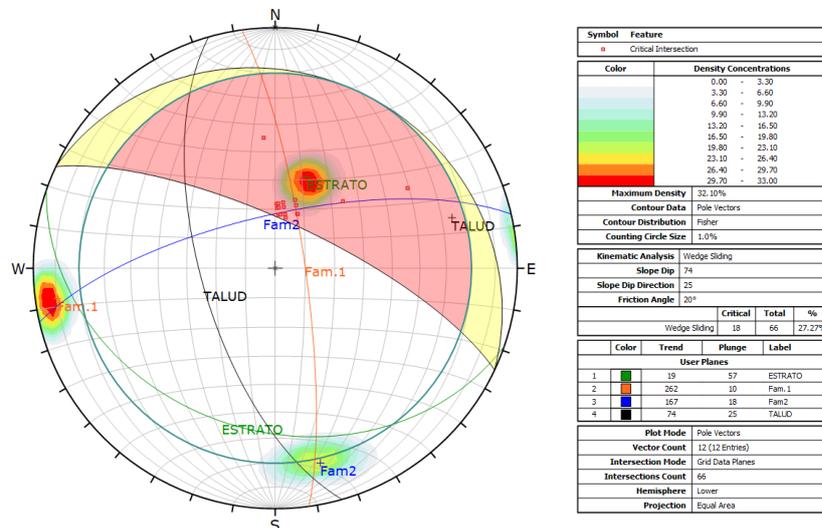
Después de tomar los datos en campo analizamos en el software dips la rotura planar, para la cual se tomó dos familias de diaclasas y un estrato, los cuales son predominantes en el talud N°3, encontramos un riesgo de deslizamiento tipo planar con una

probabilidad de rotura es 16.67%, siendo la más crítica la familia 2 para este tipo de rotura con un 100%. Por lo tanto, se determina que el talud es inestable para este tipo de rotura.

- **Análisis de falla por cuña**

Figura 24.

Talud N°3 Análisis de rotura en cuña.

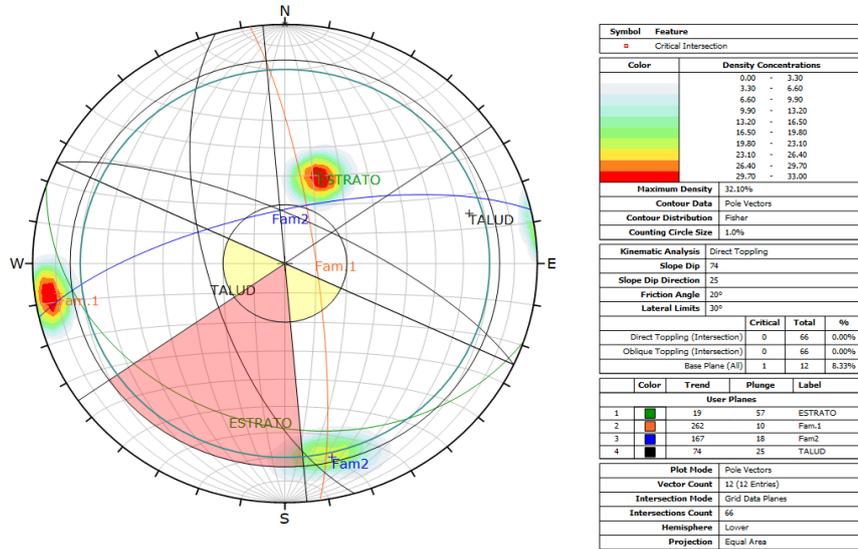


Análisis rotura en cuña talud 3: en este talud encontramos dos familias de diaclasas, analizando para la rotura en cuña tenemos que la probabilidad de que exista una rotura en cuña es de 27.27%. De las cuales las familias críticas son la familia 1 y 2 ocurriendo pequeñas cuñas dentro de una misma familia de diaclasas debido a la dirección que presenta cada familia, debido a la probabilidad media de rotura por cuña, se determina que el talud es inestable.

- **Análisis de falla por vuelco**

Figura 25.

Talud N°3 Análisis de rotura por vuelco.



Analizando la rotura por vuelco tenemos que la probabilidad general de rotura por vuelco es de 8.33% (base plana), es decir ninguna familia se encuentra dentro de la zona crítica y el talud tiene una dirección apropiada para evitar este tipo de rotura en la zona, entonces se determina que el talud es estable para la rotura por vuelco.

3.3.5 Factor de seguridad

Figura 26.

Talud 3: Análisis del FS en condiciones estáticas.

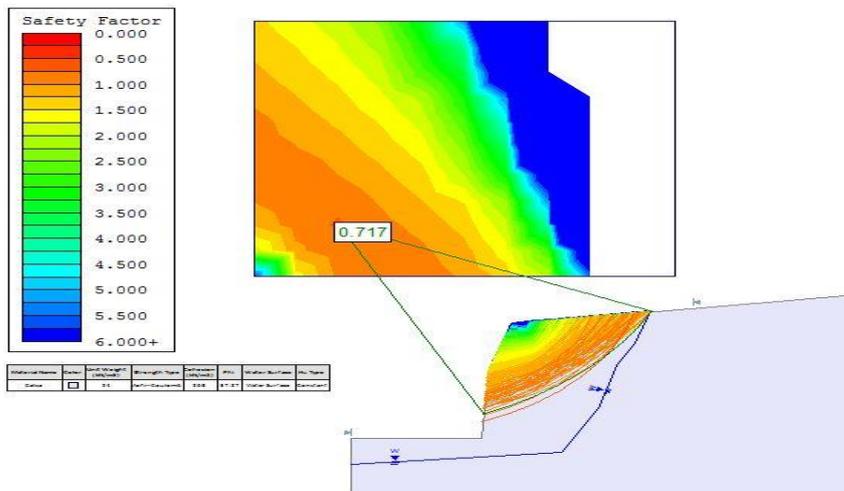
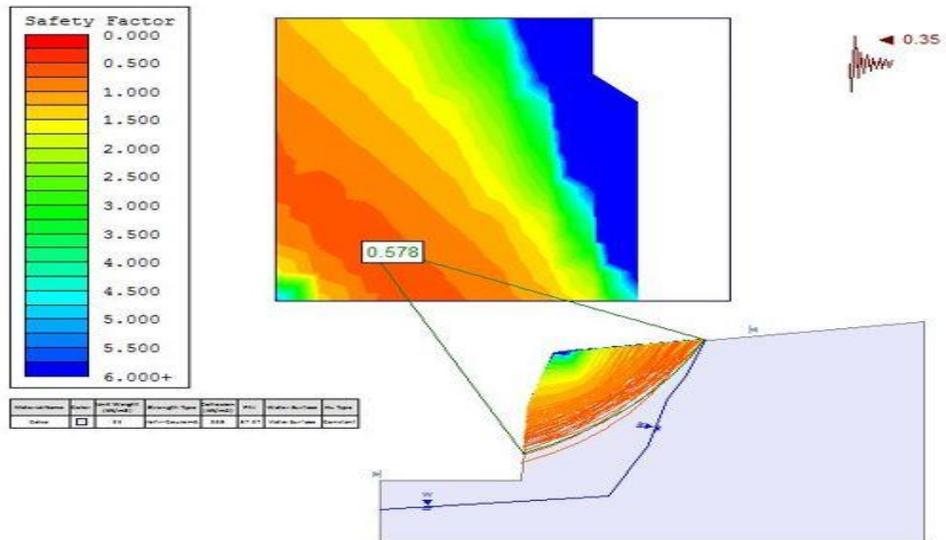


Figura 27.

Talud 3: Análisis del FS en condiciones pseudoestáticas.



Se aprecia que el talud es inestable en condiciones estáticas con un Factor de Seguridad es de 0.717 y un FS de 0.578 para condiciones pseudoestáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.35 y un coeficiente vertical de 0.

Aplicando el sistema de refuerzo para la estabilidad de taludes con cambio de topografía, aumenta el FS en condiciones estáticas es de 4.964 y en condiciones pseudoestáticas tenemos un FS de 3.263.

Figura 28.

Talud 3. Análisis del FS en condiciones estáticas con sistema de cambio de topografía.

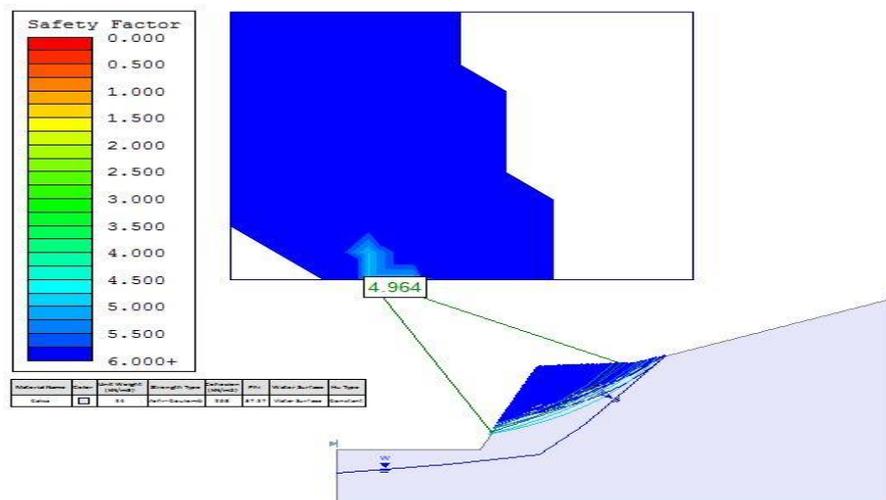
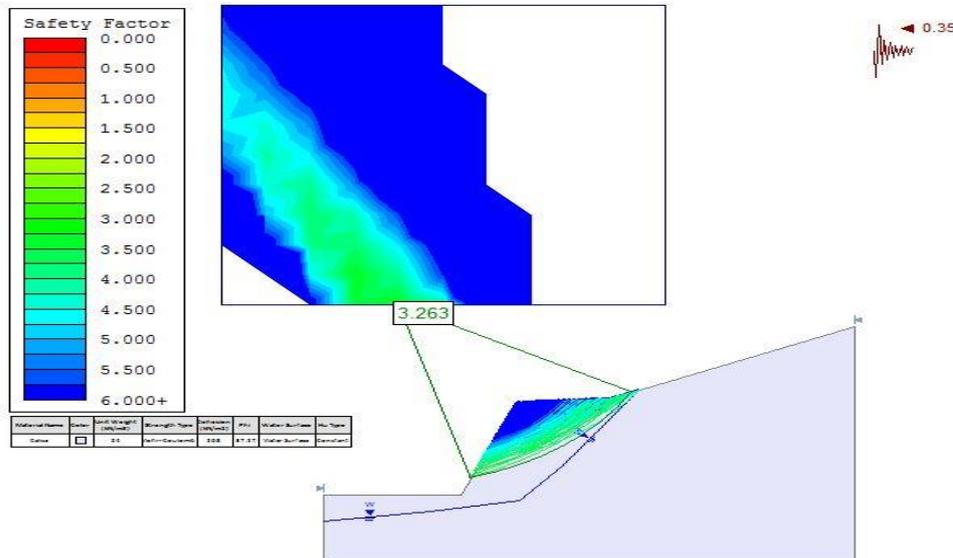


Figura 1.

Talud 3. Análisis del FS en condiciones pseudoestáticas con sistema de cambio de topografía.



3.4 Caracterización geomecánica del TALUD 04

3.4.1 Evaluación del RMR en el talud 04

El talud 4 se encuentra ubicado las coordenadas E: 796554 N: 9219513 a la margen derecha de la carretera “La Encañada - Celendín”. El talud está compuesto por caliza de la Fm. Yumagual, este talud también es bastante alto de 37 metros, se observa varias familias de diaclasas, unas están con pendientes casi verticales y otras más horizontales.

- **Resistencia de la roca intacta**

La roca se rompe en promedio con 1 golpes de picota.

Tabla 45. Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta”

N° de golpes con la picota	UCS (MPa)	PLS (MPa)	Puntaje	Comentarios
Hendida por la uña	<1	En este rango	0	
El espécimen se desmenuza bajo la acción de firmes golpes, puede	1 a 5	no se recomienda el uso	1	

ser mondado por una navaja.			ensayos de		Resistencia
El espécimen puede ser raspado con dificultad con una navaja del bolsillo, se endenta mas de 5mm con un golpe.	5 a 25		carga puntual para estimar la resistencia a la roca “intacta”	2	muy baja
El espécimen no puede ser raspado con una navaja del bolsillo, puede ser fracturado con un golpe.	25 a 50	1 a 2		4	Resistencia baja
Se rompe con 1 o 2 golpes.	50 a 100	2 a 4		7	Resistencia Moderada
Se rompe con 3 o más golpes.	100 a 250	4 a 10		12	Resistencia alta
El espécimen no se rompe solo se astilla.	>250	>10		15	Resistencia muy alta

- **Índice de calidad de la roca, RQD**

El RQD se ha estimado midiendo una longitud lineal de 9m del talud.

Se calculó mediante la siguiente formula:

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

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{m}$$

$$\lambda = \frac{53}{9}$$

$$\lambda = 5.89$$

$$RQD = 88.17\%$$

Tabla 46.

Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD

Calidad de Macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA calidad geotécnica	<25	3
MALA calidad geotécnica	25 a 50	8
REGULAR calidad geotécnica	50 a a75	13
BUENA calidad geotécnica	75 a 90	17
EXCELENTE calidad geotécnica	90 a 100	20

Según los cálculos obtenidos para el RQD se sitúa entre un 75 a 90 % ello indica que la calidad del macizo rocoso es de buena calidad geotécnica, recibiendo un puntaje de 17.

- **Espaciamiento de las discontinuidades**

En este punto se midieron 3 sistemas de discontinuidades (denominado 1, 2 y 3) que corresponden a: los estratos como estructura principal denominado 1 y los otros a familias de diaclasas denominado (2 y 3).

Para los tres sistemas de discontinuidades se obtuvo un valor promedio de 61cm = 0.61 m, obteniendo una valoración de 15.

Tabla 47.

Valoración para el espaciamiento

Espaciado de las discontinuidades	>2m	0.6-2m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m
Valor	20	15	10	8	5

- **Condición de las discontinuidades (Jc)**

Persistencia: se tomó una longitud de 10m, obteniendo un puntaje de 1.

Tabla 48.

Valoración de la persistencia

Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Valor	6	4	2	1	0

Abertura: se obtuvo un valor de 9mm, obteniendo una valoración de 0.

Tabla 49.

Valoración para la abertura

Abertura	Nada	<0.01mm	0.1-1.0 mm	1-5mm	>5mm
Valor	6	5	3	1	0

Rugosidad: la roca fue ligeramente rugosa, obteniendo una valoración de 3.

Tabla 50.

Valoración de la Rugosidad

Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	ondulada	suave
Valor	6	5	3	1	0

Relleno: se reconoció un Relleno blando >5mm, obteniendo una valoración de 0.

Tabla 51.

Valoración del tipo de Relleno

Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
Valor	6	4	2	2	0

Alteración: el macizo presenta se encuentra ligeramente alterada, obteniendo una valoración de 5.

Tabla 52.

Valoración para el tipo de alteración

Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Valor	6	5	3	1	0

Condición del agua

El macizo rocoso se presenta en condiciones húmedas, obteniendo una valoración de 7.

Tabla 53. Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso

Flujo de agua en juntas	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
Valor	15	10	7	4	0

- **Valoración del macizo rocoso RMR básico.**

Tabla 54.

Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.

PARAMETROS	VALOR	PUNTAJE
Resistencia de la roca	25-50 MPa	4

RQD %	88.17	17
Espaciamiento	0.61m	15
Persistencia	10m	2
Abertura	9mm	0
Rugosidad	Ligeramente Rugoso	3
Relleno	Relleno Duro >5 mm	0
Alteración	Ligeramente alterada	5
Presencia de agua	Húmedo	7
TOTAL RMR BASICO		53

- **Valoración del RMR ajustado.**

Tabla 55.

Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades

ORIENTACIÓN			OBRA
Az	Dip	EE	Tal
N295°	70°	-	X
Dirección de las Discontinuidades			Corrección por orientación
Rumbo de las discontinuidades: Perpendicular			
Excavación con el Buzamiento			0
Incl. 45° - 90°			
TOTAL RMR AJUSTADO			53

3.4.2 Valoración GSI

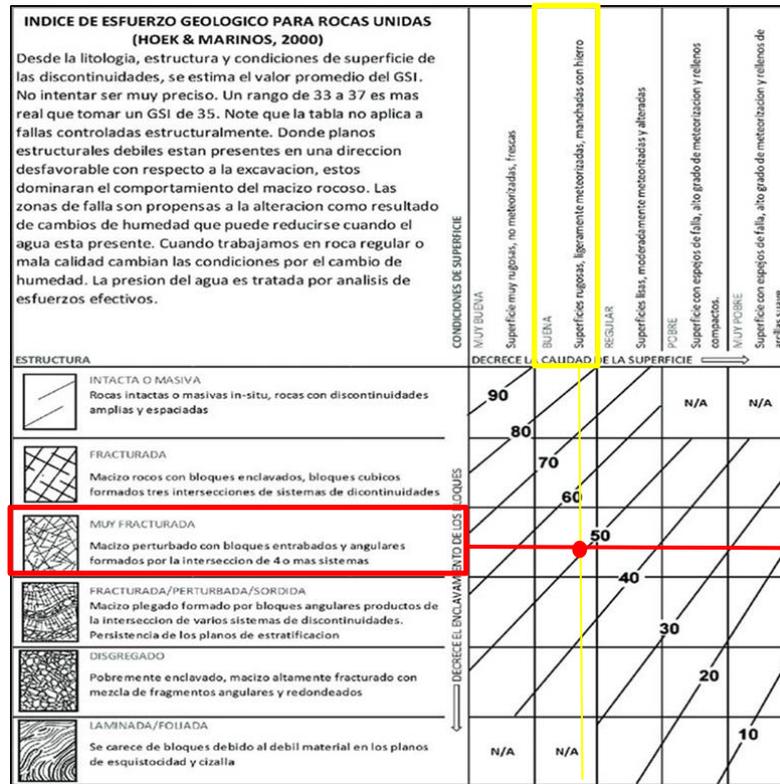
Tabla 56.

Valoración del GSI

GSI	
GSI = RMR BASICO - 5	
GSI = 53 - 5	TOTAL
	48

Figura 29.

Valorización de GSI en campo.

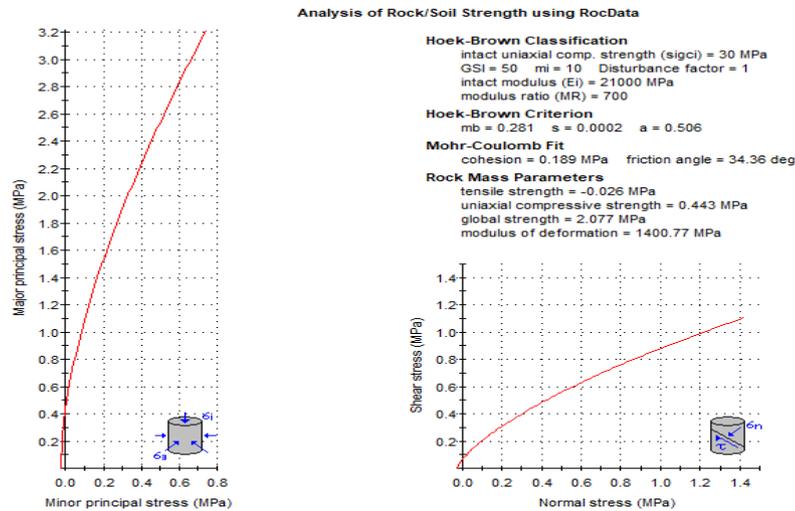


3.4.3 Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown

En este análisis se ingresa el rango de resistencia a la compresión uniaxial y el GSI y el tipo de roca en la que se ha hecho el análisis, para el primer talud se obtuvo un valor de GSI de 50 valorizado en campo y una resistencia a la compresión valorada con golpes de picota la cual se obtuvo entre 25-50Mpa. Después del análisis se obtuvo un Angulo de fricción de 34.36° y una cohesión relativamente baja de 0.189Mpa.

Figura 30.

Talud N°4: Análisis en RocData.



Se obtuvieron por resultados los siguientes; Ángulo de Fricción: 34.36° y Cohesión: 0,189 Mpa.

3.4.4 Análisis cinemático

Tabla 57.

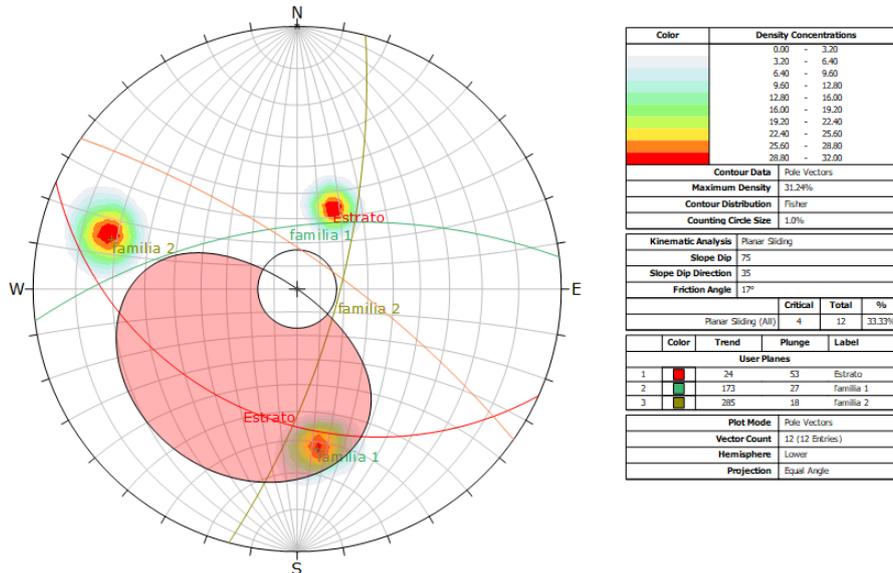
Datos de discontinuidades por familias.

ESTACIÓN	NORTE	ESTE	AZIMUT	BUZAMIENTO	DIP DIRECTION
4					
ESTRATO	9219513	796554	N113	35	225
	9219513	796554	N115	40	220
	9219513	796554	N120	36	210
	9219513	796554	N108	38	215
FAMILIA 1	9219513	796554	N260	60	283
	9219513	796554	N265	62	280
	9219513	796554	N268	65	275
	9219513	796554	N256	63	285
FAMILIA 2	9219513	796554	N15	75	180
	9219513	796554	N18	70	184
	9219513	796554	N12	72	178
	9219513	796554	N20	76	182

- Análisis de rotura planar

Figura 31.

Talud N°4: Análisis de Rotura Planar.

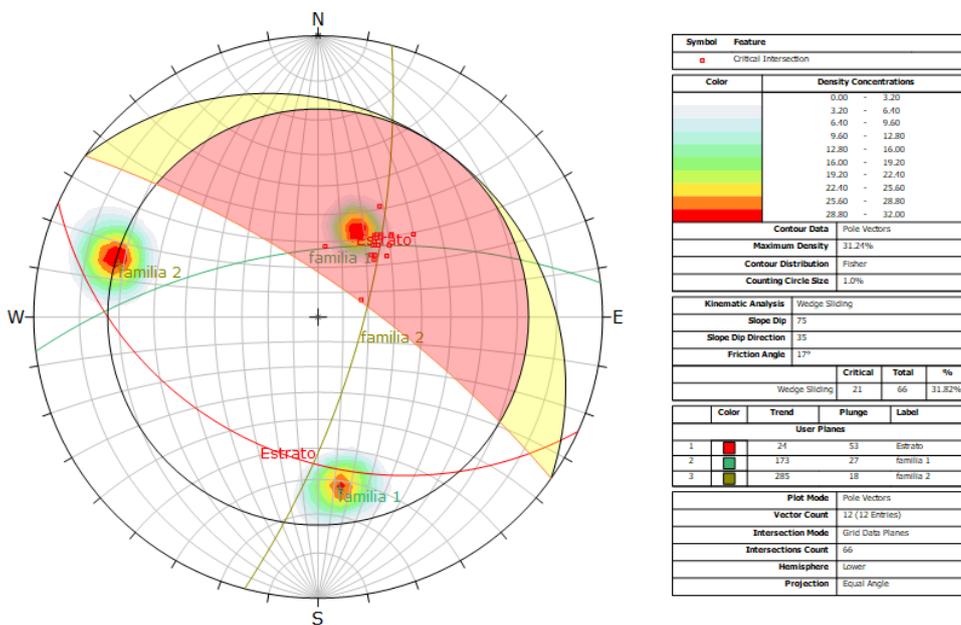


El análisis indica una probabilidad de 33.33% para rotura planar, siendo la familia 1 la más crítica.

- Análisis de rotura por cuña

Figura 32.

Talud N°4: Análisis de Rotura por Cuña.

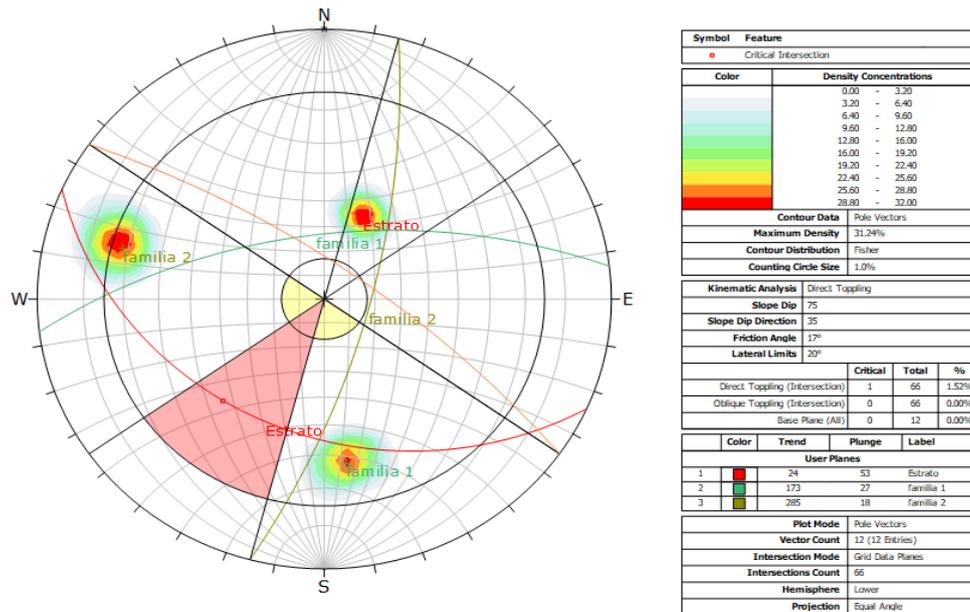


Los resultados indican una probabilidad de 31,82% para rotura por cuña.

- **Análisis de rotura por vuelco**

Figura 33.

Talud N°4: Análisis de Rotura por Vuelco.



El análisis determina una probabilidad del 1,52% para rotura por vuelco.

3.4.5 Factor de seguridad

Figura 34.

Talud 4: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas.

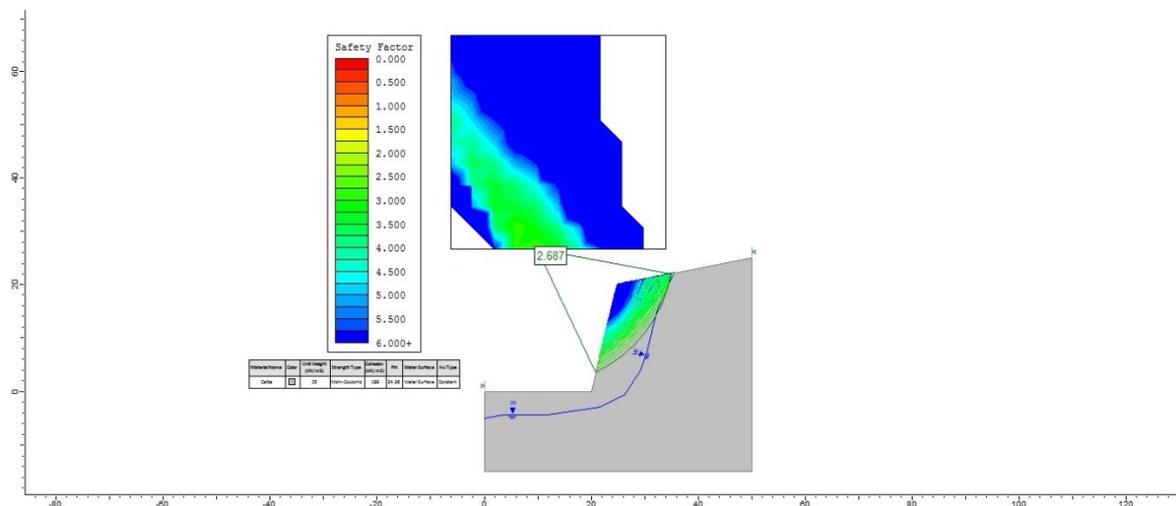
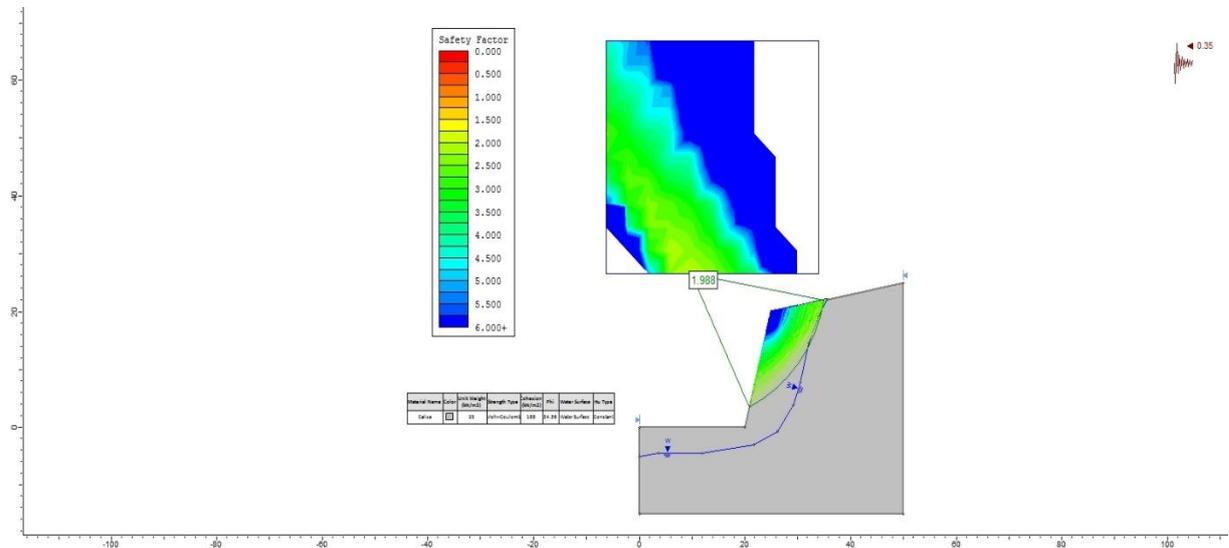


Figura 35.

Talud 4: Análisis del factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas.



Se aprecia que el talud es estable en condiciones estáticas cuenta con un FS de 2.687 y para condiciones pseudoestáticas con FS de 1.988, con un coeficiente de sismicidad horizontal de 0.35 y un coeficiente vertical de 0.

3.5 Caracterización geomecánica del TALUD 05

3.5.1 Evaluación del RMR en el talud 05

El talud se encuentra ubicado en las coordenadas E: 795424 N: 9219439, en la carretera “La Encañada - Celendín” en el margen derecho. El talud está compuesto por calizas altamente fracturadas perteneciente a la Fm. Yumagual, este talud tiene una altura de 10 metros y un grado de pendiente bastante alto.

- **Resistencia de la roca intacta**

La roca se rompe en promedio con 1 golpe de picota.

Tabla 58.

Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta”

N° de golpes con la picota	UCS (MPa)	PLS (MPa)	Puntaje	Comentarios
Hendida por la uña	<1	En este rango	0	
El espécimen se desmenuza bajo la acción de firmes golpes, puede ser mondado por una navaja.	1 a 5	no se recomienda el uso de ensayos de carga puntual para estimar la resistencia a la roca “intacta”	1	Resistencia muy baja
El espécimen puede ser raspado con dificultad con una navaja del bolsillo, se endenta mas de 5mm con un golpe.	5 a 25	para estimar la resistencia a la roca “intacta”	2	
El espécimen no puede ser raspado con una navaja del bolsillo, puede ser fracturado con un golpe.	25 a 50	1 a 2	4	Resistencia baja
Se rompe con 1 o 2 golpes.	50 a 100	2 a 4	7	Resistencia Moderada
Se rompe con 3 o más golpes.	100 a 250	4 a 10	12	Resistencia alta
El espécimen no se rompe solo se astilla.	>250	>10	15	Resistencia muy alta

- **Índice de calidad de la roca, RQD**

El RQD se ha estimado midiendo una longitud lineal de 4m del talud.

Se calculó mediante la siguiente formula:

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

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{m}$$

$$\lambda = \frac{38}{4}$$

$$\lambda = 9.5$$

$$RQD = 75.41\%$$

Tabla 59.

Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD

Calidad de Macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA calidad geotécnica	<25	3
MALA calidad geotécnica	25 a 50	8
REGULAR calidad geotécnica	50 a a75	13
BUENA calidad geotécnica	75 a 90	17
EXCELENTE calidad geotécnica	90 a 100	20

Según los cálculos obtenidos para el RQD se sitúa entre un valor de 75 a 90 %, ello indica que la calidad del macizo rocoso es de buena calidad geotécnica, recibiendo un puntaje de 17.

- **Espaciamiento de las discontinuidades**

En este punto se midieron 3 sistemas de discontinuidades (denominado 1, 2 y 3) que corresponden a: los estratos como estructura principal denominado 1 y los otros a familias de diaclasas denominado (2 y 3).

Para los tres sistemas de discontinuidades se obtuvo un valor promedio de 42cm = 0.42 m, obteniendo una valoración de 10.

Tabla 60.

Valoración para el espaciamiento

Espaciado de las discontinuidades	>2m	0.6-2m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m
Valor	20	15	10	8	5

- **Condición de las discontinuidades (Jc)**

Persistencia: se tomó una longitud de 10m, obteniendo un puntaje de 2.

Tabla 61.

Valoración de la persistencia

Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Valor	6	4	2	1	0

Abertura: se obtuvo un valor promedio de 6mm, obteniendo una valoración de 0.

Tabla 62.

Valoración para la abertura

Abertura	Nada	<0.01mm	0.1-1.0 mm	1-5mm	>5mm
Valor	6	5	3	1	0

Rugosidad: la roca fue ligeramente rugosa, obteniendo una valoración de 3.

Tabla 63.

Valoración de la Rugosidad

Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	ondulada	suave
Valor	6	5	3	1	0

Relleno: se reconoció un Relleno blando >5mm, obteniendo una valoración de 0.

Tabla 64.

Valoración del tipo de Relleno

Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
Valor	6	4	2	2	0

Alteración: el macizo presenta se encuentra ligeramente alterado, obteniendo una valoración de 5.

Tabla 65.

Valoración para el tipo de alteración

Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Valor	6	5	3	1	0

Condición del agua

El macizo rocoso se presenta en condiciones húmedas, obteniendo una valoración de 7.

Tabla 66.

Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso.

Flujo de agua en juntas	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
Valor	15	10	7	4	0

- **Valoración del macizo rocoso RMR básico.**

Tabla 67.

Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.

PARAMETROS	VALOR	PUNTAJE
Resistencia de la roca	25-50 MPa	4
RQD %	75.41	17
Espaciamiento	0.42m	10
Persistencia	10m	2
Abertura	6mm	0
Rugosidad	Ligeramente Rugoso	3
Relleno	Relleno Duro >5 mm	0
Alteración	Ligeramente alterada	5
Presencia de agua	Húmedo	7
TOTAL RMR BASICO		48

- **Valoración del RMR ajustado.**

Tabla 68.

Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades

ORIENTACIÓN			OBRA
Az	Dip	EE	Tal
N295°	70°	-	

Dirección de las Discontinuidades	
Rumbo de las discontinuidades: Perpendicular	Corrección por orientación
Excavación con el Buzamiento Incl. 45° - 90°	0
TOTAL RMR AJUSTADO	48

3.5.2 Valoración GSI

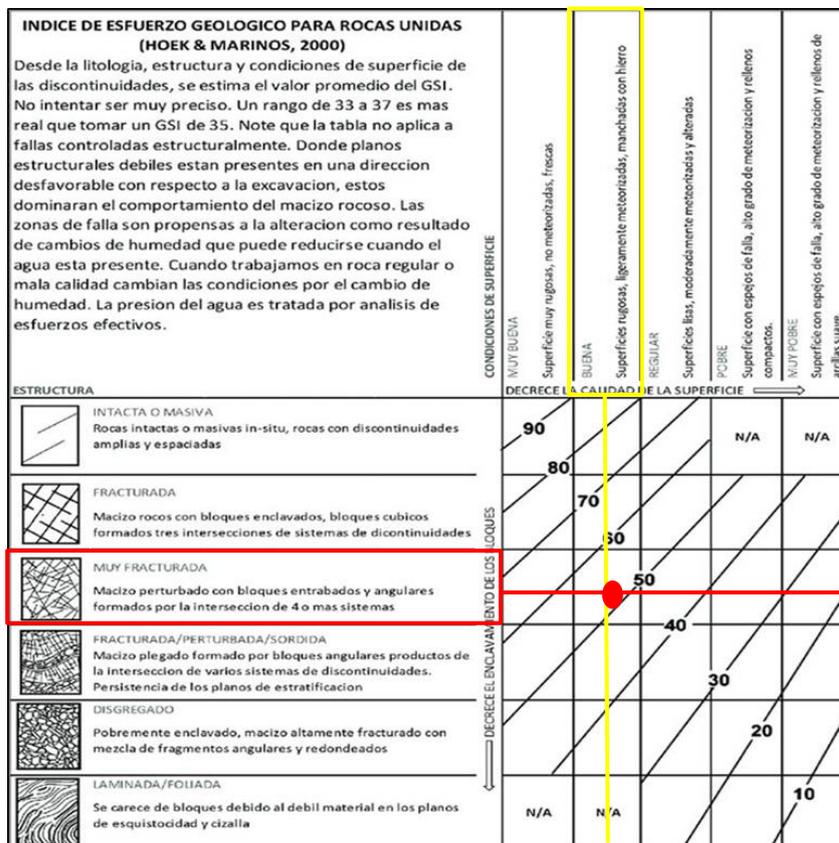
Tabla 69.

Valoración del GSI

GSI	
GSI = RMR BASICO - 5	
GSI = 48 - 5	TOTAL 43

Figura 36.

Valorización de GSI en campo "talud 5".

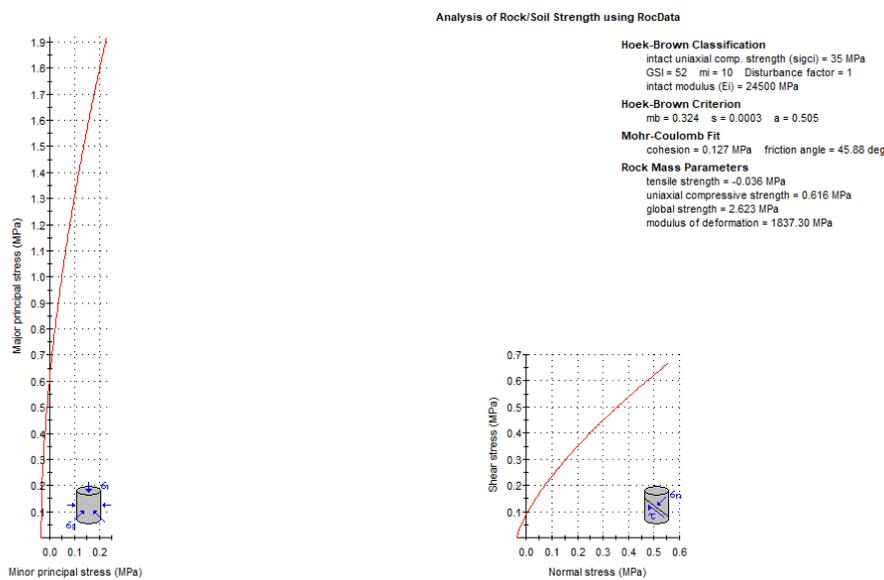


3.5.3 Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown

En este análisis se ingresa el rango de resistencia a la compresión uniaxial, el GSI y el tipo de roca en la que se ha hecho el análisis, para el quinto talud se obtuvo un valor de GSI de 52 valorizado en campo y una resistencia a la compresión valorada con golpes de picota la cual se obtuvo entre 25-50Mpa.

Figura 37.

Talud N°5: Análisis en RocData.



Los resultados obtenidos del análisis son; Ángulo de Fricción: 45.88 y Cohesión: 0,127 Mpa.

3.5.4 Análisis cinemático

Tabla 70.

Datos de discontinuidades por familias.

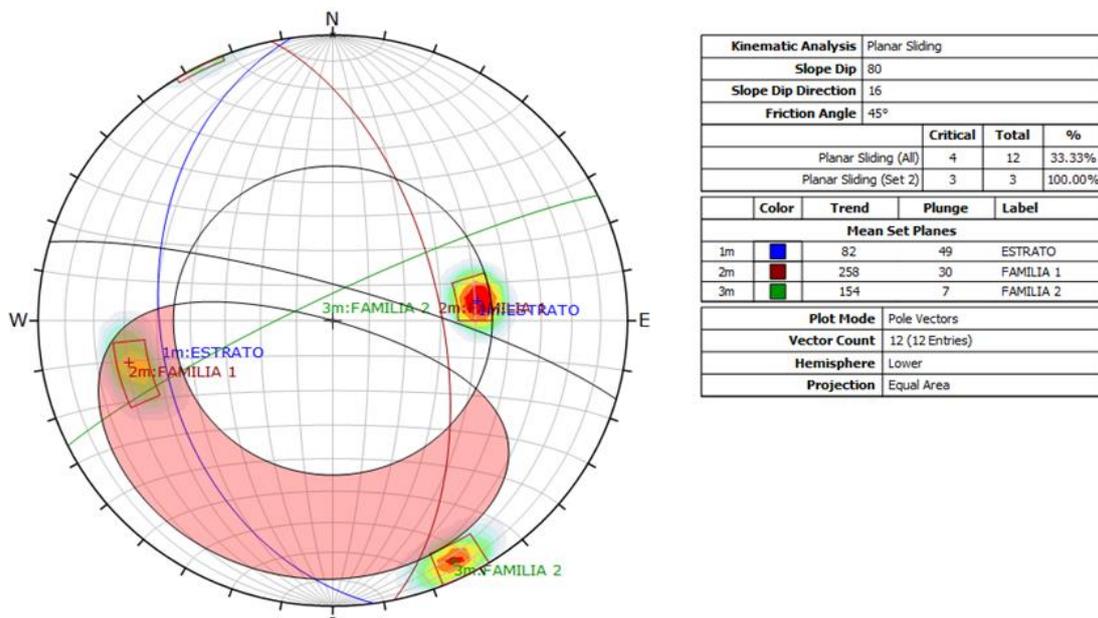
ESTACIÓN	NORTE	ESTE	AZIMUT	BUZAMIENTO	DIP DIRECTION
5					
ESTRATO	9219439	795424	N170	40	260
	9219439	795424	N173	42	263
	9219439	795424	N175	43	265
	9219439	795424	N170	40	260
FAMILIA 1	9219439	795424	N341	60	71

	9219439	795424	N349	61	79
	9219439	795424	N353	59	83
	9219439	795424	N339	52	69
FAMILIA 2	9219439	795424	N245	86	335
	9219439	795424	N240	80	330
	9219439	795424	N243	85	333
	9219439	795424	N248	82	338

- **Análisis de rotura planar**

Figura 38.

Talud N°5: Análisis de Rotura Planar.

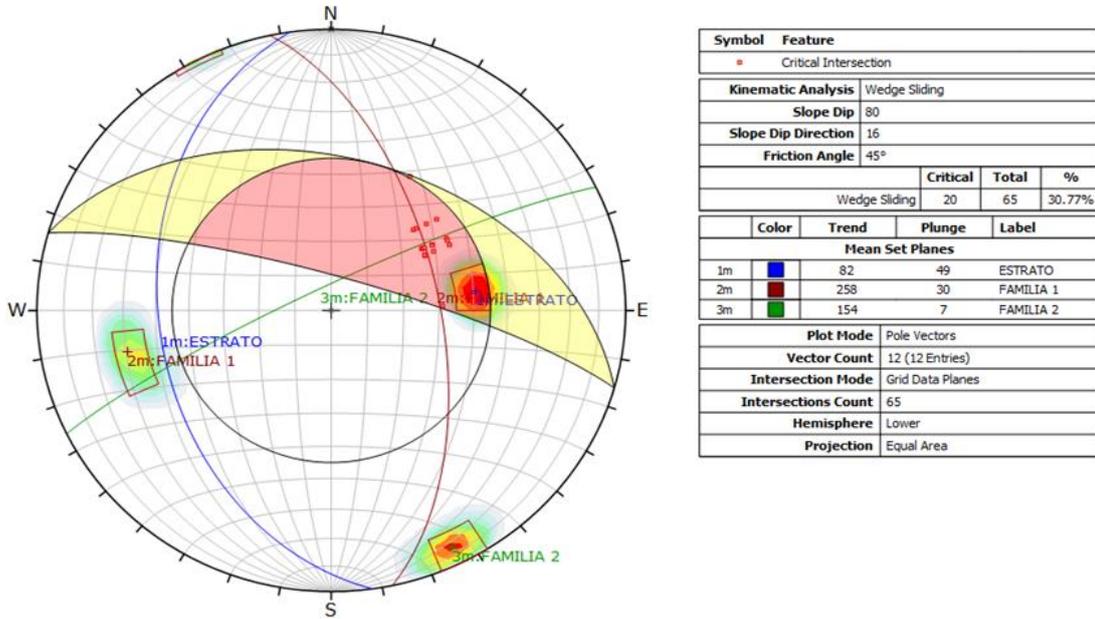


El análisis determinó una probabilidad de 100% para la rotura planar, siendo la familia 2 la más crítica para deslizamiento.

- **Análisis de rotura por cuña**

Figura 39.

Talud N°5: Análisis de Rotura por Cuña.

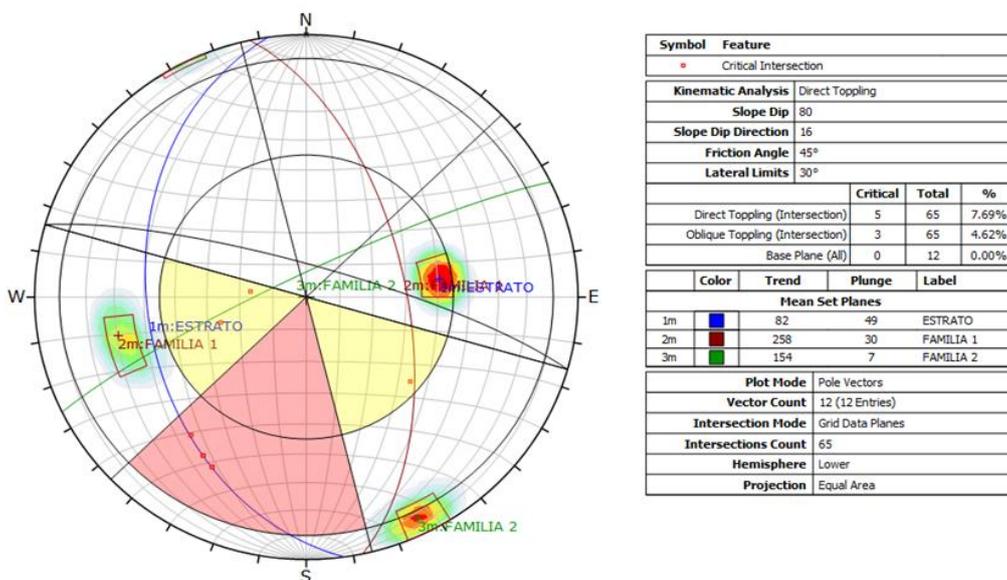


Los resultados indican una probabilidad de 30,77% para rotura por cuña.

- Análisis de rotura por vuelco

Figura 40.

Talud N°5: Análisis de Rotura por Vuelco.



El análisis determina una probabilidad del 7.69% para una rotura por vuelco.

3.5.5 Factor de seguridad

Figura 41.

Talud 5: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas.

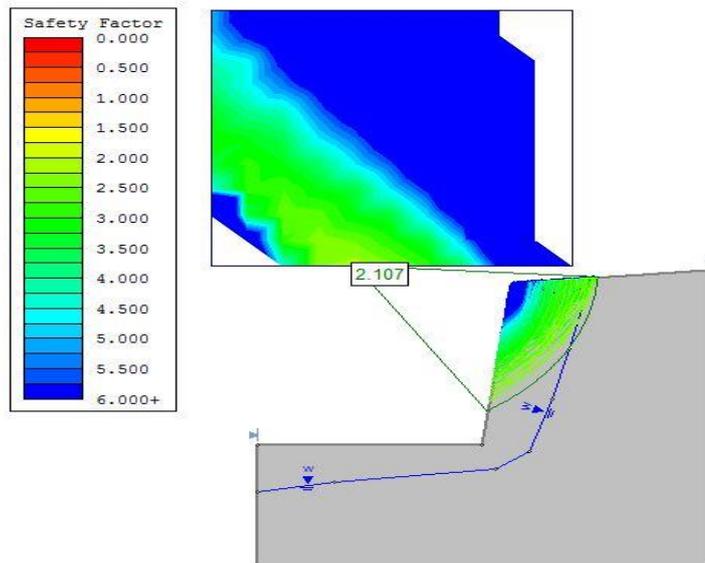
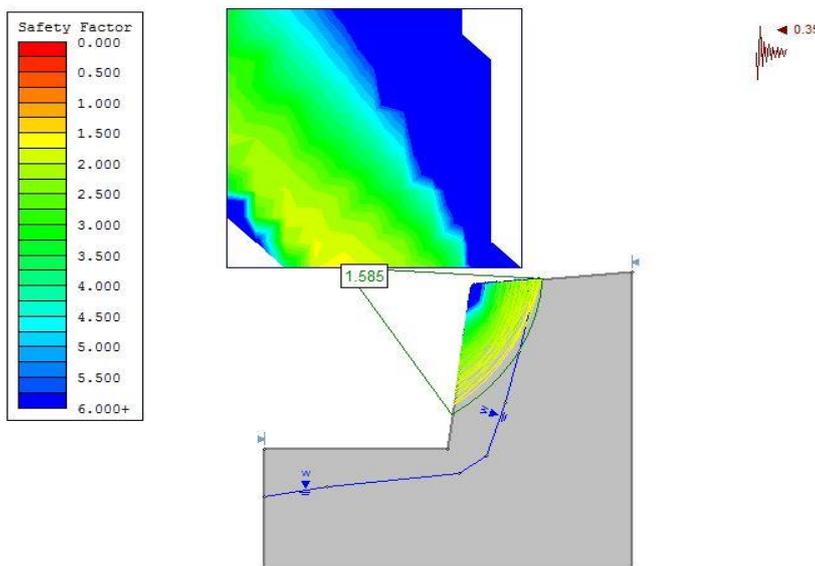


Figura 42.

Talud 5: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones pseudoestáticas.



Se aprecia que el talud es estable en su condición inicial con un Factor de Seguridad en condiciones estáticas de 2.107 y para condiciones pseudoestáticas el FS es de 1.585 con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.35 y un coeficiente vertical de 0.

3.6 Caracterización geomecánica del TALUD 06

3.6.1 Evaluación del RMR en el talud 06

El talud se encuentra ubicado en las coordenadas E: 795353 N: 9219493 de la carretera “La Encañada - Celendín” en el margen derecho. El talud está compuesto por calizas fracturadas perteneciente a la Fm. Yumagual, presenta paquetes gruesos de caliza con finas intercalaciones de lutitas, este talud tiene una altura de 8 metros y un grado de pendiente casi vertical.

- **Resistencia de la roca intacta**

La roca se rompe en promedio con 1 golpe de picota.

Tabla 71.

Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta”

N° de golpes con la picota	UCS (MPa)	PLS (MPa)	Puntaje	Comentarios
Hendida por la uña	<1	En este rango no se recomienda el uso de ensayos de carga puntual para estimar la resistencia a la roca “intacta”	0	
El espécimen se desmenuza bajo la acción de firmes golpes, puede ser mondado por una navaja.	1 a 5		1	Resistencia muy baja
El espécimen puede ser raspado con dificultad con una	5 a 25		2	

navaja del bolsillo, se endenta mas de 5mm con un golpe.

El espécimen no puede ser raspado con una navaja del bolsillo, puede ser fracturado con un golpe.	25 a 50	1 a 2	4	Resistencia baja
Se rompe con 1 o 2 golpes.	50 a 100	2 a 4	7	Resistencia Moderada
Se rompe con 3 o más golpes.	100 a 250	4 a 10	12	Resistencia alta
El espécimen no se rompe solo se astilla.	>250	>10	15	Resistencia muy alta

- **Índice de calidad de la roca, RQD**

El RQD se ha estimado midiendo una longitud lineal de 6m del talud.

Se calculó mediante la siguiente formula:

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

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{m}$$

$$\lambda = \frac{47}{6}$$

$$\lambda = 7.835$$

$$RQD = 81.48\%$$

Tabla 72.

Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD

Calidad de Macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA calidad geotécnica	<25	3
MALA calidad geotécnica	25 a 50	8
REGULAR calidad geotécnica	50 a a75	13
BUENA calidad geotécnica	75 a 90	17
EXCELENTE calidad geotécnica	90 a 100	20

Según los cálculos obtenidos para el RQD se sitúa entre un valor de 75 a 90 %, ello indica que la calidad del macizo rocoso es de buena calidad geotécnica, recibiendo un puntaje de 17.

- **Espaciamiento de las discontinuidades**

En este punto se midieron 3 sistemas de discontinuidades (denominado 1, 2 y 3) que corresponden a: los estratos como estructura principal denominado 1 y los otros a familias de diaclasas denominado (2 y 3).

Para los tres sistemas de discontinuidades se obtuvo un valor promedio de 69cm = 0.69 m, obteniendo una valoración de 15.

Tabla 73.

Valoración para el espaciamiento

Espaciado de las discontinuidades	>2m	0.6-2m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m
Valor	20	15	10	8	5

- **Condición de las discontinuidades (Jc)**

Persistencia: se calculó una longitud aproximada de 8m, obteniendo un puntaje de 2.

Tabla 74.

Valoración de la persistencia

Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Valor	6	4	2	1	0

Abertura: se obtuvo un valor promedio de 9mm, obteniendo una valoración de 0.

Tabla 75.

Valoración para la abertura

Abertura	Nada	<0.01mm	0.1-1.0 mm	1-5mm	>5mm
Valor	6	5	3	1	0

Rugosidad: la roca fue ligeramente rugosa, obteniendo una valoración de 3.

Tabla 76.

Valoración de la Rugosidad

Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	ondulada	suave
Valor	6	5	3	1	0

Relleno: se reconoció un Relleno blando >5mm, obteniendo una valoración de 0.

Tabla 77.

Valoración del tipo de Relleno

Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
Valor	6	4	2	2	0

Alteración: el macizo presenta se encuentra ligeramente alterado, obteniendo una valoración de 5.

Tabla 78.

Valoración para el tipo de alteración

Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Valor	6	5	3	1	0

Condición del agua

El macizo rocoso se presenta en condiciones húmedas, obteniendo una valoración de 7.

Tabla 79.

Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso

Flujo de agua en juntas	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
Valor	15	10	7	4	0

- **Valoración del macizo rocoso RMR básico.**

Tabla 80.

Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.

PARAMETROS	VALOR	PUNTAJE
Resistencia de la roca	25-50 MPa	4
RQD %	81.48	17
Espaciamiento	0.69m	10
Persistencia	10m	2
Abertura	9mm	0
Rugosidad	Ligeramente Rugoso	3
Relleno	Relleno Duro >5 mm	0
Alteración	Ligeramente alterada	5
Presencia de agua	Húmedo	7
TOTAL RMR BASICO		53

- **Valoración del RMR ajustado.**

Tabla 81.

Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades

ORIENTACIÓN			OBRA
Az	Dip	EE	Tal
N295°	70°	-	X
Dirección de las Discontinuidades			Corrección por orientación
Rumbo de las discontinuidades: Perpendicular			
Excavación con el Buzamiento			0
Incl. 45° - 90°			
TOTAL RMR AJUSTADO			53

3.6.2 Valoración GSI

Tabla 82.

Valoración del GSI

GSI	
GSI = RMR BASICO - 5	
GSI = 53 - 5	TOTAL
	48

Figura 43.

Valorización de GSI en campo "talud 6".

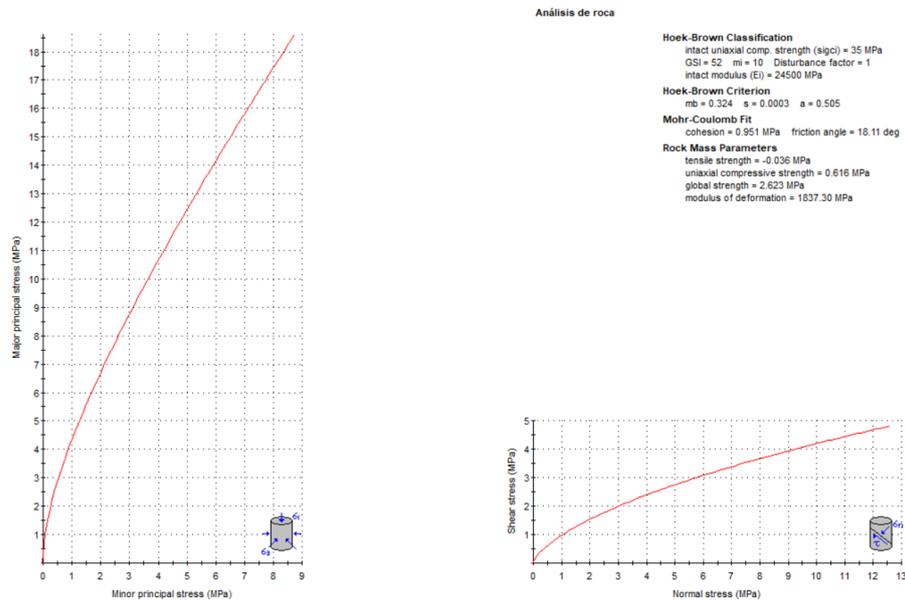
INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000)	CONDICIONES DE SUPERFICIE			
Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.	MUY BUENA Superficie muy rugosa, no meteorizadas, frescas.	BUENA Superficie rugosa, ligeramente meteorizadas, machadas con hierro	REGULAR Superficie lisa, moderadamente meteorizadas y alternadas	POBRE Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos compactos.
	DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →			
	MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE
ESTRUCTURA	DECRECE EL ENCLAVAMIENTO DE LOS BLOQUES			
 INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas	90			N/A
 FRACTURADA Macizo rocoso con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de discontinuidades	80			N/A
 MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entrabados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas	70	50		N/A
 FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion	60	40		N/A
 DISGREGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados	50	30		N/A
 LAMINADA/FOLIADA Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistocidad y cizalla	40	20		N/A
	30	10		N/A
	20			N/A
	10			N/A
	N/A	N/A		N/A
	N/A	N/A		N/A

3.6.3 Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown

En este análisis se ingresa el rango de resistencia a la compresión uniaxial, el GSI y el tipo de roca en la que se ha hecho el análisis, para el quinto talud se obtuvo un valor de GSI de 52 valorizado en campo y una resistencia a la compresión valorada con golpes de picota la cual se obtuvo entre 25-50Mpa.

Figura 44.

Talud N°6: Análisis en RocData.



Los resultados obtenidos del análisis son; Ángulo de Fricción: 18.11° y Cohesión: 0,951 Mpa.

3.6.4 Análisis cinemático

Tabla 83.

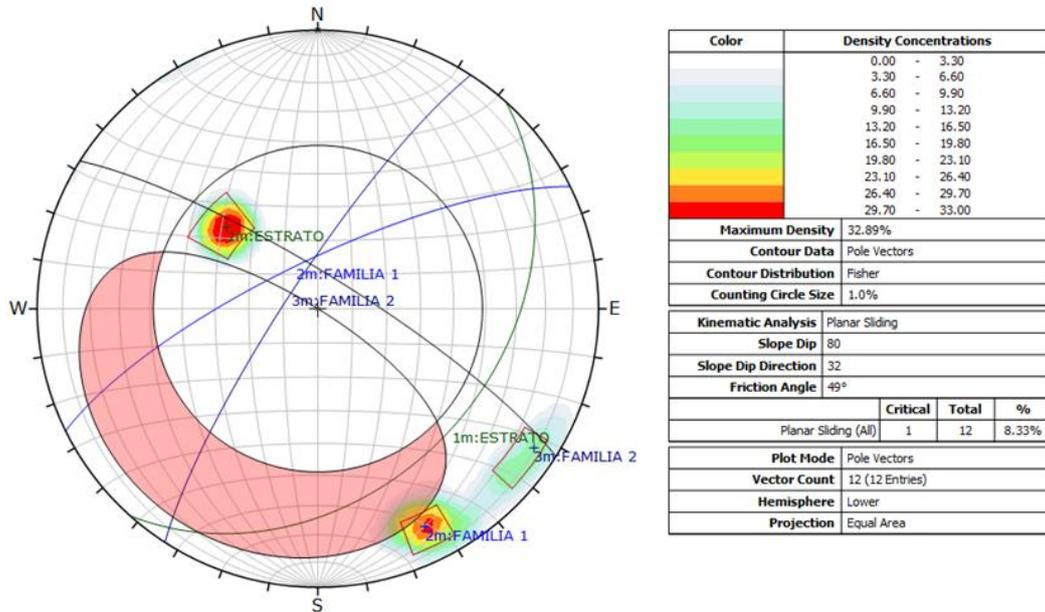
Datos de discontinuidades por familias.

ESTACIÓN	NORTE	ESTE	AZIMUT	BUZAMIENTO	DIP DIRECTION
5					
ESTRATO	9219493	795353	N41	35	131
	9219493	795353	N43	38	133
	9219493	795353	N42	34	132
	9219493	795353	N40	36	130
FAMILIA 1	9219493	795353	N241	85	331
	9219493	795353	N274	80	315
	9219493	795353	N210	84	300
	9219493	795353	N217	79	307
FAMILIA 2	9219493	795353	N245	75	335
	9219493	795353	N240	80	330
	9219493	795353	N243	70	333
	9219439	795353	N248	74	338

- **Análisis de rotura planar**

Figura 45.

Talud N°6: Análisis de Rotura Planar..

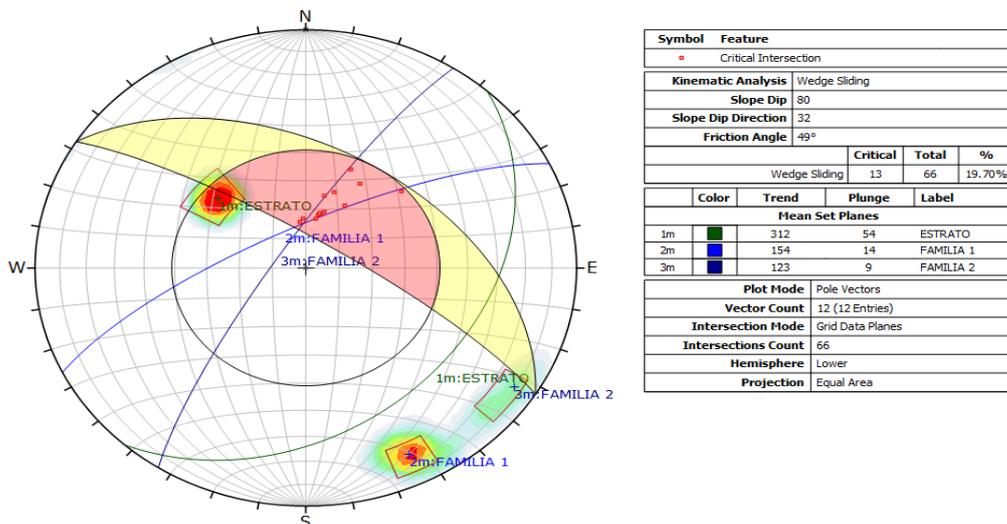


El Mediante el análisis se determinó una probabilidad de 8.33% para una rotura planar.

- **Análisis de rotura por cuña**

Figura 46.

Talud N°6: Análisis de Rotura por Cuña.

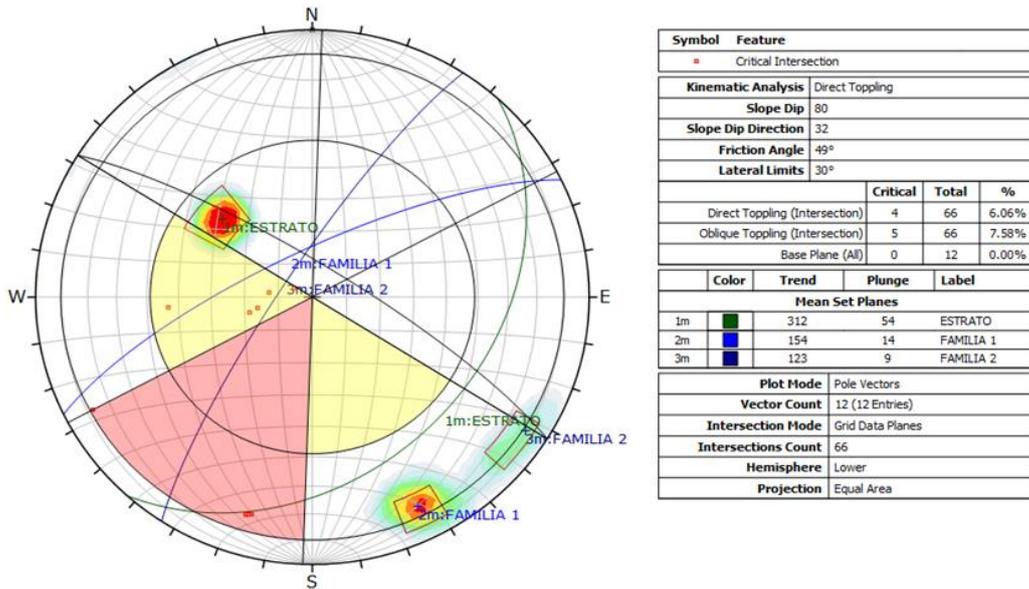


Los resultados indican una probabilidad de 19.70% para rotura por cuña.

- **Análisis de rotura por vuelco**

Figura 47.

Talud N°6: Análisis de Rotura por Vuelco.



El análisis determina una probabilidad del 7.58% para una rotura por vuelco.

3.6.5 Factor de seguridad

Figura 48.

Talud 6: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas.

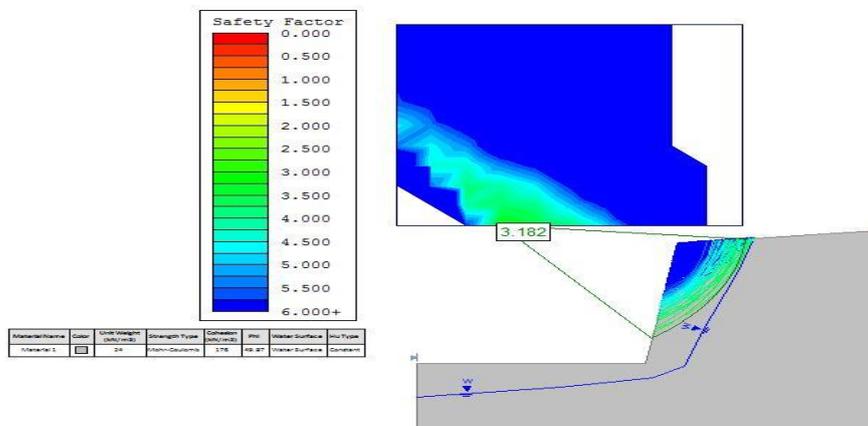
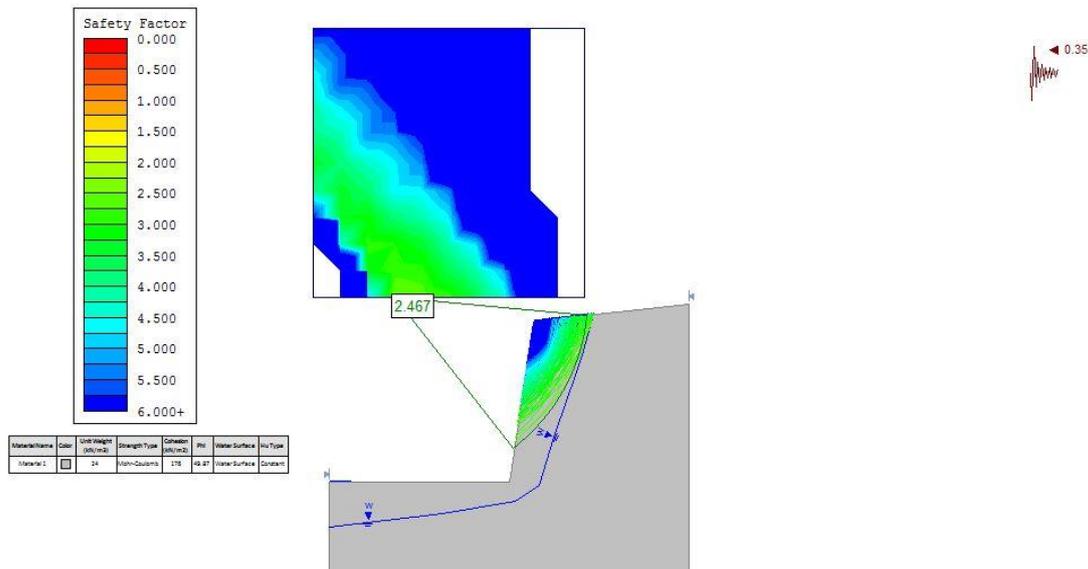


Figura 49.

Talud 6: Análisis del factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas.



Se aprecia que el talud es estable en su condición inicial con un Factor de Seguridad es de 3.182 para condiciones estáticas y para condiciones pseudoestáticas el FS es de 2.467 con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.35 y un coeficiente vertical de 0.

3.7 Caracterización geomecánica del TALUD 07

3.7.1 Evaluación del RMR en el talud 07

El talud se encuentra ubicado en las coordenadas E:796637 N:9219369 de la carretera “La Encañada - Celendín” en el margen derecho. El talud está compuesto por calizas altamente fracturadas perteneciente a la Fm. Yumagual, se muestran estratos gruesos de caliza y finas intercalaciones de lutitas, este talud tiene una altura de 45 metros y un grado de pendiente alto.

- **Resistencia de la roca intacta**

La roca se rompe con 1 golpe de picota.

Tabla 84.

Rango de Valores para la resistencia de la roca intacta.

N° de golpes con la picota	UCS (MPa)	PLS (MPa)	Puntaje	Comentarios
Hendida por la uña	<1	En este rango	0	
El espécimen se desmenuza bajo la acción de firmes golpes, puede ser mondado por una navaja.	1 a 5	no se recomienda el uso de ensayos de carga puntual para estimar la resistencia a la roca “intacta”	1	Resistencia muy baja
El espécimen puede ser raspado con dificultad con una navaja del bolsillo, se endenta mas de 5mm con un golpe.	5 a 25	a la roca “intacta”	2	
El espécimen no puede ser raspado con una navaja del bolsillo, puede ser fracturado con un golpe.	25 a 50	1 a 2	4	Resistencia baja
Se rompe con 1 o 2 golpes.	50 a 100	2 a 4	7	Resistencia Moderada
Se rompe con 3 o más golpes.	100 a 250	4 a 10	12	Resistencia alta
El espécimen no se rompe solo se astilla.	>250	>10	15	Resistencia muy alta

- **Índice de calidad de la roca, RQD**

El RQD se ha estimado midiendo una longitud lineal de 4m del talud.

Se calculó mediante la siguiente formula:

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

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{m}$$

$$\lambda = \frac{49}{4}$$

$$\lambda = 12.25$$

$$RQD = 65.36\%$$

Tabla 85. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD

Calidad de Macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA calidad geotécnica	<25	3
MALA calidad geotécnica	25 a 50	8
REGULAR calidad geotécnica	50 a 75	13
BUENA calidad geotécnica	75 a 90	17
EXCELENTE calidad geotécnica	90 a 100	20

Según los cálculos obtenidos para el RQD se sitúa entre un 50 a 75 % ello indica que la calidad del macizo rocoso es de regular calidad geotécnica, recibiendo un puntaje de 13.

- **Espaciamiento de las discontinuidades**

En este punto se midió 1 estrato y 4 diaclasas (denominado 1,2,3 y 4) que corresponden a los estratos como estructura principal el estrato 1, y los otros a las diaclasas (1, 2, 3 y 4).

Para los 4 sistemas de discontinuidades se obtuvo un valor promedio de 78 cm = 0.78 m, obteniendo una valoración de 15.

Tabla 86 .

Valoración para el espaciamiento

Espaciado de las discontinuidades	>2m	0.6-2m	0,2 – 0,6 m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m
Valor	20	15	10	8	5

- **Condición de las discontinuidades (Jc)**

Persistencia: se tomó una longitud de 2.6 m, obteniendo un puntaje de 4.

Tabla 87.

Valoración de la persistencia

Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Valor	6	4	2	1	0

Abertura: se obtuvo un valor de 9 mm = 0.009 m, obteniendo una valoración de 0.

Tabla 88.

Valoración para la abertura

Abertura	Nada	<0.01mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	>5mm
Valor	6	5	3	1	0

Rugosidad: la roca fue rugosa, obteniendo una valoración de 5.

Tabla 89.

Valoración de la Rugosidad

Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	ondulada	suave
Valor	6	5	3	1	0

Relleno: se reconoció un Relleno blando <5mm, obteniendo una valoración de 2.

Tabla 90.

Valoración del tipo de Relleno

Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
Valor	6	4	2	2	0

Alteración: el macizo presenta una alteración moderadamente, obteniendo una valoración de 3.

Tabla 91.

Valoración para el tipo de alteración

Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Valor	6	5	3	1	0

Condición del agua

El macizo rocoso se presenta en condiciones húmedas, obteniendo una valoración de 7.

Tabla 92.

Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso

Flujo de agua en juntas	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
Valor	15	10	7	4	0

- **Valoración del macizo rocoso RMR básico.**

Tabla 93.

Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.

PARAMETROS	VALOR	PUNTAJE
Resistencia de la roca	25 – 50 MPa	4
RQD %	65.36	13
Espaciamiento	0.78 m	15
Persistencia	1-3 m	4
Abertura	9 mm	0
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Relleno Blando < 5 mm	2
Alteración	Moderadamente	3
Presencia de agua	Húmedo	7
TOTAL RMR BASICO		53

- **Valoración del RMR ajustado.**

Tabla 94.

Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades

ORIENTACIÓN			OBRA
Az	Dip	EE	Tal
N239°	84°	-	X
Dirección de las Discontinuidades			Corrección por orientación
Rumbo de las discontinuidades: Perpendicular			
Excavación con el Buzamiento			0
Incl. 45° - 90°			
TOTAL RMR AJUSTADO			53

3.7.2 Valoración GSI

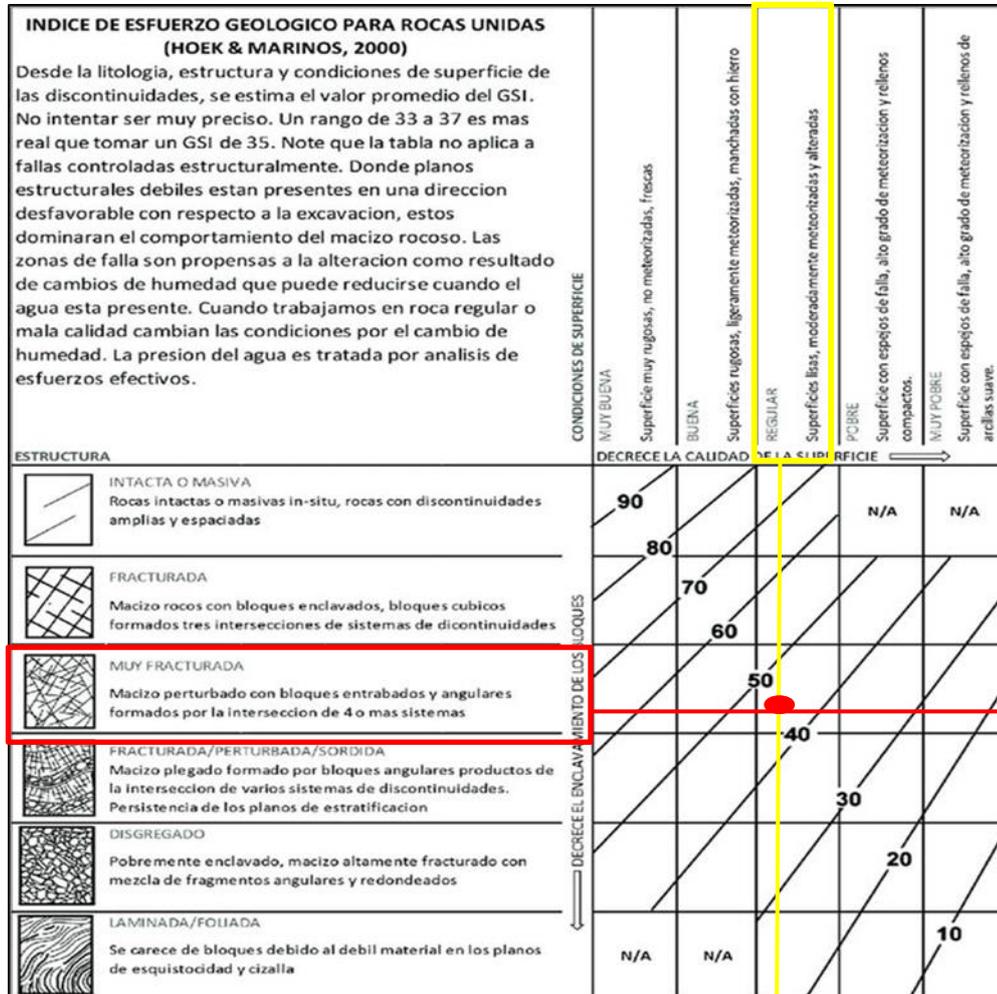
Tabla 95.

Valoración del GSI

GSI	
GSI = RMR BASICO - 5	
GSI = 53-5	TOTAL
	48

Figura 50.

Valorización de GSI en campo del talud 7.



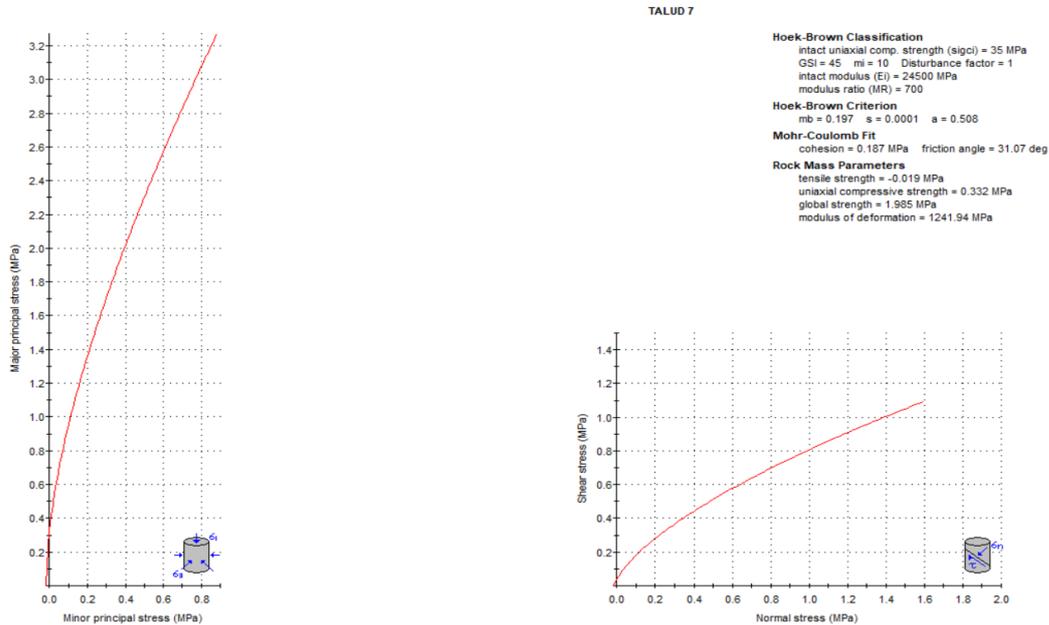
3.7.3 Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown

En este análisis se ingresa el rango de resistencia a la compresión uniaxial y el GSI y el tipo de roca en la que se ha hecho el análisis, para el tercer talud se obtuvo un valor de GSI de 45 valorizado en campo y una resistencia a la compresión valorada con golpes de picota la cual se obtuvo entre 25-50Mpa.

Después del análisis se obtuvo un Angulo de fricción de 31.07° y una cohesión relativamente de 0.187 Mpa.

Figura 51.

Análisis en RocData del talud 07.



3.7.4 Análisis cinemático

Para ello se tomó en cuenta los siguientes datos.

Tabla 96.

Datos de discontinuidades por familias

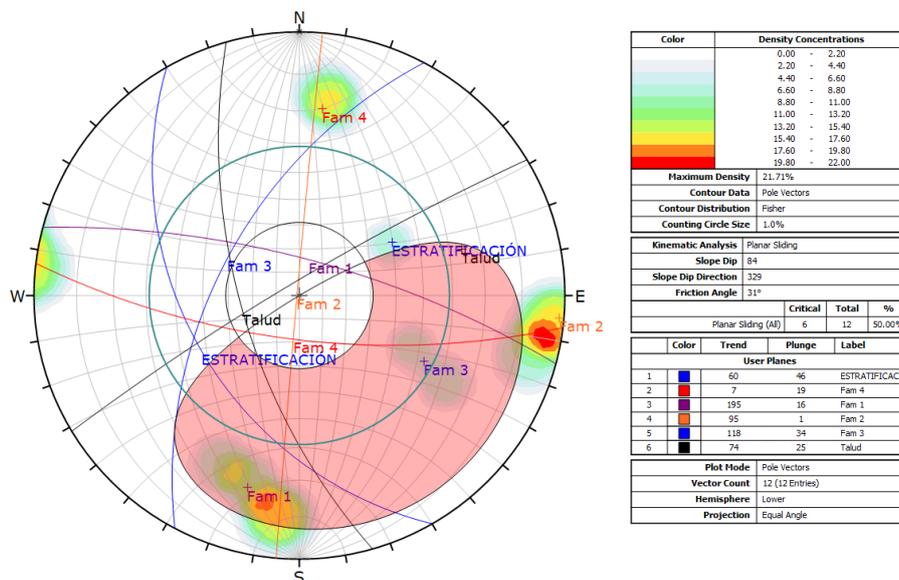
ESTACIÓN 7	NORTE	ESTE	AZIMUT	BUZAMIENTO	DIP DIRECTION	
ESTRATIFICACIÓN	9219469	796637	N150	43	240	
	9219469	796637	N274	80	4	
	FAMILIA 1	9219469	796637	N285	72	15
		9219469	796637	N295	70	25
		9219469	796637	N277	80	7
FAMILIA 2	9219469	796637	N195	83	285	
	9219469	796637	N186	86	276	
	9219469	796637	N186	90	276	
FAMILIA 3	9219469	796637	N205	50	295	
	9219469	796637	N211	65	301	
FAMILIA 4	9219469	796637	N100	72	190	
	9219469	796637	N97	75	187	

Para este análisis se suele trabajar con los polos de los planos, es decir, con la proyección estereográfica de la recta normal al plano, de manera de facilitar la definición de sets estructurales (orientaciones preferenciales de estructuras y planos), el software nos facilita proyectar planos y estructuras tomando como base los datos de sus orientaciones respectivas.

- **Análisis de falla planar**

Figura 52.

Talud N°7 Análisis de rotura planar.

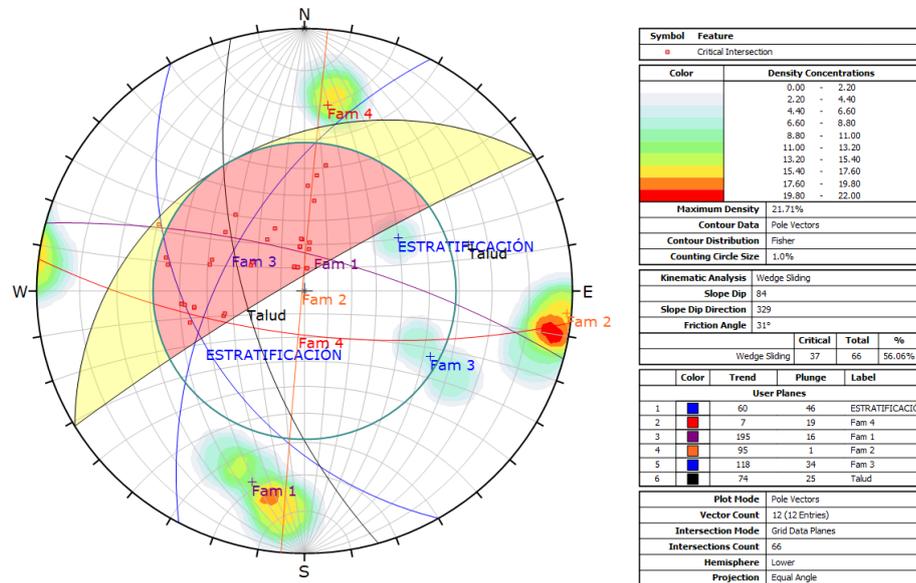


Después de tomar los datos en campo analizamos en el software dips la rotura planar, para lo cual se concluyó que existe un 50% de probabilidad de rotura planar, siendo la más crítica la familia 1 y 2.

- **Análisis de falla por cuña**

Figura 53.

Talud N°7 Análisis de rotura en cuña.

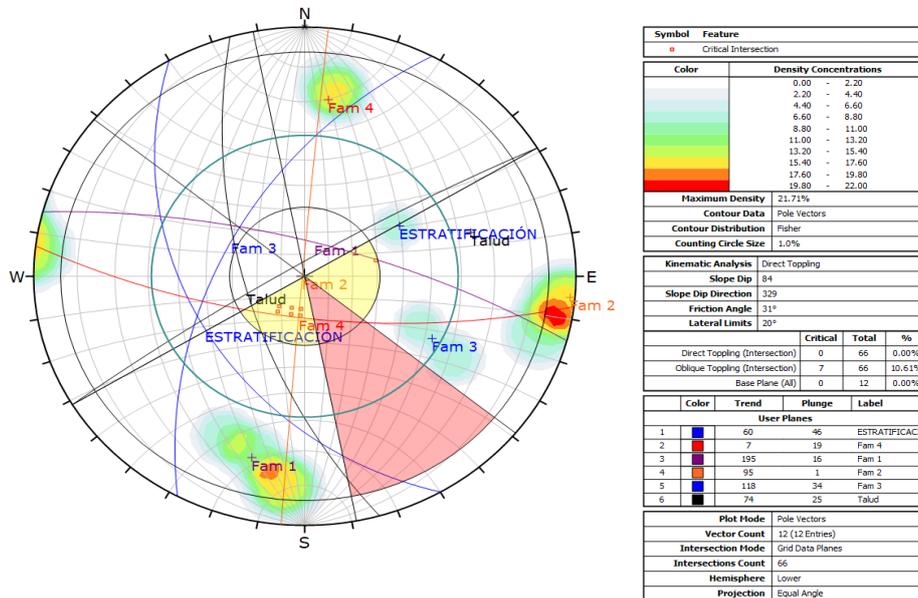


Análisis rotura en cuña talud 7: en este talud encontramos dos familias de diaclasas, analizando para la rotura en cuña tenemos que la probabilidad de que exista una rotura en cuña es de 56.06%. De las cuales las familias críticas son la familia 1 y 2 ocurriendo pequeñas cuñas dentro de una misma familia de diaclasas debido a la dirección que presenta cada familia, debido a la probabilidad media de rotura por cuña, se determina que el talud es inestable.

- **Análisis de falla por vuelco**

Figura 54.

Talud N°7 Análisis de rotura por vuelco.



Analizando la rotura por vuelco tenemos que la probabilidad general de rotura por vuelco es de 0%, es decir ninguna familia se encuentra dentro de la zona crítica y el talud tiene una dirección apropiada para evitar este tipo de rotura en la zona, entonces se determina que el talud es estable para la rotura por vuelco.

3.7.5 Factor de seguridad

Figura 55.

Talud 7; Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas.

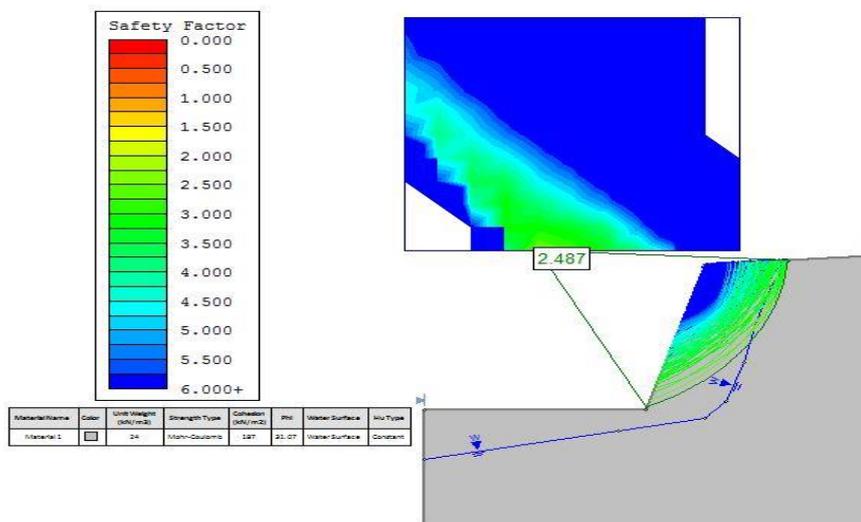
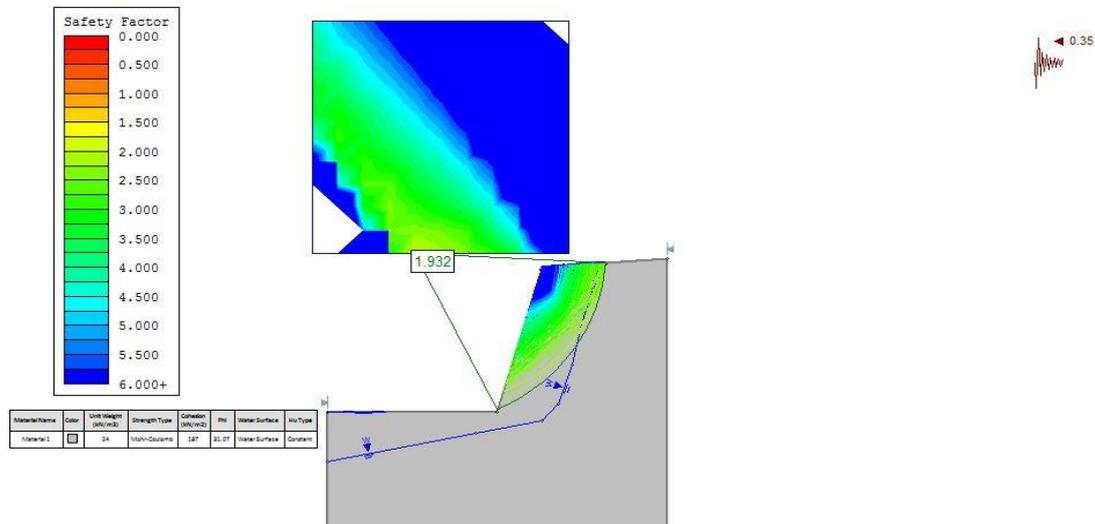


Figura 56.

Talud 7: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones pseudoestáticas.



Se aprecia que el talud es estable en su condición estática con un Factor de Seguridad de 2.487 y para condiciones pseudoestáticas el FS es de 1.932, con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.35 y un coeficiente vertical de 0.

3.8 Caracterización geomecánica del TALUD 08

3.8.1 Evaluación del RMR en el talud 08

El talud se encuentra ubicado en las coordenadas E:794684 N:9219302 de la carretera “La Encañada - Celendín” en el margen derecho. El talud está compuesto por calizas fracturadas perteneciente a la Fm. Yumagual, se muestran estratos gruesos de caliza dicho talud tiene una altura de 8 metros y un grado de pendiente alto.

- **Resistencia de la roca intacta**

La roca se rompe con 1 golpe de picota.

Tabla 97.

Rango de Valores para la resistencia de la roca intacta.

N° de golpes con la picota	UCS (MPa)	PLS (MPa)	Puntaje	Comentarios
Hendida por la uña	<1	En este rango no se	0	
El espécimen se desmenuza bajo la acción de firmes golpes, puede ser mondado por una navaja.	1 a 5	recomienda el uso de ensayos de carga puntual para estimar la resistencia a la roca “intacta”	1	Resistencia muy baja
El espécimen puede ser raspado con dificultad con una navaja del bolsillo, se endenta mas de 5mm con un golpe.	5 a 25		2	
El espécimen no puede ser raspado con una navaja del bolsillo, puede ser fracturado con un golpe.	25 a 50	1 a 2	4	Resistencia baja
Se rompe con 1 o 2 golpes.	50 a 100	2 a 4	7	Resistencia Moderada
Se rompe con 3 o más golpes.	100 a 250	4 a 10	12	Resistencia alta

El espécimen no se rompe solo se astilla. >250 >10 15 Resistencia muy alta

- **Índice de calidad de la roca, RQD**

El RQD se ha estimado midiendo una longitud lineal de 4m del talud.

Se calculó mediante la siguiente formula:

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

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{m}$$

$$\lambda = \frac{62}{4}$$

$$\lambda = 15.5$$

$$RQD = 54.12\%$$

Tabla 98.

Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD

Calidad de Macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA calidad geotécnica	<25	3
MALA calidad geotécnica	25 a 50	8
REGULAR calidad geotécnica	50 a 75	13
BUENA calidad geotécnica	75 a 90	17
EXCELENTE calidad geotécnica	90 a 100	20

Según los cálculos obtenidos para el RQD se sitúa entre un 50 a 75 % ello indica que la calidad del macizo rocoso es de regular calidad geotécnica, recibiendo un puntaje de 13.

- **Espaciamiento de las discontinuidades**

En este punto se midió 4 diaclasas (denominado 1,2,3 y 4).

Para los 4 sistemas de discontinuidades se obtuvo un valor promedio de 88cm = 0.88 m, obteniendo una valoración de 15.

Tabla 99.

Valoración para el espaciamiento

Espaciado de las discontinuidades	>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0,06 – 0,2 m	< 0,06 m
Valor	20	15	10	8	5

- **Condición de las discontinuidades (Jc)**

Persistencia: se tomó una longitud de 0.8 m, obteniendo un puntaje de 6.

Tabla 100.

Valoración de la persistencia

Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Valor	6	4	2	1	0

Abertura: se obtuvo un valor de 4 mm = 0.004 m, obteniendo una valoración de 1.

Tabla 101.

Valoración para la abertura

Abertura	Nada	<0.01mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	>5mm
Valor	6	5	3	1	0

Rugosidad: la roca fue ligeramente rugosa, obteniendo una valoración de 3.

Tabla 102.

Valoración de la Rugosidad

Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	ondulada	suave
Valor	6	5	3	1	0

Relleno: se reconoció un Relleno blando >5mm, obteniendo una valoración de 0.

Tabla 103.

Valoración del tipo de Relleno

Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
Valor	6	4	2	2	0

Alteración: el macizo presenta una alteración ligera, obteniendo una valoración de 5.

Tabla 104.

Valoración para el tipo de alteración

Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Valor	6	5	3	1	0

Condición del agua

El macizo rocoso se presenta en condiciones húmedas, obteniendo una valoración de 7.

Tabla 105.

Valoración para el estado de agua en el macizo rocoso

Flujo de agua en juntas	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
Valor	15	10	7	4	0

- **Valoración del macizo rocoso RMR básico.**

Tabla 106.

Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.

PARAMETROS	VALOR	PUNTAJE
Resistencia de la roca	25 - 50 MPa	4
RQD %	54.12	13
Espaciamiento	0.88 m	15
Persistencia	0.8 m	6
Abertura	4 mm	1
Rugosidad	Ligeramente Rugosa	3
Relleno	Relleno Blando >5 mm	0
Alteración	Ligeramente alterada	5
Presencia de agua	Húmedo	7
TOTAL RMR BASICO		54

- **Valoración del RMR ajustado.**

Tabla 107.

Valoración de RMR ajustado en función a la orientación de las discontinuidades

ORIENTACIÓN			OBRA
Az	Dip	EE	Tal
N239°	84°	-	X
Dirección de las Discontinuidades			Corrección por orientación
Rumbo de las discontinuidades: Perpendicular			
Excavación con el Buzamiento			0
Incl. 45° - 90°			
TOTAL RMR AJUSTADO			54

3.8.2 Valoración GSI

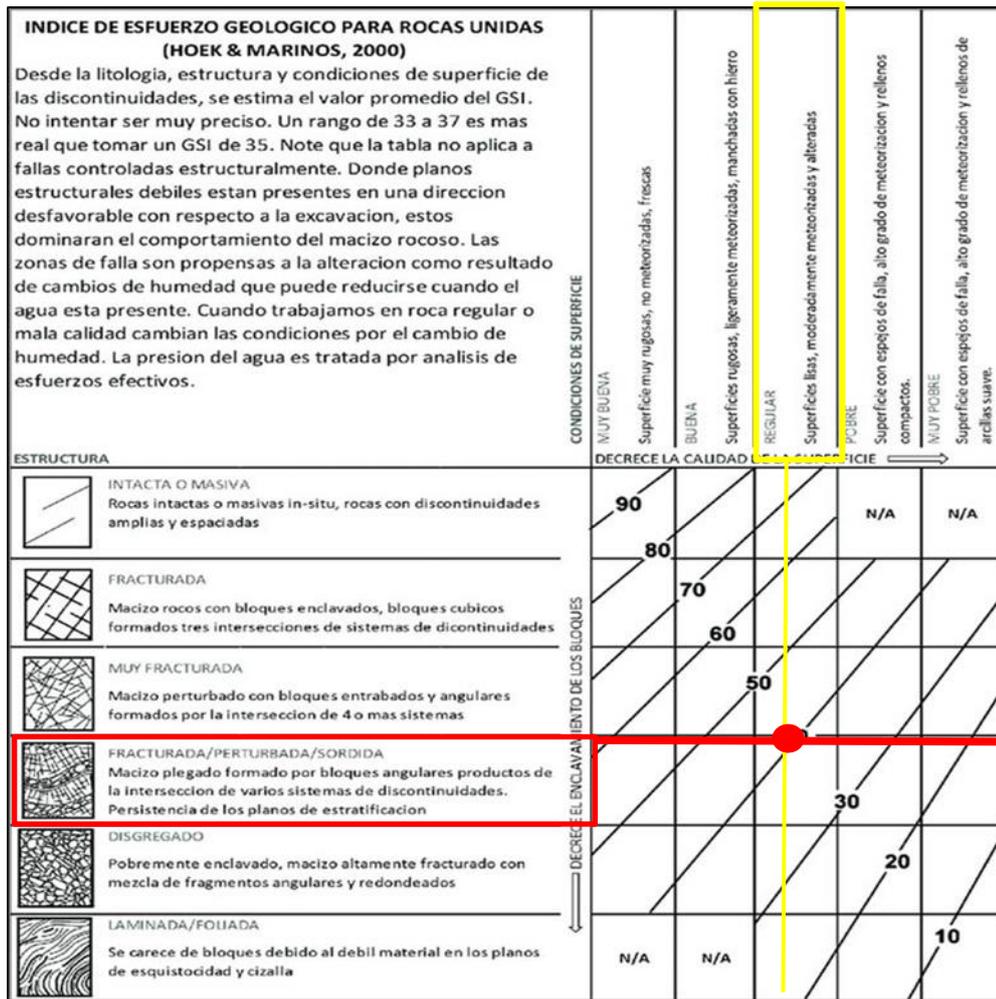
Tabla 108.

Valoración del GSI

GSI	
GSI = RMR BASICO - 5	
GSI = 54-5	TOTAL 49

Figura 57.

Valoración de GSI en campo del talud 8.



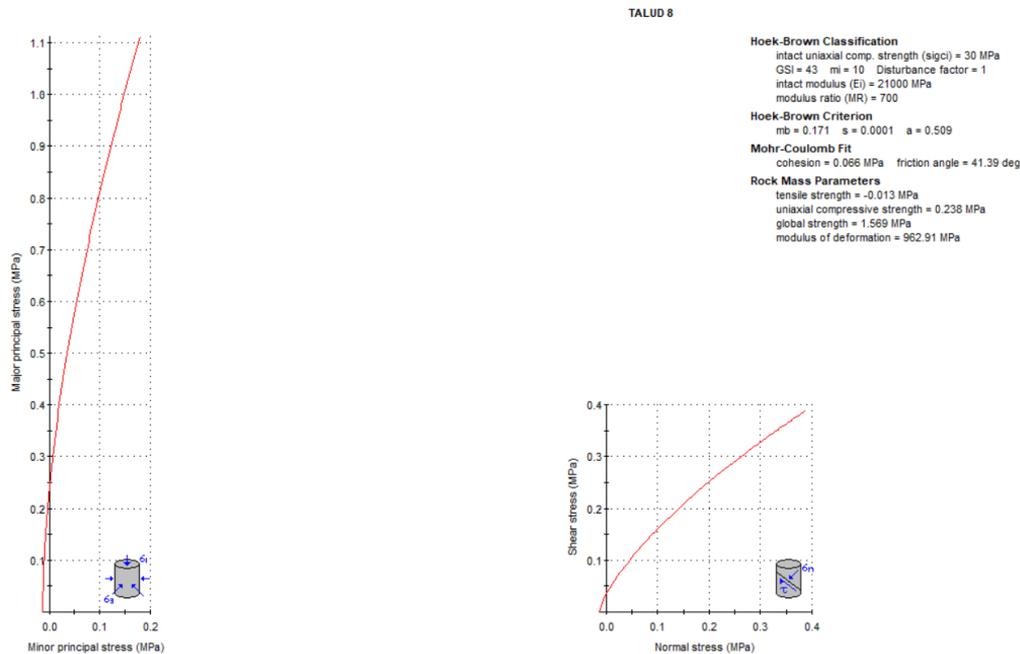
3.8.3 Análisis Rocdata, criterio de rotura Hoek y Brown

En este análisis se ingresa el rango de resistencia a la compresión uniaxial y el GSI y el tipo de roca en la que se ha hecho el análisis, para el tercer talud se obtuvo un valor de GSI de 43 valorizado en campo y una resistencia a la compresión valorada con golpes de picota la cual se obtuvo entre 25-50Mpa.

Después del análisis se obtuvo un Angulo de fricción de 41.39° y una cohesión relativamente de 0.066 Mpa.

Figura 58.

Análisis en RocData del talud 08.



3.8.4 Análisis cinemático

Para ello se tomó en cuenta los siguientes datos.

Tabla 109.

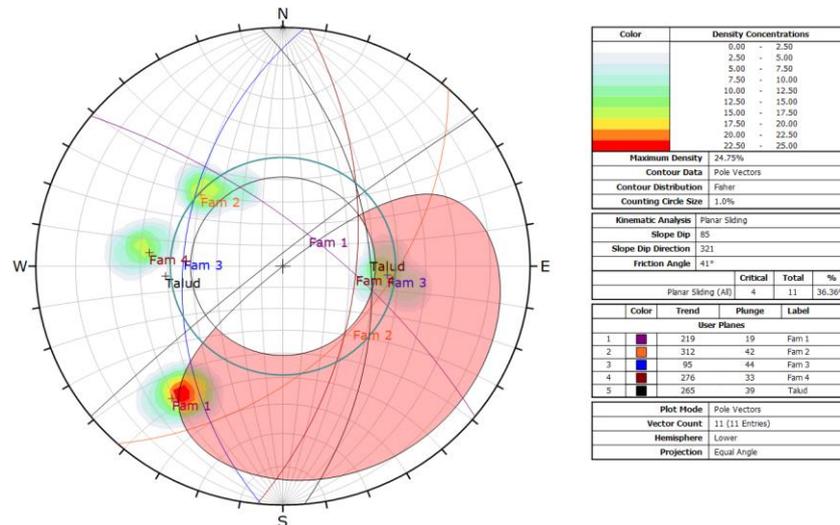
Datos de discontinuidades por familias

ESTACIÓN 8	NORTE	ESTE	AZIMUT	BUZAMIENTO	DIP DIRECTION
FAMILIA 1	9219302	794684	N308	65	38
	9219302	794684	N310	72	40
	9219302	794684	N303	65	33
FAMILIA 2	9219302	794684	N45	51	135
	9219302	794684	N43	46	133
	9219302	794684	N62	40	152
FAMILIA 3	9219302	794684	N190	40	280
	9219302	794684	N190	54	280
	9219302	794684	N175	45	265
FAMILIA 4	9219302	794684	N5	63	95
	9219302	794684	N11	56	101

- **Análisis de falla planar**

Figura 59.

Talud N°8 Análisis de rotura planar.

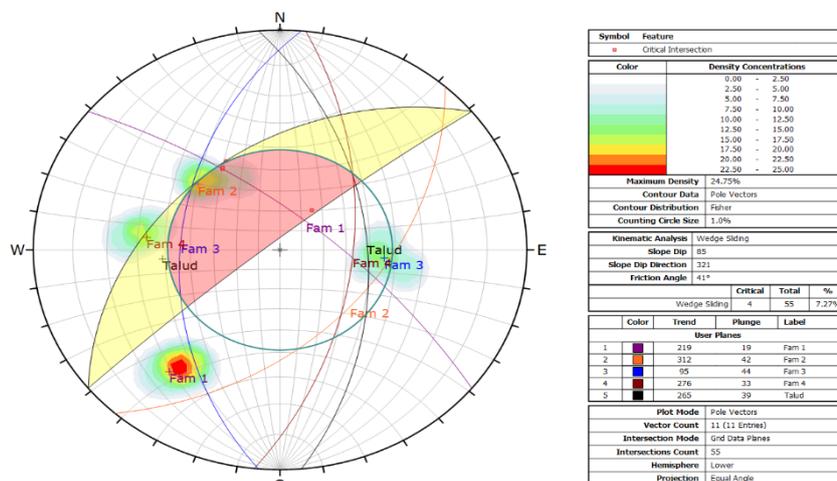


Después de tomar los datos en campo analizamos en el software dips la rotura planar, para lo cual se concluyó que existe un 36.36% de probabilidad de rotura planar, siendo la más crítica la familia 1.

- **Análisis de falla por cuña**

Figura 60.

Talud N°8 Análisis de rotura en cuña.

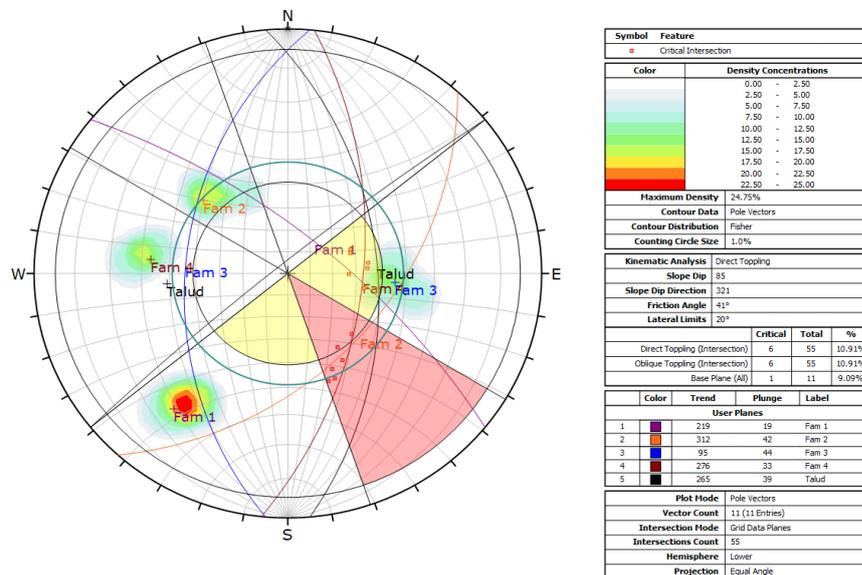


Análisis rotura en cuña talud 8: en este talud encontramos cuatro familias de diaclasas, analizando para la rotura en cuña tenemos que la probabilidad de que exista una rotura en cuña es de 7.27%, por lo tanto, se determina que el talud es estable.

- **Análisis de falla por vuelco**

Figura 61.

Talud N°8 Análisis de rotura por vuelco.



Analizando la rotura por vuelco tenemos que la probabilidad general de rotura por vuelco es de 9.09%, es decir ninguna familia se encuentra dentro de la zona crítica y el talud tiene una dirección apropiada para evitar este tipo de rotura en la zona, entonces se determina que el talud es estable para la rotura por vuelco.

3.8.5 Factor de seguridad

Figura 62.

Talud 8: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones estáticas.

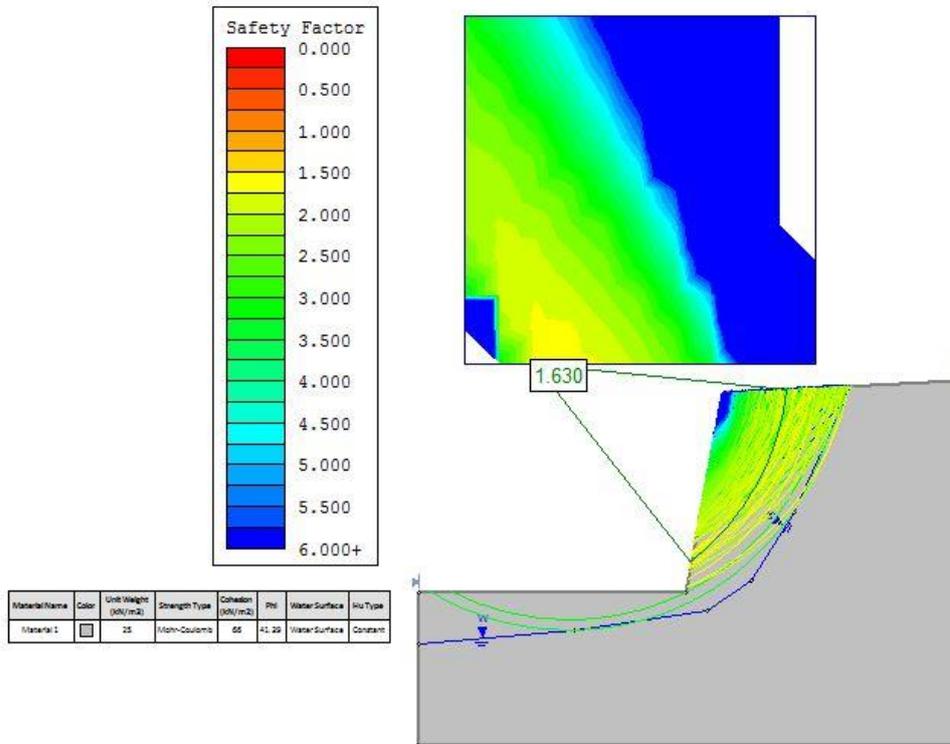
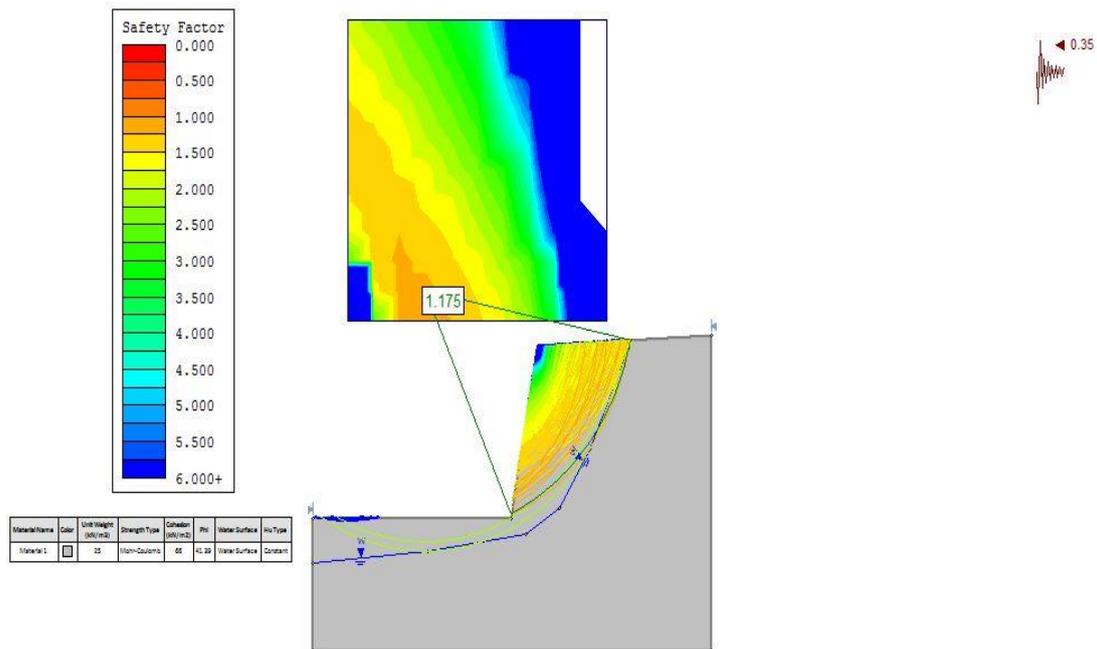


Figura 63.

Talud 8: Análisis del Factor de Seguridad en condiciones pseudoestáticas.



Se aprecia que el talud es estable en su condición estática con un Factor de Seguridad es de 1.630 y para condiciones pseudoestáticas el FS es de 1.175 con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.35 y un coeficiente vertical de 0.

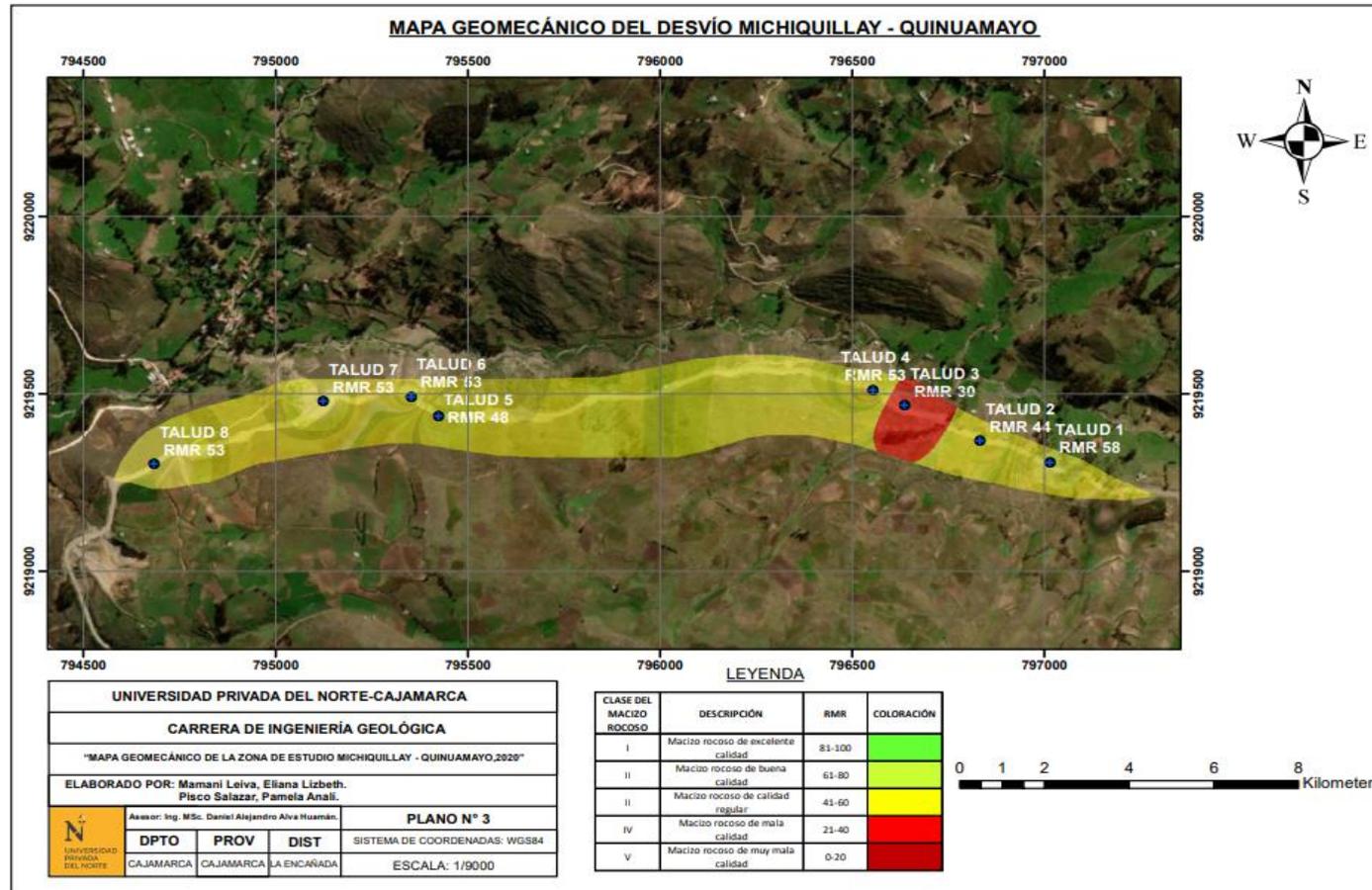
Tabla 110.

Resumen de RMR ajustado de los 8 taludes estudiados

TALUD	NORTE	ESTE	RMR Ajustado	Clase - Calidad
TALUD N°1	9219308	797015	58	III – media o regular
TALUD N°2	9219369	796833	44	III – media o regular
TALUD N°3	9219469	796637	30	IV - mala
TALUD N°4	9219513	796554	53	III – media o regular
TALUD N°5	9219439	795424	48	III – media o regular
TALUD N°6	9219493	795353	53	III – media o regular
TALUD N°7	9219480	795125	53	III – media o regular
TALUD N°8	9219302	794684	53	III – media o regular

Figura 64.

Mapa Geomecánico Michiquillay – Quinuamayo.



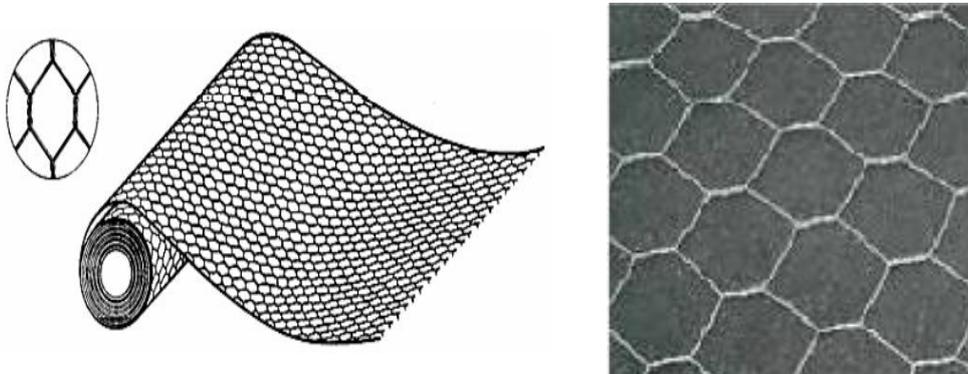
3.9 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y REFUERZOS FRENTE A LA INESTABILIDAD SUPERFICIAL DE TALUDES

3.9.1 Sistemas de protección para la estabilidad de taludes con mallas metálicas.

Desde algún tiempo atrás se ha comenzado a emplear el sistema de protección con mallas metálicas, con la finalidad de estabilizar y reforzar superficialmente al talud. Además, las mallas metálicas son consideradas elementos flexibles que se encuentran anclados al talud con la capacidad de soportar fuertes tensiones. La misión principal que cumplen es la contención del terreno de la superficie expuesta a la erosión, filtración, meteorización, etc, lo que mejora las posibles inestabilidades superficiales que puede sufrir el talud. (Blanco Fernández, Castro fresno, Coz Díaz, & López Quijada, 2011)

Figura 65.

Malla Metálica.



Fuente: CYPE, INGENIEROS, S.A

Este tipo de sistemas es muy empleado en taludes de roca, por ello en la presente investigación se ha considerado la estabilización de los taludes en el tramo de carretera KM 40+200 – KM 44+800 desvío Miquillay – Quinuamayo, aplicándose en los taludes

1,2,4,5,6,7 y 8, debido a que estos son estables y se aplica esta metodología con la finalidad de contención y estabilizar la zona superficial de todos los taludes.

3.9.2 Metraje calculado de cada talud

A continuación, se muestra la tabla 111 con los metros cuadrados de cada talud para la aplicación de la malla metálica, lo cual facilitará la estimación de costos para su aplicación.

Tabla 111.

Metraje de los taludes que necesitan de malla metálica.

TALUD	m ²
1	120
2	60
4	140
5	300
6	300
7	294
8	62
Total de malla metálica a utilizar	1276

Fuente: Elaboración Propia.

3.9.3 Estimación de costos para la aplicación de la malla metálica.

Para los taludes estables que son el 1,2,4,5,6,7 y 8, se aplicará la protección superficial con mallas metálicas, lo cual se está realizando una cotización del monto económico para 1276 m² según lo estimado en total de todos los taludes que necesitan de esta metodología, tomando en cuenta a tres tipos de diámetro de malla hexagonal, 2.00 mm, 2.70 mm, 3.40 mm, a continuación, se muestra

las cotizaciones para cada tipo de malla, según la empresa CYPE Ingenieros, S.A.

Tabla 112.

Cotización de la malla de 2 mm de diámetro para 1276 m²

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
YCD020 m² Protección de talud con lámina de polietileno y malla de triple torsión anclada al terreno.					
Protección de talud frente a desprendimiento de la capa superficial del terreno, formada por lámina de polietileno de alta densidad de 2 mm de espesor, malla de triple torsión, hexagonal, 8x10-13, de alambre galvanizado de 2,00 mm de diámetro y anclajes al terreno formados por varillas corrugadas de acero Grado 60 (fy=4200 kg/cm ²). Incluso cables de acero entre los anclajes, para la sujeción de la malla de triple torsión.					
1		Materiales			
mt50spr055a	m ²	Lámina de polietileno de alta densidad, de 2 mm de espesor, resistente a la intemperie.	1276.000	9.54	S/12,173.04
mt07ame510e	m ²	Malla de triple torsión, hexagonal, 8x10-13, de alambre galvanizado de 2 mm de diámetro, para protección de taludes.	1276.000	6.73	S/8,587.48
mt07aco060g	kg	Acero en varillas corrugadas, Grado 60 (fy=4200 kg/cm ²), de varios diámetros, según NTP 339.186 y ASTM A 706.	638.000	3.04	S/1,939.52
mt50spr100b	m	Cable de acero de 2 mm de diámetro, para sujeción de malla de triple torsión.	1276.000	3.92	S/5,001.92
			Subtotal materiales:		S/27,701.96
2		Equipos			
mq07cce010a	h	Camión con cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo y 260 kg de carga máxima.	40.000	55.17	S/2,206.80
			Subtotal equipos:		S/2,206.80
3		Mano de obra			
mo120	h	Peón Seguridad y Salud.	30.000	14.90	S/447.00
			Subtotal mano de obra:		S/447.00
4		Herramientas			
	%	Herramientas	5.000	30355.76	S/1,517.79
			Costos directos (Total)		S/31,873.55

Fuente: (CYPE, 2022)

Se aprecia el monto total de 31,873.55 soles de malla metálica de 2 mm de diámetro, para los 1276 m², lo que incluye los materiales a utilizar, los equipos que se requiere para su transporte y colocación, mano de obra y alguna otra herramienta que se necesite.

Tabla 113.

Cotización de la malla de 2.70 mm de diámetro para 1276 m²

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
YCD020 m² Protección de talud con lámina de polietileno y malla de triple torsión anclada al terreno.					
Protección de talud frente a desprendimiento de la capa superficial del terreno, formada por lámina de polietileno de alta densidad de 2 mm de espesor, malla de triple torsión, hexagonal, 8x10-16, de alambre galvanizado de 2,70 mm de diámetro y anclajes al terreno formados por varillas corrugadas de acero Grado 60 (fy=4200 kg/cm ²). Incluso cables de acero entre los anclajes, para la sujeción de la malla de triple torsión.					
1		Materiales			
mt50spr055a	m ²	Lámina de polietileno de alta densidad, de 2 mm de espesor, resistente a la intemperie.	1276.000	9.54	S/12,173.04
mt07ame510j	m ²	Malla de triple torsión, hexagonal, 8x10-16, de alambre galvanizado de 2,7 mm de diámetro, para protección de taludes.	1276.000	7.79	S/9,940.04
mt07aco060g	kg	Acero en varillas corrugadas, Grado 60 (fy=4200 kg/cm ²), de varios diámetros, según NTP 339.186 y ASTM A 706.	638.000	3.04	S/1,939.52
mt50spr100b	m	Cable de acero de 2 mm de diámetro, para sujeción de malla de triple torsión.	1276.000	3.92	S/5,001.92
			Subtotal materiales:		S/29,054.52
2		Equipos			
mq07cce010a	h	Camión con cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo y 260 kg de carga máxima.	40.000	55.17	S/2,206.80
			Subtotal equipos:		S/2,206.80
3		Mano de obra			
mo120	h	Peón Seguridad y Salud.	30.000	14.90	S/447.00
			Subtotal mano de obra:		S/447.00
4		Herramientas			
	%	Herramientas	5.000	31708.32	S/1,585.42
			Costos directos (Total):		S/33,293.74

Fuente: (CYPE, 2022)

En la anterior tabla mostrada se visualiza el monto total de 33,293.74 soles de malla metálica de 2.70 mm de diámetro, para los 1276 m². lo que incluye los materiales a utilizar, los equipos que se requiere para su transporte y colocación, mano de obra y alguna otra herramienta que se necesite.

Tabla 114.

Cotización de la malla de 3.40 mm de diámetro para 1276 m²

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
YCD020 m² Protección de talud con lámina de polietileno y malla de triple torsión anclada al terreno.					
Protección de talud frente a desprendimiento de la capa superficial del terreno, formada por lámina de polietileno de alta densidad de 2 mm de espesor, malla de triple torsión, hexagonal, 8x10-18, de alambre galvanizado de 3,40 mm de diámetro y anclajes al terreno formados por varillas corrugadas de acero Grado 60 (fy=4200 kg/cm ²). Incluso cables de acero entre los anclajes, para la sujeción de la malla de triple torsión.					
1					
Materiales					
mt50spr055a	m ²	Lámina de polietileno de alta densidad, de 2 mm de espesor, resistente a la intemperie.	1276.000	9.54	S/12,173.04
mt07ame510o	m ²	Malla de triple torsión, hexagonal, 8x10-18, de alambre galvanizado de 3,4 mm de diámetro, para protección de taludes.	1276.000	9.96	S/12,708.96
mt07aco060g	kg	Acero en varillas corrugadas, Grado 60 (fy=4200 kg/cm ²), de varios diámetros, según NTP 339.186 y ASTM A 706.	638.000	3.04	S/1,939.52
mt50spr100a	m	Cable de acero de 2 mm de diámetro, para sujeción de malla de triple torsión.	1276.000	3.92	S/5,001.92
			Subtotal materiales:		S/31,823.44
2					
Equipos					
mq07cce010a	h	Camión con cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo y 260 kg de carga máxima.	40.000	55.17	S/2,206.80
			Subtotal equipos:		S/2,206.80
3					
Mano de obra					
mo120	h	Peón Seguridad y Salud.	30.000	14.96	S/448.80
			Subtotal mano de obra:		S/448.80
4					
Herramientas					
	%	Herramientas	5.000	31708.32	S/1,585.42
			Costos directos (Total):		S/36,064.46

Fuente; (CYPE, 2022)

Se visualiza el monto total de 36,054.46 soles de malla metálica de 3.40 mm de diámetro, para los 1276 m², lo que incluye los materiales a utilizar, los equipos que se requiere para su transporte y colocación, mano de obra y alguna otra herramienta que se necesite.

Finalmente, después de mostrar la cotización de los tres tipos de diámetro de la malla, se cree conveniente que la protección de talud frente a desprendimiento de la capa superficial del terreno, sería mejor formada por la malla compuesta por enrejado de triple torsión con alambre galvanizado reforzado de 3,40 mm de diámetro, de malla hexagonal 8x10-16 anclado al terreno con varillas corrugadas de acero y lámina de polietileno de alta densidad de 2 mm de espesor, por lo que sería la mejor opción si se requiere de una larga duración ya que consta de un buen reforzamiento, incluso cuenta con una parte proporcional de cables de

acero de sujeción del enrejado y mantenimiento en condiciones seguras durante todo el periodo de tiempo que se requiera.

3.9.4 Sistema de refuerzo para la estabilidad de taludes con cambio de topografía.

3.9.4.1 Remodelación de la geometría del talud

Frente a la inestabilidad se pueden tomar acciones de remodelación de la geometría de los taludes, que permitan la disminución de la pendiente y/o de la longitud de ladera, tales como: descabezado de taludes, retirada de materiales inestables, tendido o reperfilado de taludes y banqueo de taludes.

Para el talud N°03 el cual presenta inestabilidad, se ha considerado realizar la remodelación mediante corte de la cabeza del talud en base a la geometría y condiciones presentes. Esta técnica reduce las fuerzas actuantes dentro de la masa deslizada. Generalmente, se excava en la cabeza del talud, debido a que la parte superior es la que aporta una mayor fuerza actuante sobre la masa inestable. El efecto es disminuir las fuerzas actuantes en la zona más crítica para la generación de momentos desestabilizantes y disminuir la pendiente del talud aumentándose en esta forma el factor de seguridad.

3.9.4.2 Factor de Seguridad aplicando cambio de geometría del talud

Al realizar la evaluación mediante el software Slide teniendo en consideración el cambio de geometría del talud N° 03, se obtiene como resultado un FS de 4.96 en condiciones estáticas y un FS de 3.26 en condiciones pseudoestáticas. Ello indica que la medida de estabilidad es la apropiada.

Figura 66.

Talud N°03 en condiciones estáticas.

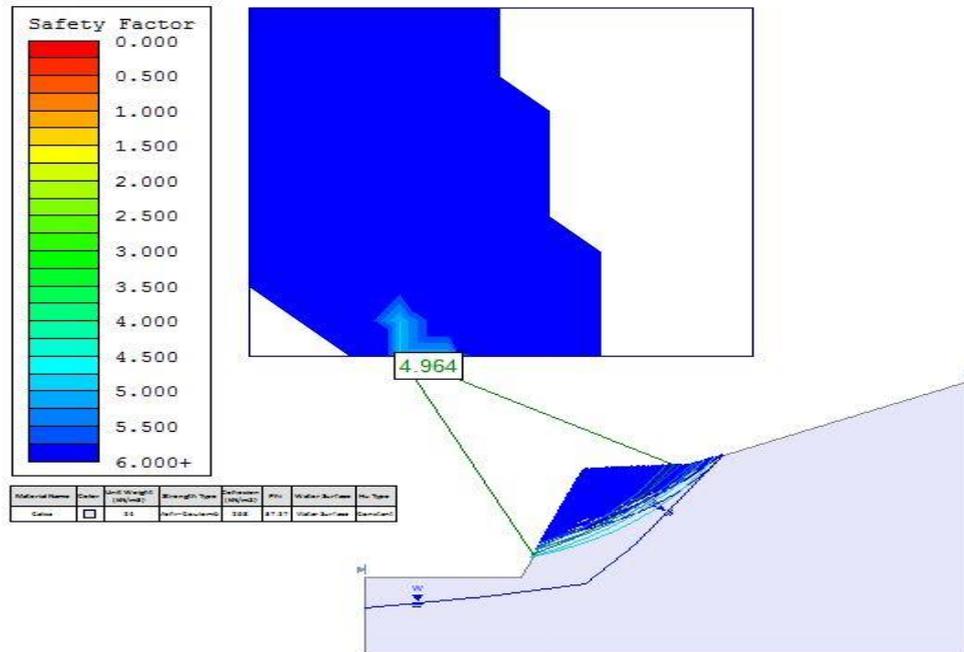
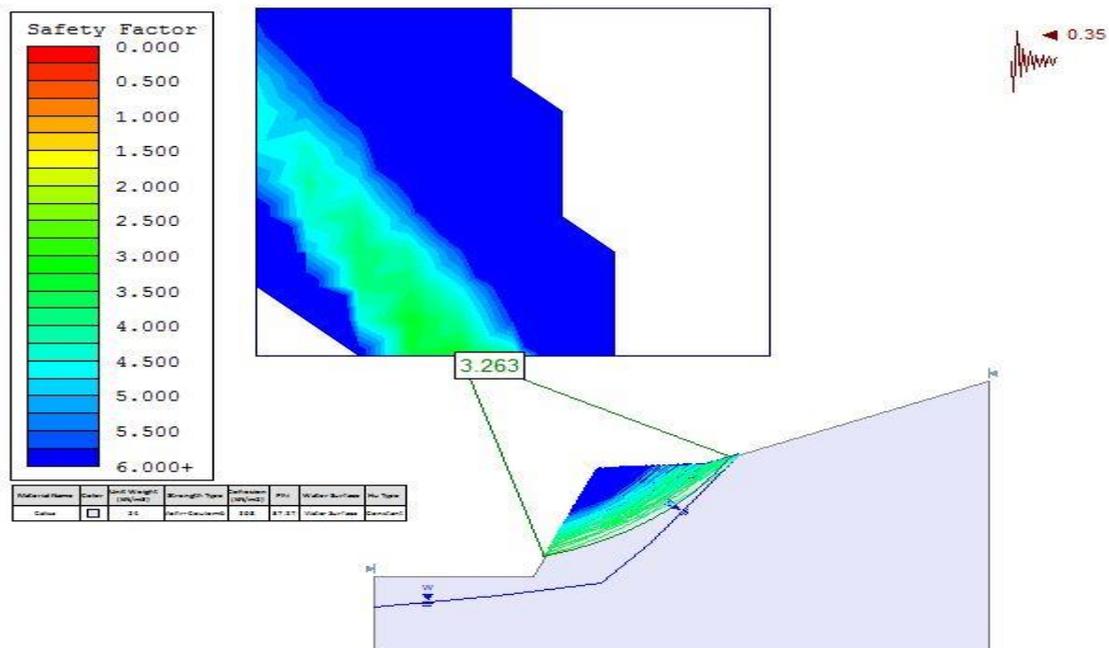


Figura 67.

Talud N° 03 en condiciones pseudoestáticas



CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Con los resultados obtenidos se determinó que la caracterización geomecánica tiene influencia para determinar la estabilidad de los taludes, y posterior a ello proponer las medidas correctivas en los taludes inestables.

La obtención de los resultados fue gracias a softwares del paquete Rocscience así como hicieron Diaz & Rodriguez (2018) en su estudio de la estabilidad de taludes en roca perteneciente a la formación carhuaz y farrat entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera Ciudad de Dios – Cajamarca.

Se logró reconocer la litología del tramo de carretera desvío Michiquillay-Quinuamayo, mediante la observación y la toma de muestras en cada talud con su respectivo análisis y clasificación geomecánica, como hizo (Díaz, 2016), en su estudio de Clasificaciones geomecánicas (RMR, RQD, SMR, GSI): Estas clasificaciones se basan en criterios cuantificados cuya aplicación permite calificar el macizo rocoso, en base a ello ofrece una prognosis sobre el tipo de sostenimiento a emplear, la forma de organizar la excavación, o las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos estudiados, mientras que en nuestra tesis también se evaluaron las propiedades del macizo rocoso, permitiéndonos calificarlo y poder plantear el tipo de sostenimiento. En base a los resultados obtenidos, se determina que la mejor alternativa es aplicando la metodología de sistemas de protección con mallas metálicas para taludes estables los cuales evitan que se desarrollen posibles fenómenos de alteración de la zona superficial del talud, y mientras que el cambio de topografía es un método de refuerzo para taludes inestables, el cual se caracteriza por actuar de forma activa frente a diversos fenómenos.

Se puede afirmar que la hipótesis de la presente investigación ha quedado validada, debido a que se ha evaluado, caracterizado y diseñado el tipo de sostenimiento más adecuado para la estabilidad de los taludes en el tramo de carretera KM 40+200 – KM 44+800, desvío Michiquillay-Quinuamayo.

Existieron algunas limitaciones para desarrollar la presente tesis:

Teniendo en cuenta la coyuntura actual causada principalmente por el COVID-19, la principal limitante fue poder realizar los ensayos de laboratorio para determinar la resistencia del macizo rocoso, por ello se determinó la resistencia del macizo en base a número de golpes que se deben realizar para fracturar a la muestra. Es importante recomendar que las autoridades consideren la posibilidad de realizar la ejecución de lo mencionado en la presente tesis, con la finalidad de tener estable el tramo de carretera km 40+200 – km 44+800, desvío Michiquillay-Quinuamayo.

4.2 Conclusiones

Litológicamente la zona de estudio se encuentra en la Fm. Yumagual (Ks-yu) que se caracteriza por presentar rocas calizas mudstone gris-amarillentas.

Se realizó la caracterización geomecánica de las ocho estaciones tomadas utilizando la clasificación de Bieniawski RMR – 1989, así como también la caracterización por GSI, con los cuales se determinó el comportamiento geomecánico de cada macizo rocoso: Estación 1 – III (Regular), Estación 2 – III (Regular), Estación 3 – IV (Mala), Estación 4 – III (Regular), Estación 5 – III (Regular), Estación 6 – III (Regular), Estación 7 – III (Regular) y Estación 8 – III (regular) . Así mismo se realizó el análisis cinemático encontrando que la mayor probabilidad que exista una rotura son las del tipo planar y rotura por cuña.

Se calculó los factores de seguridad del talud utilizando el software Slide, obteniendo valores de FS superiores a 1, para los taludes 1,2,4,5,6,7 y 8 lo cual indica que se

encuentran en condiciones estables. Asimismo, se obtuvo el FS del talud 3 con un valor de 0.717 en condiciones estáticas y un FS de 0.578 en condiciones pseudoestáticas, lo cual indica que es inestable.

Frente a los resultados obtenidos se ha propuesto la metodología de protección con mallas metálicas de 3.40 mm de diámetro para los taludes estables (1, 2, 4, 5, 6, 7 y 8) con un total de 1276 m², estimando un presupuesto que asciende a S/36,054.46 lo cual incluye los materiales a utilizar, los equipos que se requiere para su transporte y colocación, mano de obra y otras herramientas necesarias. De igual manera se propone un sistema de reforzamiento mediante cambio de topografía para taludes inestables (3), llegando a incrementar su FS a 4.97 en condiciones estáticas y un FS de 3.26 en condiciones pseudoestáticas.

REFERENCIAS

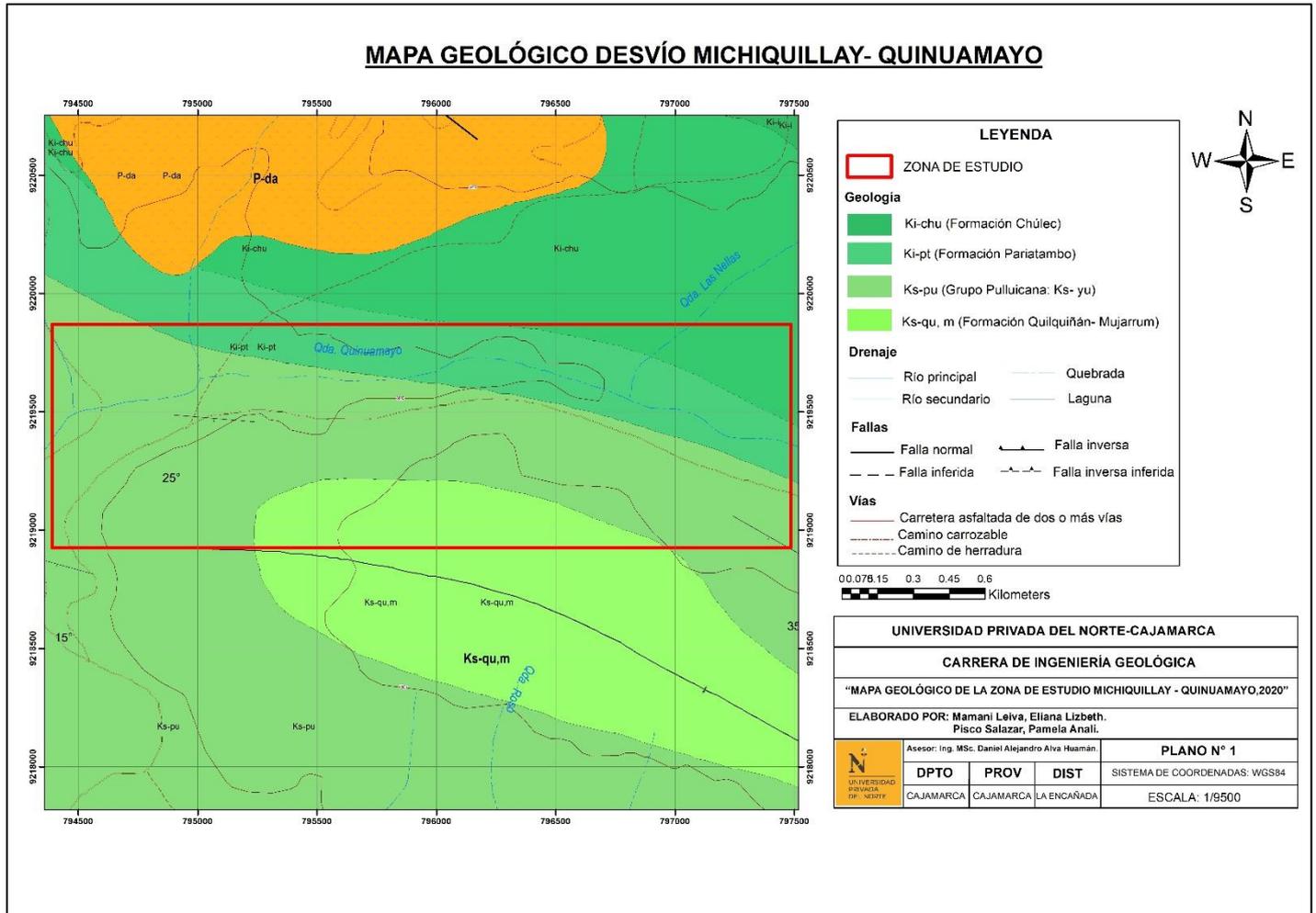
- Botero , E., Flores, R., & Romo, M. (Julio-Septiembre de 2011). Nuevo método de diseño sísmico para cortinas de tierra y enrocamiento, y de taludes. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2(3), 177-200. Obtenido de http://scielo.org.mx/scielo.php?pid=s2007-24222011000300012&script=sci_arttext
- Mira, A., Alcántara, A., & Gutiérrez, F. (2013). Caracterización geomecánica y análisis de la estabilidad del talud sur del macizo rocoso de Monteagudo (Murcia, España). *GEOGACETA*, 54, 151-154. Obtenido de [file:///C:/Users/pamela/AppData/Local/Temp/Rar\\$Dla8444.48393/Caracterizacion%20Geomecanica%201.pdf](file:///C:/Users/pamela/AppData/Local/Temp/Rar$Dla8444.48393/Caracterizacion%20Geomecanica%201.pdf)
- Aguilar, Duarte, & Orrantia. (14 de febrero de 2011). *Diseños no experimentales transversales, transversales descriptivos y exploratorios*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/uabcpsique/diseos-no-experimentales-transversales-transversales-descriptivos-y-exploratorios>
- Blanco Fernández, E., Castro fresno, D., Coz Díaz, J. J., & López Quijada, L. A. (2011). *Flexible systems anchored to the ground for slope stabilisation: Critical review of existing design methods*. Universidad de Oviedo. Obtenido de <https://pure.coventry.ac.uk/ws/portalfiles/portal/27077911/Binder4.pdf>
- CENEPRED. (2017). *Manual para la Evaluación del Riesgo por Sismos*. Lima: Biblioteca nacional del Perú. Obtenido de https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/MANUAL%20DE%20SISMOS.pdf
- Cruzado, V. G. (2011). *ESTUDIO DE GEOLOGÍA. CAJAMARCA: GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA*.
- CYPE, S. (15 de febrero de 2022). *Perú gerenador de precios*. Obtenido de Perú gerenador de precios: http://www.peru.generadordeprecios.info/obra_nueva/Seguridad_y_salud/Sistemas_d_e_proteccion_colectiva/Proteccion_de_taludes/YCD020_Malla_de_proteccion_de_talud_con_en_0_0_0_2_0_0_0.html
- Díaz, & Rodriguez. (2018). *Estudio de la estabilidad de taludes en roca entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera Ciudad de Dios - Cajamarca*. Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12738/D%c3%adaz%20Rodas%2c%20Mario%20Alexander%3b%20Rodr%3%adguez%20Salazar%2c%20Jean%20Geyler.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Díaz, E. (abril de 2016). *Clasificaciones Geomecánicas*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/EdwinDiaz40/clasificaciones-geomecnicas>
- Gutiérrez, A. (2015). *El agua de infiltración de lluvia, agente desestabilizador de taludes en la provincia de Malaga, modelos constitutivos*. Universidad de Granada. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41146>
- Matteis. (Agosto de 2003). *Estabilidad de taludes*. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2016). *Norma técnica E.030 "Diseño Sismorresistente"*. Lima. Obtenido de <http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificacions/51%20E.030%20DISENO%20SISMORRESISTENTE.pdf>
- Ramírez, O. P., & Alejano, M. L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf
- Ros, J. (2008). *Criterios de rotura y clasificaciones geomecánicas*. Madrid: etseccpb. Obtenido de <https://mecrocks.files.wordpress.com/2012/03/rqd-y-rmr3.pdf>

- Tarrillo, R. (2018). *GRADO DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES CRÍTICOS DE LA DE LA CARRETERA BAÑOS DEL INCA-LLACANORA*. Tesis, Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1995>
- Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego., A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. *CIVILIZATE*, 7, 50-54. Obtenido de <file:///C:/Users/pamela/Downloads/9%20CICLO/TALLER%20DE%20TESIS%20I/estudios%20cientificos/1.pdf>

ANEXOS

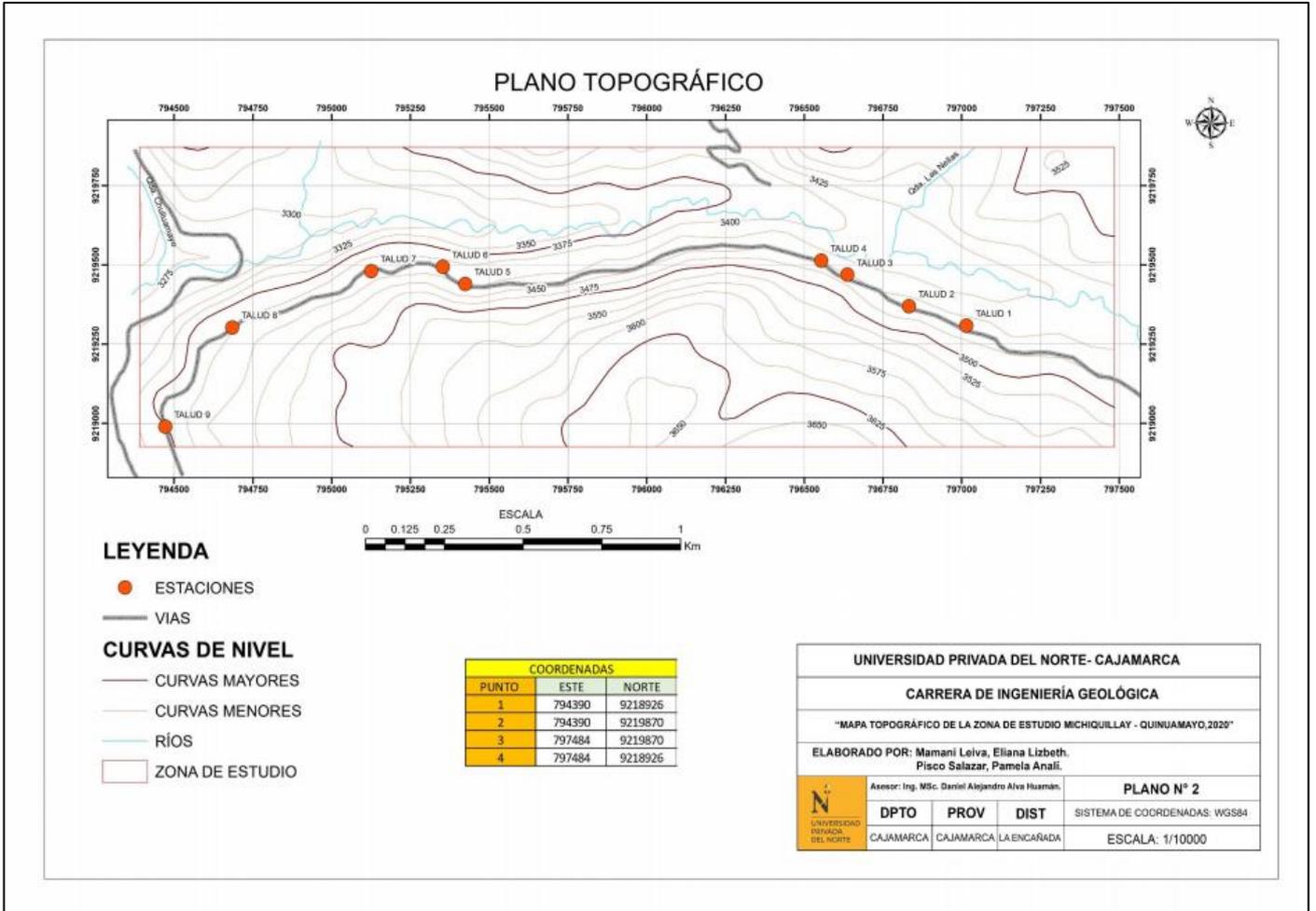
Anexo 1.

Mapa Geológico de la zona de estudio del desvío Michiquillay - Quinuamayo.



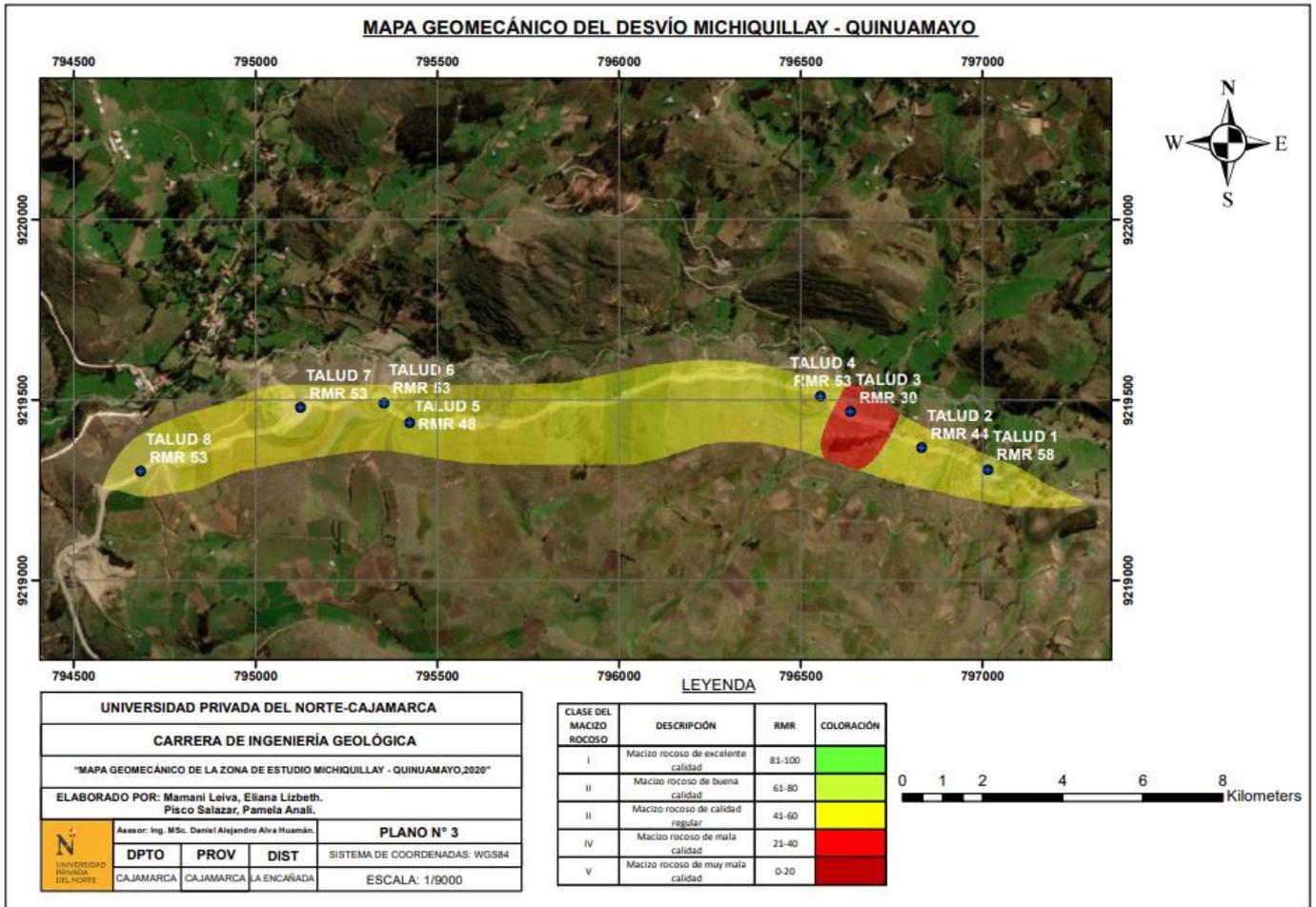
Anexo 2.

Mapa topográfico de la zona de estudio del desvío Michiquillay - Quinuamayo.



Anexo 3

Mapa Geomecánico de la zona de estudio desvío Michiquillay - Quinuamayo.



Anexo 4.

Talud N°1



Anexo 5.

Talud N°2



Anexo 6.

Talud N°3



Anexo 7.

Talud N°4



Anexo 8.

Talud N° 5



Anexo 9.

Talud N° 6



Anexo 10.

Talud N°7



Anexo 11.

Talud N° 8



Anexo 12.

Toma de datos geomecánicos



Anexo 13.

Toma del espaciamiento de las discontinuidades



Anexo 14. zonas sísmicas del Perú.

