UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

IDENTIFICACIÓN DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD EN TALUDES ROCOSOS DEL SECTOR MANZANO ALTO - LAS CRUCES, MÉRIDA.

www.bdigital.ula.ve

Trabajo final de grado como requisito para optar al título de Ingeniero Geólogo en la ilustre Universidad de los Andes

Tutor Académico:
MSc. Norly Belandria

Autores:
Br. Dos Santos R. María F.
Br. Rujano M. Mileidy

Mérida, Marzo de 2015

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

www.bdigital.ula.ve

IDENTIFICACIÓN DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD EN TALUDES ROCOSOS DEL SECTOR MANZANO ALTO - LAS CRUCES, MÉRIDA.

Tutor Académico:
MSc. Norly Belandria

Autores:
Br. Dos Santos R. María F.
Br. Rujano M. Mileidy

Mérida, Marzo de 2015

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

DEDICATORIA

A Dios, Gracias por darme la salud, fuerza y la sabiduría necesaria para seguir el camino correcto y así cumplir cada una de mis metas.

A mi Abuelita Delia, porque desde el cielo, sé que escucha mis oraciones, me guía y me ilumina en los momentos más difíciles, te extraño abuelita!!!...

A mi Mami, porque a pesar de la distancia, su apoyo siempre ha sido incondicional y constante, gracias por tus consejos y amor, Te Amo!...

A mi Papá, por ser siempre mi ejemplo a seguir, en todo momento y en todos los aspectos, gracias por todo lo que me das y me enseñas, Te Amo!...

A mi hermanito, gracias simplemente por ser como eres, único y especial, admiro tu carácter, tu actitud con la vida y con los demás, Te Amo!...

www.bdigital.ula.ve

A mi ahijado y bebes adorados, Gabriel Andrés, Pablo Andrés, Daniel Andrés y Ángeles Daniela, por brindarme la alegría que les sobra y sacar lo mejor en mí, los amo infinitamente!...

A mi Tía Carmen y Tío Felipe, por estar al pendiente de mí, brindarme su compañía, apoyo en todo este tiempo, por sus consejos y por aceptarme como una hija, los quiero!...

A la catirita, Mile, por haber aceptado ser mi compañera en este trabajo, sin duda alguna, volvería a escogerte como mi pareja de tesis, por tu entera disposición, paciencia y demás, juntas logramos avanzar en esta meta y sueño que tenemos de ser colegas...

A mi Lindita, por ser mí mejor amiga, hermana y compañera, por tu ayuda y apoyo en todos los sentidos…

M. Fernanda Dos Santos R.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

DEDICATORIA

A Dios por siempre llevarme de su mano en el caminar diario, al Santo Niño de la Cuchilla por iluminarme y escuchar siempre mis oraciones en cada momento que necesité.

A mis padres por ser el pilar fundamental para el logro de esta meta; a mi mamá, por siempre apoyarme y darme una palabra de aliento en cada momento de desesperación durante mi carrera. A mi papá, por ser ese padre incondicional, trabajador y luchador. Son mi fuente de inspiración, me faltaran los días para agradecer cada una de las cosas que han hecho por mí.

A mis hermanos Ender, Eudis y Mile, por mantenernos siempre unidos y darnos la mano cuando más lo necesitamos.

www.bdigital.ula.ve

A mis pequeños sobrinos Josué, Dilán, Dana Fiorella y Julieth por hacer mis días más coloridos, llenos de alegrías y sonrisas.

A mi gordito Alejandro Paredes, quien siempre tuvo la disposición y una respuesta positiva en cada momento que necesitaba de su ayuda a lo largo de mi carrera.

A mi amiga y compañera de tesis Fer, por confiar en mí como pareja de trabajo, con constancia y dedicación hemos logrado llevar a cabo uno de los mayores escalones, necesario para obtener nuestra meta más anhelada.

Mileidy Rujano

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

AGRADECIMIENTOS

Las metas que logramos tienen tras de sí la mano firme de aquellos que fortalecen nuestras voluntades, nuestros sueños y hacen inquebrantables nuestras luchas… Es por ello que al eje central de nuestras vidas, Dios, este triunfo que apenas comienza, le pertenece.

A nuestra tutora Ing. Norly Belandria, por aceptarnos como tesistas y quien con sus conocimientos supo darnos las herramientas necesarias para la realización del trabajo final de grado, gracias por su dedicación y paciencia.

A los profesores de la ilustre Universidad de Los Andes, en especial a los profes, Raúl Garcia Jarpa, Roberto Torres, Patxi Vizcarret, Miguel Alvarado, Fernando Sarmiento y al Técnico Yorman, gracias por su valiosa colaboración, por sus consejos y aporte de ideas en este trabajo.

A todas aquellas personas que nos ayudaron de una u otra manera en el desarrollo de este trabajo, muy especialmente a Alejandro Paredes, sin tu disposición y ayuda, no habríamos logrado culminar… A Daniel Rivas, gracias por compartir tus conocimientos y ayudarnos a cumplir uno de los objetivos de este trabajo… Al Sr. Luis Felipe Rangel y la Sra. Carmen Centeno, Linda Pérez, Oscar Sánchez y Gerson Paredes, por acompañarnos a campo y ponerse a nuestra entera disposición.

A nuestros amigos y compañeros de clase, Natha, Sergio, Andrea, Jesús, Carlos, Nexxys, Sandra, Alexis, Joxsu, Alejandra, Juan Carlos, Vigy, Sul, Chuy y Jean José, gracias por todos los momentos vividos y compartidos, que la amistad se mantenga y perdure en el tiempo.

Al Consejo de Desarrollo Científico Humanístico, Tecnológico y de las Artes (CDCHTA - ULA) de la Universidad de Los Andes por otorgar la ayuda necesaria para el proyecto bajo el código N° I-1421-15-02-F.

Finalmente, a la Ilustre Universidad de Los Andes, que como institución, hace posible que desarrollemos objetivos, metas y proyectos en las diversas áreas del saber, formándonos en el tiempo como futuros profesionales.

www.bdigital.ula.ve
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

RESUMEN

Esta investigación se basa en la identificación del nivel de peligrosidad en los taludes ubicados en el sector Manzano Alto – Las Cruces, Mérida. Para ello, se recopila la información de trabajos previos, en los que se obtiene información acerca de los macizos rocosos, a los que se aplica la metodología de Fonseca, que determina el nivel de peligrosidad. A los macizos rocosos ubicados en curva se les realizó el análisis cinemático con proyecciones estereográficas de las cuales se obtuvieron roturas planas y en cuña. Posteriormente se calculó el factor de seguridad para la rotura plana considerándose estables, mientras que el factor de seguridad de la rotura en cuña es inestable, con valores que varían entre 0,07 a 0,40, cuando no se considera la fuerza de cohesión, calculados a través de métodos analíticos y mediante software de simulación. Finalmente, se representa los niveles de peligrosidad en un mapa, con un índice de peligrosidad que oscila entre 16,67 y 42,67, correspondiente a los niveles 1 y 2, indicando un rango de peligrosidad de poco peligrosa a peligrosa, y con una prioridad de actuación de muy baja a alta, respectivamente, recomendándose para la estabilización el empleo de señalización, gunita, anclajes activos, hormigón proyectado y drenajes para los taludes inestables.

www.bdigital.ula.ve

Palabras claves: talud, cinemática, factor de seguridad, estabilización, nivel, peligrosidad.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA ..... *III*

AGRADECIMIENTOS ..... *V*

RESUMEN ..... *VI*

ÍNDICE DE CONTENIDO ..... *VII*

ÍNDICE DE TABLA ..... *XII*

ÍNDICE DE FIGURAS ..... *XIV*

ÍNDICE DE ECUACIONES ..... *XVII*

ÍNDICE DE ANEXOS ..... *XVIII*

INTRODUCCIÓN *1*

CAPÍTULO I *2*

GENERALIDADES *2*

I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **2**

I.2. OBJETIVOS **3**

I.2.1. Objetivo General 3

I.2.2. Objetivos Específicos 3

I.3. JUSTIFICACIÓN **3**

I.4. ALCANCES Y LIMITACIONES **4**

I.4.1. Alcances 4

I.4.2. Limitaciones 4

I.5. ANTECEDENTES **5**

I.6. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO **7**

I.7. FISIOGRAFÍA **8**

II.1.1. Relieve 8

II.1.2. Vegetación 9

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

CAPÍTULO II 10

MARCO REFERENCIAL 10

II.1. MARCO GEOLÓGICO 10

II.1.1. Geología Regional 10

II.1.1.1. Geología Histórica 10

II.1.2. Geología Local 17

II.1.2.1. Asociación Tostós (Paleozoico superior) 17

II.1.2.2. Formación Sabaneta (Paleozoico superior) 18

II.1.2.3. Formación La Quinta (Jurásico) 19

II.1.2.4. Formación Aguardiente (Cretácico: Albiense) 21

II.1.2.5. Formación Capacho (Cretácico: Cenomaniense superior–Turoniense superior) 22

II.1.2.6. Formación La Luna (Cretáceo: Cenomaniense – Campaniense) 24

II.2. MARCO TEÓRICO 25

II.2.1. Las rocas 25

II.2.2. Mecánica de rocas 25

II.2.3. Macizo rocoso 26

II.2.4. Matriz rocosa 26

II.2.5. Discontinuidades 26

II.2.6. Descripción de los parámetros del macizo rocoso 28

II.2.7. Taludes en roca 29

II.2.7.1. Mecanismo de rotura 29

II.2.7.1.1. Rotura plana 29

II.2.7.1.2. Rotura en cuña 30

II.2.7.1.3. Rotura en vuelco 30

II.2.9. Factor de seguridad 31

II.2.9.1. Factor de seguridad para rotura plana 32

II.2.9.2. Factor de seguridad para rotura en cuña 32

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

II.2.10. Herramienta de análisis (programa de estudio)..... 34
II.2.10.1. Dips..... 34
II.2.10.2. Slide..... 35
II.2.10.3. Swedge..... 35
II.2.11. Peligrosidad potencial de desprendimiento de rocas..... 36
II.2.11.1. Criterios y métodos de evaluación de peligrosidad..... 36
II.2.11.1.1. Altura de talud..... 37
II.2.11.1.2. Efectividad de la cuneta de intersección..... 37
II.2.11.1.3. Riesgo medio por vehículo..... 38
II.2.11.1.4. Distancia de visibilidad..... 39
II.2.11.1.5. Ancho de la calzada..... 40
II.2.11.1.6. Características geológicas..... 41
II.2.11.1.7. Tamaño de bloque o volumen de material desprendido 45
II.2.11.1.8. Condiciones climáticas y presencia de agua..... 46
II.2.11.1.9. Historia de los desprendimientos..... 46
II.2.11.2. Análisis de la peligrosidad de desprendimientos en carreteras..... 47
II.2.12. Métodos de estabilización..... 49
II.2.13. Mapas geotécnicos..... 50
II.2.13.1. Contenido de los mapas geotécnicos..... 50
CAPÍTULO III 51
MARCO METODOLÓGICO 51
III.1. ESQUEMA METODOLÓGICO..... 51
III.2. METODOLOGÍA..... 52
III.2.1. Etapa de pre-campo..... 52
III.2.1.1. Recopilación de información..... 52
III.2.1.2. Elaboración de tabla de datos..... 53
III.2.2. Etapa de campo..... 53

www.bdigital.ula.ve
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

III.2.2.1. Reconocimiento del área de estudio 53
III.2.2.2. Identificación de litologías y estructuras geológicas..... 54
III.2.2.3. Recopilación de datos necesarios para el desarrollo de la metodología de Fonseca..... 55
III.2.3. Etapa de post-campo 60
III.2.3.1. Oficina..... 60
III.2.3.1.1. Proyecciones Estereográficas a lo largo de la carretera 60
III.2.3.1.1.1. Uso del Software Dips para taludes 61
III.2.3.1.2. Tipos de rotura a lo largo de la carretera 65
III.2.3.1.3. Factor de seguridad a lo largo de la carretera 65
III.2.3.1.3.1. Uso del Software Slide para taludes que presenten rotura plana 65
III.2.3.1.3.2. Uso del Software Swedge para taludes que presenten rotura en cuña..... 69
III.2.3.1.4. Evaluación del nivel de peligrosidad por medio de la metodología de Fonseca 72
III.2.3.1.5. Digitalización del mapa de nivel de peligrosidad..... 72
III.2.3.1.6. Redacción del informe final..... 73

CAPÍTULO IV 74

CÁLCULOS Y RESULTADOS 74

IV.1. ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LOS TALUDES A LO LARGO DE LA CARRETERA 74
IV.1.1. Determinación de la cinemática del talud TB – CE 01 74
IV.1.2. Determinación de la cinemática del talud TB - CE 12..... 76
IV.1.3. Determinación de la cinemática del talud TB - CE 23..... 77
IV.1.4. Determinación de la cinemática del talud TC - M1..... 79
IV.1.5. Determinación de la cinemática del talud TC - M2..... 80

www.bdigital.ula.ve
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

IV.2. SIMULACIÓN DE TALUDES Y CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD A LO LARGO DE LA CARRETERA..... 82

IV.2.1. Simulación y cálculo del factor de seguridad con el software Slide 82

IV.2.2. Cálculo analítico del factor de seguridad de rotura plana 85

IV.2.3. Simulación y cálculo del factor de seguridad con software Swedge 87

IV.2.4. Cálculo analítico del factor de seguridad de rotura en cuña .. 88

IV.3. RECOMENDACIÓN DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN PARA LOS TALUDES UBICADOS EN CURVA..... 91

IV.4. EVALUACIÓN DE PELIGROSIDAD 92

IV.5. REPRESENTACIÓN DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD POR MEDIO DE UN MAPA 97

CAPÍTULO V 99

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 99

V.1. Conclusiones..... 99

V.2. Recomendaciones..... 100

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 102

ANEXOS..... 105

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Tipos de discontinuidades. 28
Tabla 2. Valores aproximados para *C* y *Φ* del macizo rocoso según su calidad. 31
Tabla 3. Valores del Factor de seguridad asociado a las condiciones de estabilidad de laderas. 34
Tabla 4. Evaluación de la altura del talud. 37
Tabla 5. Evaluación de la efectividad de la cuneta. 38
Tabla 6. Evaluación del riesgo medio por vehículo. 39
Tabla 7. Valores mínimos de diseño para la limitación de velocidad asociada. 40
Tabla 8. Evaluación de la distancia de visibilidad. 40
Tabla 9. Evaluación del ancho de la calzada. 41
Tabla 10. Evaluación de la condición estructural para el caso uno. 42
Tabla 11. Evaluación de la fricción y rugosidad para el caso uno. 43
Tabla 12. Evaluación de la condición estructural para el caso dos. 44
Tabla 13. Evaluación del grado de erosión para el caso dos. 45
Tabla 14. Evaluación del tamaño del bloque o volumen del material desprendido. 45
Tabla 15. Evaluación del clima y presencia de agua en el talud. 46
Tabla 16. Evaluación de la historia de los desprendimientos. 47
Tabla 17. Peso adicional para factores de mayor importancia. 48
Tabla 18. Riesgo de desprendimiento en carreteras. 48
Tabla 19. Macizos rocosos estudiados obtenidos de los trabajos de grado. 53
Tabla 20. Datos y tipo de rotura del talud TB – CE 01. 75
Tabla 21. Datos y tipo de rotura del talud TB – CE 12. 76
Tabla 22. Datos y tipo de rotura del talud TB - CE 23. 78
Tabla 23. Datos y tipo de rotura del talud TC - M1. 80
Tabla 24. Datos y tipo de rotura del talud TC - M2. 81
Tabla 25. Factor de seguridad obtenido por el software Slide. 84

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 26. Factor de seguridad según las condiciones aplicadas. 85
Tabla 27. Datos para el cálculo analítico del factor de seguridad de la rotura plana de los taludes. 86
Tabla 28. Factor de seguridad de rotura plana calculado analíticamente. ... 86
Tabla 29. Factores de seguridad para las roturas planas en los taludes. 86
Tabla 30. Factor de seguridad calculado por el software Swedge. 88
Tabla 31. Datos para el cálculo analítico del factor de seguridad de la rotura en cuña de los taludes. 89
Tabla 32. Factor de seguridad calculado analíticamente. 89
Tabla 33. Factores de seguridad para las roturas en cuña en los taludes. ... 90
Tabla 34. Recomendación de métodos de estabilización propuestos para los taludes ubicados en curva. 91
Tabla 35. Cantidad de carros en una hora durante una semana. 92
Tabla 36. Longitud de recorrido y límite de velocidad para cada tramo. 93
Tabla 37. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al talud TB – CE 01. 96
Tabla 38. Evaluación de la peligrosidad potencial de desprendimiento de rocas para la zona comprendida entre el sector Manzano Alto – Las Cruces, estado Mérida. 97

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio. A) Mapa de Venezuela, B) Mapa de Mérida y C) Imagen satelital con el área delimitada 7
Figura 2. Columna estratigráfica de la región de Mérida 16
Figura 3. Talud TC – M1. Esquistos de color gris verdoso que meteorizan a gris oscuro. Coordenadas E 246.950; N 949.746. 17
Figura 4. Talud TB – CE 01. Metaconglomerado de color gris violeta, con abundante meteorización con tonalidades de marrón a negro. Coordenadas E 255.940; N 948.410. 19
Figura 5. Talud TB – CE 11. Areniscas Conglomeraticas, con meteorización. Coordenadas E 253.223; N 949.240. 20
Figura 6. Talud TB – CE 12. Conglomerado de color marrón rojizo en roca fresca. Coordenada E 252.942; N 949.667.....20
Figura 7. Talud TB – CE 21. Areniscas cuarzosas muy compactas. Coordenadas E 251.849; N 949.480. 21
Figura 8. Talud TC – M2. Areniscas compactas y delgadas capas de lutitas. Coordenadas E 246.662; N 949.462. 22
Figura 9. Talud TD – M1. Calizas masivas, fosilíferas de color gris claro a gris oscuro. Coordenadas E 244.695; N 948.474. 23
Figura 10. Talud TB – CE 22. Lutitas de color negro, no calcáreas, fracturadas y meteorizadas. Coordenadas E 251.996; N 949.372. 23
Figura 11. Talud TB – CE 23. Calizas de color gris oscuro a negro, fracturadas. Coordenadas E 252.039; N 949.340.....24
Figura 12. Talud TD – M2. Calizas laminares con intercalaciones de lutitas. Coordenadas E 244.456; N 948.493. 25
Figura 13. Representación estereográfica de los planos de discontinuidad con respecto a la orientación del talud para algunos tipos de roturas en macizos rocosos. 29
Figura 14. Imagen satelital obtenida a través del programa Google Earth. 54
Figura 15. Medición de la altura del talud TC – M2.....55

www.bdigital.ula.ve
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Figura 16. Cuneta del talud TB – CE 21. 56
Figura 17. Ancho de la calzada en el talud TB – CE 22....57
Figura 18. Diaclasas discontinuas, orientación desfavorable. Grietas menores de 3m de largo. Talud TB – CE 23. 58
Figura 19. Unión áspera entre la superficie de roca, planos bastantes irregulares, condición de fricción óptima. Talud TC – M2. 58
Figura 20. Grandes y numerosos rasgos de erosión diferencial en toda la superficie del talud. Talud TD – M1. 59
Figura 21. Bloque desprendido del talud TB – CE 23. 59
Figura 22. Presencia de agua intermitente en el talud TC – M2. 60
Figura 23. Casillas para ingresar el buzamiento y dirección de buzamiento de las discontinuidades en el software Dips. 61
Figura 24. Discontinuidades visualizadas en la proyección estereográfica en el software Dips. 62
Figura 25. Opción para cambiar los colores de la estereofalsilla en el software Dips. 62
Figura 26. Casillas para ingresar el buzamiento y dirección de buzamiento de los taludes en el software Dips. 63
Figura 27. Casillas para ingresar los datos para el ángulo de fricción en el software Dips. 64
Figura 28. Intervalo de taludes que presentan rotura en el software Dips. 64
Figura 29. Tabla para ingresar las coordenadas del perfil topográfico (x,y). 65
Figura 30. Casillas para ingresar las propiedades del material presente en el talud. 66
Figura 31. Cuadro para configurar la superficie de discontinuidad. 67
Figura 32. Casilla para seleccionar el método de análisis para el cálculo del factor de seguridad del talud. 68
Figura 33. Casillas para agregar los valores de las fuerzas sísmicas. 69
Figura 34. Casillas para dar nombre al proyecto y determinar unidades métricas y tipo de análisis en el Software Swedge. 69

www.bdigital.ula.ve
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Figura 35. Casillas para ingresar los datos de las discontinuidades, talud y ángulo de fricción interna en el Software Swedge. 70
Figura 36. Rotura en cuña representada en diferentes perspectivas y valor del factor de seguridad del talud en el Software Swedge. 71
Figura 37. Proyección estereográfica de la rotura en cuña y talud en el Software Swedge. 71
Figura 38. Proyecciones estereográficas y los polos para el talud TB – CE 01. 75
Figura 39. Proyecciones estereográficas y los polos para el talud TB – CE 12. 77
Figura 40. Proyecciones estereográficas y los polos para el talud TB – CE 23. 78
Figura 41. Proyecciones estereográficas y los polos para el talud TC - M1. 79
Figura 42. Proyecciones estereográficas y los polos para el talud TC - M2. 81
Figura 43. Simulación del talud TB – CE 12 para obtener el valor del factor de seguridad. 82
Figura 44. Simulación del talud TB – CE 23 para obtener el valor del factor de seguridad. 83
Figura 45. Simulación del talud TC – M1 para obtener el valor del factor de seguridad. 83
Figura 46. Simulación del talud TC – M2 para obtener el valor del factor de seguridad. 84
Figura 47. Simulación del talud TB – CE 01 con el software Swedge. 87
Figura 48. Gráfico para la cantidad de carros según el sentido de circulación versus el día de la semana. 94
Figura 49. Gráfico para el total de carros diaria versus los días de la semana. 94

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 1. Factor de seguridad para la rotura plana 32
Ec. 2. Inclinación. 32
Ec. 3. Resultante de las fuerzas actuantes 32
Ec. 4. Factor de seguridad para rotura en cuña 32
Ec. 5. Ángulo normal a las discontinuidades 33
Ec. 6. Dirección de buzamiento de la intersección 33
Ec. 7. Ángulo de buzamiento de la intersección 33
Ec. 8. Riesgo medio por vehículo 38
Ec. 9. Porcentaje de visibilidad 40
Ec. 10. Índice del nivel de riesgo 48

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación y descripción litológica de los macizos rocosos 106
Anexo 2. Parámetros necesarios para la evaluación del nivel de peligrosidad mediante la Metodología de Fonseca 107
Anexo 3. Simulación del talud TB – CE 12 con el software Swedge. 108
Anexo 4. Simulación del talud TB – CE 23 con el software Swedge, cuña entre D2 y D3..... 108
Anexo 5. Simulación del talud TB – CE 23 con el software Swedge, cuña entre D1 y D3..... 109
Anexo 6. Simulación del talud TC - M1 con el software Swedge. 109
Anexo 7. Simulación del talud TC - M2 con el software Swedge. 110
Anexo 8. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TB – CE 11. 111
Anexo 9. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TB – CE 12. 112
Anexo 10. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TB – CE 21. 113
Anexo 11. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TB – CE 22. 114
Anexo 12. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TB – CE 23. 115
Anexo 13. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TC – M1. 116
Anexo 14. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TC – M2. 117
Anexo 15. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TD – M1. 118
Anexo 16. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TD – M2. 119

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 17. Mapa del nivel de peligrosidad para el área comprendida entre el sector Manzano Alto – Las Cruces, estado Mérida. 120

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

INTRODUCCIÓN

Los procesos geodinámicos tanto internos como externos afectan a la superficie terrestre dando lugar a movimientos del terreno y determinan su constante evolución, provocando cambios estructurales, químicos y/o morfológicos que afectan la superficie. De todos ellos, los que tiene lugar con mayor frecuencia son los movimientos en taludes y laderas potencialmente inestables.

Por consiguiente, los riesgos naturales generados por los desprendimientos potenciales de rocas, afectan las vías de comunicación que dan accesibilidad a zonas montañosas, al igual que a la población, por el peligro asociado al relieve y geología del territorio; es por esto, que se pretende conocer las causas de estos procesos, para intentar dar garantías a la estabilidad de los taludes contra deslizamientos, perdidas de estabilidad o desprendimientos y establecer un orden de prioridad en actuaciones y así lograr la estabilidad de éstos.

www.bdigital.ula.ve

La estabilidad de los macizos rocosos se ve influenciada por parámetros Geomorfológicos, Geotécnicos, Geológicos y Estructurales, debido a esto es importante conocer las características geomecánicas del macizo, permitiendo así, la determinación del comportamiento de éste, frente a procesos geodinámicos.

En tal sentido, este estudio pretende identificar el nivel de peligrosidad en taludes localizados en los sectores Manzano Alto - Las Cruces, municipio Campo Elías, estado Mérida, a través de un análisis del comportamiento de los macizos, tomando en cuenta el tipo de rotura, para hacer los respectivos cálculos de factor de seguridad por medios analíticos o de simulación, permitiendo así cuantificar la estabilidad de dichos taludes y finalmente empleando la Metodología de Fonseca, se pueda visualizar la peligrosidad y/o prioridad de actuación para cada uno de los taludes, donde los resultados obtenidos son plasmados en un mapa del nivel de peligrosidad.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La descripción y caracterización de los macizos rocosos en afloramientos, permite obtener información necesaria para evaluar el comportamiento geotécnico de estos. Se pueden presentar una gran variedad de condiciones y propiedades, al momento de caracterizar los macizos, en especial si se generan conjuntamente materiales rocosos y suelos, zonas fracturadas, tectonizadas o meteorizadas, éstas características son las que influyen en la estabilidad de los macizos rocosos.

Las vialidades en muchas zonas se ven afectadas por diversos taludes y macizos rocosos que presentan deslizamientos, pérdida de estabilidad o desprendimientos, dichos problemas vienen relacionados a procesos geomorfológicos (erosión, el incremento de carga de la masa rocosa producido por el agua de lluvia que percola en ella), a los rasgos geológicos – estructurales y geotécnicos presentes, así como otros esfuerzos temporales producidos por el tránsito de vehículos pesados.

www.bdigital.ula.ve

En la zona de estudio, específicamente entre los sectores Manzano Alto y Las Cruces, de la carretera vía Mérida – Jají, se ve afectada por la presencia de bloques inestables en los taludes, generados por el cambio de presión del agua en los planos de discontinuidad o redes de diaclasas, produciendo niveles de peligrosidad, utilizando la metodología de Roberto Fonseca para la caracterización de dichos niveles.

Por consiguiente, se deben realizar los estudios geológicos, geomorfológicos y geotécnicos necesarios para la caracterización del área, con el fin de implantar un orden o prioridad de los taludes más inestables que requieran una actuación de medidas correctoras de protección o estabilización.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

I.2. OBJETIVOS

I.2.1. Objetivo General

- Identificar el nivel de peligrosidad en taludes rocosos del sector Manzano Alto - Las Cruces, Mérida.

I.2.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información en diversas bibliografías acerca de la clasificación geomecánica de los macizos rocosos y de métodos de estabilización que permitan la reducción de vulnerabilidad de los taludes.

- Calcular el factor de seguridad mediante los parámetros geométricos, geológicos, geotécnicos, cinemáticos y de la trayectoria de la vía para la estimación de áreas propensas a peligros potenciales.

www.bdigital.ula.ve

- Aplicar la metodología de Fonseca para la identificación del nivel de peligrosidad y el conocimiento de zonas que requieran prioridad de actuación.

- Elaborar un mapa donde se represente los niveles de peligrosidad obtenidos por la metodología de Fonseca.

I.3. JUSTIFICACIÓN

Este estudio se basa en tomar en cuenta las características geomorfológicas, geológicas – estructurales y geotécnicas para realizar un análisis de estabilidad y evaluación de peligrosidad de ciertos taludes ubicados entre el sector Manzano Alto - Las Cruces, siendo este tramo vehicular uno de los más antiguos e importantes del estado Mérida, por ser una vía de transporte turístico y agrícola que comunica entre sí, las poblaciones de Jají, La Azulita y Mérida.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Debido a esto, se pretende mejorar las condiciones geotécnicas mediante los datos recolectados acerca de la caracterización de los macizos rocosos por medio de los métodos de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR), Romana (SMR) y Hoek y Brown (GSI), que proporcionan información sobre la calidad y resistencia del macizo; de igual manera realizar el cálculo del factor de seguridad mediante los parámetros geométricos, geológicos, geotécnicos y una evaluación de la peligrosidad causada por el desprendimiento de rocas en este tramo de carretera a través de la metodología de Roberto Fonseca, para así encontrar los factores condicionantes y desencadenantes y realizar un mapa que represente los niveles de peligrosidad obtenidos por el método de Fonseca y de esta manera proponer posibles soluciones necesarias de estabilización y prioridad de actuación para lograr un beneficio tanto en la vialidad como en la población del estado Mérida.

www.bdigital.ula.ve

I.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

I.4.1. Alcances

En este trabajo se pretende realizar los estudios geológicos y geotécnicos necesarios para identificar el nivel de peligrosidad de los taludes rocosos ubicados en el sector Manzano Alto - Las Cruces, Mérida, a través del método de Fonseca.

Con los datos obtenidos se utilizan diversas herramientas de análisis que permitan determinar el factor de seguridad a lo largo de la carretera de cada uno de los taludes y de esta manera generar el mapa del nivel de peligrosidad de donde se obtienen las conclusiones y recomendaciones que permitan proponer métodos de estabilización y prioridad de actuación.

I.4.2. Limitaciones

Dentro de las principales limitantes se encuentra el clima, puesto que se presentan constantes precipitaciones en esta zona, afectando a la estabilidad

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

de los taludes y haciendo peligroso el acceso a estos, alargando así el tiempo estipulado para el desarrollo de la etapa de campo; estos taludes presentan altas pendientes, abundante vegetación y meteorización, ocasionando que las características de estas áreas sean determinadas por extrapolación, generando un margen de error. Por otra parte, la metodología de Roberto Fonseca es descrita y propuesta para la determinación del nivel de riesgo, pero al estudiar el método se determina que principalmente se enfoca en obtener el nivel de peligrosidad puesto que riesgo implica diversas variables que no se toman en cuenta en los parámetros a evaluar en la metodología. Por último, otra de las limitantes es el transporte hacia la zona de estudio, la cual es muy escasa.

I.5. ANTECEDENTES

Contreras, I. y Fernández, E. (2013), en su trabajo de grado titulado: "Determinación de la estabilidad e identificación del nivel de riesgo en taludes comprendidos en el sector Vuelta de Lola - El Peñón, estado Mérida, Venezuela", calcularon el factor de seguridad a través de métodos analíticos y de simulación a partir del software Slide y el cálculo del índice de peligrosidad implementado la metodología de Fonseca, Roberto y Quintana, Carlos.

www.bdigital.ula.ve

O'Neill, R. y Castillo, F. (2013), ejecutaron un estudio geotécnico y estructural de los taludes ubicados entre el sector El Portachuelo y La Chorrera, vía Jají, municipio Campo Elías, estado Mérida, con el fin de evaluar la estabilidad de los taludes más vulnerables, calcularon el factor de seguridad por medio del método de equilibrio límite y realizaron un mapa geológico-estructural.

Riveros, F. (2013), su trabajo de grado se titula: *"Estudio geológico y geotécnico de los taludes aplicando el método de equilibrio límite en el sector "Las Cruces", vía Mérida – Jají, estado Mérida"*, en el cual se recolectaron muestras para determinar parámetros físicos y químicos de los materiales a

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

través de ensayos de laboratorio y análisis de difracción de rayos X y finalmente calculó los factores de seguridad en taludes de suelo a través del método de equilibrio límite.

Hernández, J. y Quintero, J. (2012), en su trabajo de investigación denominado *"Estudio Geológico – Geotécnico de los deslizamientos en masas localizados en La carretera Ejido – Jají entre el Sector El Salado Alto y el sector El Portachuelo, en el Municipio Campo Elías, estado Mérida"* estudian la estabilidad de los taludes, obteniendo parámetros físicos y mecánicos necesarios para clasificar y obtener el factor de seguridad mediante el software Slide.

Méndez, Y. (2011), realizó una caracterización y evaluación geológica - geotécnica de las unidades de relieve localizadas dentro de la poligonal urbana del municipio Campo Elías, la cual consistió en un estudio de laderas y taludes de corte a partir de la evaluación de parámetros geomecánicos de roca y suelo, y el análisis de la disposición geométrica de las discontinuidades pertenecientes a los macizos rocosos.

www.bdigital.ula.ve

Belandria, N; Ucar, R y Bongiorno, F. (2011), en su artículo de investigación denominado *"Determinación de expresiones matemáticas para el cálculo de los esfuerzos aplicados a la estabilidad de taludes"* proponen un método analítico que permite determinar en forma aproximada la distribución de los esfuerzos normales y tangenciales actuando sobre una superficie potencial de rotura plana, permitiendo calcular los parámetros de corte instantáneos y compararlos con el programa de Roclab.

Bongiorno, F; Molina, G; Belandria, N y Rivero, R. (2011), su estudio se basó en evaluar las propiedades geomecánicas que condicionan el grado de susceptibilidad ante movimiento en masa que poseen los taludes y laderas que se encuentran en la vía que comunica las poblaciones de Los Guáimaros y La Mesa de Los Indios ambos del municipio Campo Elías del estado Mérida. Con ello elaboraron un mapa de susceptibilidad que sirve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

como medio de información para la población que hace vida en estas localidades.

Bongiorno, F; Monsalve, Z; Belandria, N y Montilla, N. (2010), realizan un artículo en el que presentan un diagnóstico geotécnico y geomecánico de los macizos rocosos del río Topo, autopista Caracas – La Guaira, con el propósito de determinar las variables que influyen susceptiblemente en la inestabilidad de taludes y movimientos de masa.

I.6. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en el occidente del país, al noreste del estado Mérida, específicamente en el municipio Campo Elías, entre los sectores Manzano Alto y Las Cruces (Figura 1), a lo largo de la carretera Mérida – Jají, conformada por una serie de montañas pertenecientes a los Andes venezolanos.

www.bdigital.ula.ve

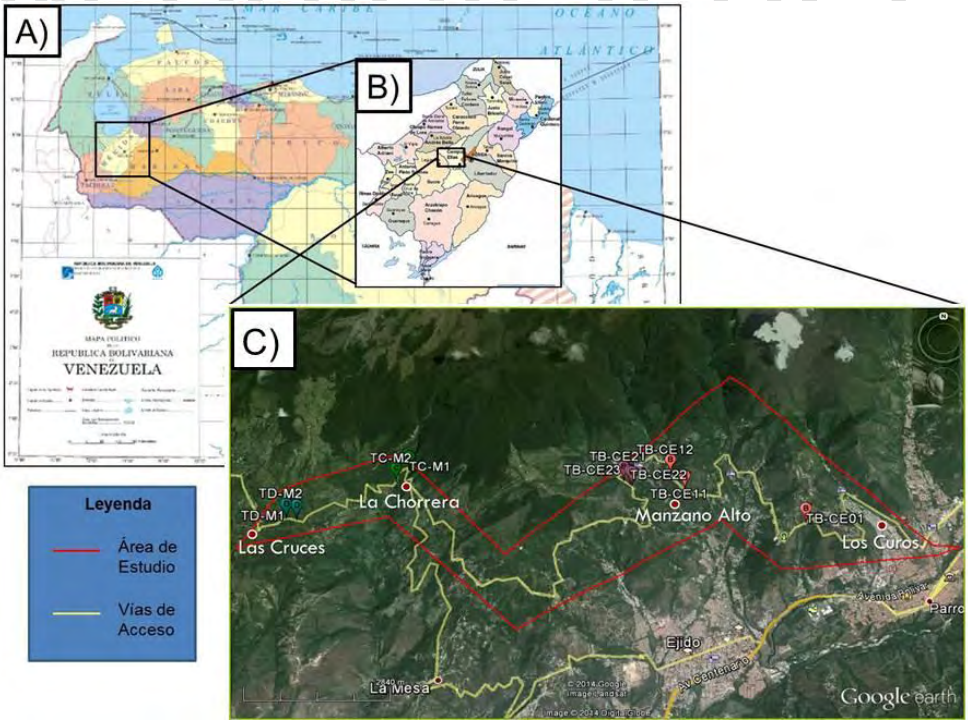


Figura 1. Ubicación del área de estudio. A) Mapa de Venezuela, B) Mapa de Mérida y C) Imagen satelital con el área delimitada. Fuente: A) (Instituto Geográfico de Venezuela, ca. 2000), B) (Orozco R, 2004-2013) y C) (Earth, 2014).

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

La zona de estudio se encuentra enmarcada entre las siguientes coordenadas UTM, 256.916 E – 948.971 N en el sector Los Curos, 252.447 E – 949.755 N en el sector Manzano Alto, 246.803 E – 949.617 N en el sector La Chorrera y 243.999 E – 948.120 N en el sector Las Cruces.

I.7. FISIOGRAFÍA

La precipitación media anual en la zona de estudio se sitúa entre los 800 y 1.800 mm, con una temperatura promedio entre los 15 y 23 °C. En Jají se tienen precipitaciones anuales de 1.400 mm con una temperatura media anual entre 18 y 20 °C. (Corporación de Los Andes, 2011)

La precipitación promedio anual se ubica en 839,2 mm con un patrón de distribución el cual presenta un régimen bimodal con dos máximas de precipitación: mayo y septiembre - octubre, descargando en estos tres meses el 40,7% del total anual. (Corporación de Los Andes, 2011)

www.bdigital.ula.ve

II.1.1. Relieve

El área de estudio presenta un relieve de montaña, cuyos niveles altitudinales varían entre los 2.400 y los 2.334 msnm, donde Jají se encuentra a 1.789 msnm. (Corporación de Los Andes, 2011)

El sistema de relieve en el cual está emplazado la zona de estudio es calificado como muy inclinado; (Rango de pendiente > 32%). (Corporación de Los Andes, 2011). El medio de ablación de montaña corresponde a la cuenca media del río Chama comprendida entre el páramo del Campanario a 4.298 msnm como límite septentrional, y el Páramo El Portachuelo a 3.100 msnm (Parroquia Acequias) como umbral meridional. El sistema orográfico posee fundamentalmente una orientación NE-S0, en cambio, sus interfluvios secundarios están, en sentido S-N perpendicular al valle principal, con un rango de pendiente 35-50%. (Corporación de Los Andes, 2011)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

II.1.2. Vegetación

La vegetación en esta zona presenta condiciones típicas del Bosque Húmedo Premontano; en las áreas menos intervenidas, se observan copas densas con epifitismo predominando la barba de palo (Tillandsia usneoides). (Corporación de Los Andes, 2011)

Ésta área presenta una vegetación altamente modificada por la acción antrópica restringiéndose a pequeñas manchas en las márgenes de los cuerpos de agua y a las vertientes de los ABRAE (Parque Nacional Sierra de la Culata, Parroquia Jají); los remanentes de bosque primario (Bosque ombrófilo montano siempre verde) están conformados fundamentalmente por especies mesófilas o macrófilas y su desplazamiento a dado paso a una vegetación arbustiva de sotobosque y matorrales. (Corporación de Los Andes, 2011)

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

II.1. MARCO GEOLÓGICO

II.1.1. Geología Regional

II.1.1.1. Geología Histórica

El Sistema Andino venezolano comienza a diferenciarse en el nudo de Pamplona, donde la Cordillera Oriental de Colombia se subdivide en dos ramales uno que continúa en dirección N – NO y llega a la frontera colombo – venezolana donde comienza la Sierra de Perijá y otro, que a partir del páramo de El Tamá cae en la depresión o silla de Táchira y continúa hacia el NE para formar los Andes venezolanos o Cordillera de Mérida. (González de Juana, Iturralde de Arozena, & Picard Cadillat, 1980).

Los Andes venezolanos comienzan en la depresión de Táchira y terminan al NE en la depresión de Barquisimeto, con una longitud aproximada de 425 km y una anchura promedio de 80 km, están delimitados hacia el Sureste por Los Llanos con la depresión o cuenca Barinas – Apure y hacia el Noroeste con la depresión del Lago de Maracaibo. (González de Juana, Iturralde de Arozena, & Picard Cadillat, 1980)

Geomorfológicamente los Andes Venezolanos representan un levantamiento topográfico – tectónico cuya culminación se encuentra en la Sierra Nevada de Mérida. Esta culminación destaca topográficamente por la presencia del Pico Bolívar con 5.007 m de altitud, donde geológicamente afloran en dos zonas distintas y separadas las formaciones más antiguas, de edad posiblemente del Proterozoico superior (± 600 millones de años). En la zona meridional, región del Macizo de Colorado, se conoce con el nombre de Formación Bella Vista y en la zona central y centro-norte de Los Andes, se conocen con el nombre de Complejo Iglesias que comprende las “facies” Sierra Nevada, Bella Vista y Tostós. (Shagam, 1972).

www.bdigital.ula.ve
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Las rocas del Complejo Iglesias constituyen el basamento andino y consiste en rocas metasedimentarias, las cuales fueron afectadas por un metamorfismo regional hasta las facies de la anfibolita; sobre este basamento fueron depositados sedimentos paleozoicos, mesozoicos y cenozoicos en diferentes períodos orogénicos y de sedimentación. (González de Juana, Iturralde de Arozena, & Picard Cadillat, 1980)

Durante el Paleozoico se presentaron eventos de sedimentación entre dos períodos de orogénesis, denominadas Caparoensis y Herciniana (esta última acompañada por actividad ígnea), producidas a finales del Cámbrico y comienzos del Ordovícico y entre finales del Pérmico y comienzos del Triásico, respectivamente (Testamarck et al., 1991; en La Marca, E. 1997)

La actividad ígnea durante el Paleozoico de la Región Andina fue importante, con magmatismo evidentemente plutónico y no extrusivo a excepción de lo ocurrido en Bailadores, un vulcanismo submarino extrusivo en Mucuchachí. La actividad ígnea intrusiva puede reconocerse en tres eventos diferentes correspondientes al Paleozoico inferior, medio y Permo-Triásico. El Paleozoico inferior (Ordovícico y Silúrico) está representado por las unidades sedimentarias y fosilíferas Caparo y El Horno y posiblemente por las unidades metamórficas Tostós y Cerro Azul. El Paleozoico medio correspondiente al Devónico y Misisipiense, no está representado por unidades sedimentarias, pero si se han datado granitos correspondientes a este lapso. La Orogénesis Permo-Triásica (García J, 1976); está representada por el mayor evento de metamorfismo regional progradante ocurrido a finales del Pérmico y que afectó a las rocas precámbricas y paleozoicas ubicadas hoy en día al norte y noreste de Los Andes (Sierra Nevada, Tostós, Mucuchachí, Sabaneta, Palmarito, El Águila, Río Momboy y Los Torres). También en el Triásico se emplazan los cuerpos ígneos denominados Granitos de Chachopo, El Carmen-Mucuchies, Adamelita de La Culata y tobas de Seboruco, cuyas edades son de 225 ma.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

La Era Mesozoica se desarrolló en Venezuela en dos dominios: uno epicontinental, autóctono, que aflora en la Cordillera de Los Andes, Sierra de Perijá y Serranía del Interior Oriental, y otro geosinclinal, alóctono, que aflora en las Cordilleras de La Costa Central y Oriental, La Serranía del Interior, la Península de Paraguaná, la Isla de Margarita y otras islas de la plataforma continental, (González de Juana, et al.,1980).

Durante el Triásico fue una época de intenso vulcanismo e intrusiones que condicionó una ausencia de sedimentos de esa edad en toda Venezuela. Para el Jurásico ya se había establecido una cuenca marina al norte de Venezuela que quizás cubrió desde la Península Guajira hasta la isla La Trinidad; en un área positiva de Venezuela occidental, al norte del Cratón de Guayana, se formaron una serie de estructuras tipo horst y graben, donde se depositaron capas rojas de ambiente continental con algunos episodios lacustres (Formación La Quinta). En Los Andes, hay rocas volcánicas escasas en la Formación La Quinta, en forma de lavas diabásicas superficiales y diques intrusivos al oeste de Mérida y al norte de Lagunillas, y tobas volcánicas en la base de la sección tipo. (González de Juana, et al.,1980). Las facies no rojas de la Formación La Quinta, en los alrededores de Mérida contienen fósiles de agua dulce, y su posición estratigráfica indica una posible sedimentación relativamente más baja que la de la zona piedemontina donde se depositaron las facies rojas de dicha unidad litológica. (Odreman y Ghosh, 1980, en La Marca, E. 1997).

La transgresión cretácica se produce en Venezuela como un efecto tardío y como corolario de fenómenos más importantes relacionados en la separación de Pangea durante el Jurásico y quizá, más directamente con la apertura del rift del Atlántico Sur. La transgresión se produce desde dos fuentes, el primero se origina en el mar del dominio geosinclinal al norte del cratón e invade por el oriente y por el surco de Barquisimeto (Subcuenca de Lara-Trujillo), mientras que el segundo frente proviene del mar epicontinental de la Cordillera Oriental de Colombia y progresa contra la plataforma de

www.bdigital.ula.ve
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Maracaibo y Arco de Mérida por los surcos de Machiques (Subcuenca de Machiques) y Uribante (Subcuenca del Uribante).

Durante el Barremiense (hace 120 m.a.) se rellenan con sedimentos fluviales los surcos de Venezuela Occidental, como es el caso del llamado Surco del Uribante. Esta sedimentación constituyó la unidad conocida como Formación Río Negro, es decir, una secuencia importante de areniscas blancas y conglomerados de grava fina. A comienzos del Aptiense (unos 110 m.a.), sobre los surcos ya rellenos comenzaron a avanzar las aguas marinas que permiten sedimentación de ambientes epicontinentales, para originar calizas bioclásticas muy fosilíferas que constituyen la unidad conocida como Formación Apón. Por su parte, durante el Albiense se produce una interdigitación de areniscas cuarzosas, lutitas y calizas grises duras, conocida como Formación Aguardiente. (González de Juana et al., 1980, en Vivas, 1992).

www.bdigital.ula.ve

El avance del mar cretácico va a ocasionar una sedimentación de aguas mucho más profundas netamente marinas que provocan la sedimentación de lutitas negras calcáreas (margas) y calizas grises a negras con gran riqueza de materia orgánica indicadora de rocas madres del petróleo. Estos afloramientos conforman la unidad llamada Formación La Luna, con una unidad lateralmente equivalente a su parte inferior y media que se llama Formación Capacho. (Vivas, 1992).

Luego del depósito de la Formación La Luna, ocurre también en ambientes marinos la acumulación de lutitas y bancos de areniscas de grano fino y calizas, que constituye la Formación Colón y lutitas similares con intercalaciones de limos arenas y más localmente calizas que forman parte de la Formación Mito-Juan. (Vivas, 1992).

El Cretáceo está bien representado por sus rocas sedimentarias continentales marinas transgresivas o regresivas, principalmente en la Depresión del Táchira y secundariamente en la parte central y en los flancos noroccidentales andinos del estado Mérida; zonas de La Carbonera y La

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Azulita. En los sectores andinos adyacentes a la Depresión de Lara también abundan las rocas sedimentarias. (Vivas, 1992).

En Venezuela occidental, la sedimentación del ciclo Terciario inferior comienza a partir de una línea de costa de bajo relieve en ambientes de poca profundidad. (González de Juana, et al.,1980). Durante el Paleógeno (que abarca las Series Paleoceno, Eoceno y Oligoceno), las deformaciones estructurales en el suroeste de Los Andes iniciadas durante el Cretácico, continuaron durante este período en forma de una tectónica compresiva que predominó después en las deformaciones post – paleógenas.

En el Paleoceno comienza a delimitarse la cuenca actual del Lago de Maracaibo, con la sedimentación de aguas someras y ambientes deltaicos, en los Andes venezolanos representado por el Grupo Orocué. Ésta unidad ha sido subdividida en tres Formaciones (Catatumbo, Barco y Los Cuervos). (La Marca, E. 1997).

www.bdigital.ula.ve

En el Eoceno inferior y medio cabe destacar los sedimentos de origen fluvial que conforman a las formaciones Mirador y Misoa, bien representado en Táchira y Trujillo, respectivamente. Hacia el Eoceno medio ocurre una sedimentación marginal con gran aporte continental que hace posible la sedimentación de la formación San Javier en la parte central de Los Andes. Para el Eoceno superior al Oligoceno hay que destacar en el suroeste andino, Depresión del Táchira al suroeste de San Cristóbal, cuenca del río Lobatera y también en el estado Mérida la Formación Carbonera está representada por sedimentos de facies inundables de mal drenaje. Se trata de lutitas y carbones por encima de la Formación Mirador e infrayacen a la Formación León. (Vivas, 1992). Hacia el Mioceno superior-Plioceno la actividad tectónica se intensifica y la cadena andina alcanza su configuración actual. Las rocas sedimentarias derivadas de la erosión de la cordillera durante su levantamiento en el Neógeno están representadas por las formaciones Palmar, Isnotú y Betijoque. (González de Juana, et al.,1980).

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

El Cuaternario se divide en dos series, el Pleistoceno y el Holoceno. El Holoceno es una época de más corta duración a la que generalmente se le indica una fecha inicial de 10.000 años antes del presente, correspondiente al penúltimo episodio de estabilización en el ascenso eustático del nivel del mar producto del deshielo. Para la época del Pleistoceno se han identificado cuatro grandes glaciaciones. En Venezuela se ha documentado solamente la última glaciación designada como Glaciación Mérida por Schubert (1974) y que representa el final del Pleistoceno superior y el comienzo del Holoceno. (González de Juana et al., 1980; en La Marca, E. 1997).

La sedimentación continental durante el Pleistoceno estuvo influenciada por las condiciones climáticas imperantes durante las glaciaciones. La aridez condicionó una alta denudación de los suelos y procesos de laderas en las montañas, mientras que la precipitación, en menor proporción, se concentró en lluvias torrenciales que contribuyeron con el arrastre de grandes cantidades de material erosionado con el cual se produjo un relleno sedimentario fluvio - glacial y aluvial en los valles intramontanos y en los piedemontes septentrionales y meridionales, formando así las terrazas andinas y los abanicos aluviales del piedemonte andino - llanero (La Marca, E. 1997).

La siguiente Figura 2, representa la columna estratigráfica regional de Los Andes que indica la ubicación relativa de las unidades de rocas típicas de la zona.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

EDAD			FORMACIÓN / ASOC.	MIEMBRO/ESPESOR	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA GENERAL
CENOZOICO	CUATERN.	Reciente	Depósitos recientes		Aluvión y terrazas, Arenas, Gravas y Arcillas
		Pleistoceno			
	TERCIARIO	Plioceno	Betijoque	3300 m	Conglomerado No Consolidado de Peña y Guijarros, Arenas Blancas y Arcillas Moteadas
			Isnotú	2000 m	
		Mioceno	El Palmar	700 m	Areniscas Blancas a Amarillas de Grano
			Mucujún	605 m	Areniscas Limolíticas
		Oligoceno	Leon	320 m	Lutitas Vario coloreadas Verdes, Púrpura y
		Eoceno	Carbonera	220 m	Intercalaciones de Lutitas Carbonáceas Gris con Limolitas, Areniscas y Capas Delgadas
			Mirador	55 m	Areniscas Blancas a Amarillas, Intercaladas Capas Delgadas de Lutitas Moteadas
		Paleoceno	San Javier	800 m	Areniscas Lutitas
			Los Cuervos	200 m	Alternancia de Areniscas Carbonáceas con Lutitas y Limolitas
			Barco	180 m	Areniscas Blancas a Amarillas de Grano Fino,
MESOZOICO	CRETACICO	Maestrichtiense	Catatumbo	300 m	Capas delgadas de Areniscas Carbonáceas, Limolitas
		Santoniense	Mito Juan / Colón	800 m	Lutitas y Limolitas Gris Oscuro a Negro
		Campaniense	La Luna	Tres Esquinas	Areniscas Glauconiticas Localmente Calcáreas
				Chert / Tachira	Chert Gris Oscuro y Lutitas Silíceas
		Turoniense	Capacho	Guayacán	Calizas Nodulares Fosilíferas
				Seboruco	Lutitas Grises a Negras
		Cenomaniese		La Grita	Estratos Delgados de Calizas con concreciones negras
		Albiense	Aguardiente	350 m	Calizas Arenáseas Fosilíferas, Areniscas y Limolitas Duras, Localmente Glauconiticas de Colores Gris Claro a Amarillo. Algunas Lutitas
		Aptiense	Guámaros	Tibu	Lutitas Arenosas Gris Oscuros
			Apón		Calizas Nodulares Gris Azulosa
		Barremiense	Rio Negro	2400 m	Areniscas Blancas o Amarillas Localmente Rojas de Grano Grueso a Conglomerática, Estratos Calcáreos
	JURASICO		La Quinta	1610 m	Arenisca y Limolitas Rojas, con Algunas Capas Grises
PALEOZOICO	PERMICO	Medio	Palmarito	300 m	Lutitas Metamorfizadas Calizas Grises
	CARBONIFERO	Pensylvanniense	Sabaneta	500 m	Areniscas, Areniscas Conglomeráticas y
			Mucuchachí	1500 m	Rocas Volcánicas Piroclásticas Silíceas
			Tostos	350 m	Filitas Cuarzo Micáceas, Gneis,
PRECAMBRICO	PROTEROZOICO	Neo - Proterozoico	Asociación Sierra Nevada	400 m	Granito, Gneises Cuarzo Feldespático, anfibolitas, Esquistos, Rocas Máficas.

Figura 2. Columna estratigráfica de la región de Mérida. (Riveros, 2013)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

II.1.2. Geología Local

II.1.2.1. Asociación Tostós (Paleozoico superior)

Se designa como localidad tipo la sección expuesta en la parte baja del río Tostosa, al sur de la falla de Boconó, municipio Campo Elías, estado Mérida. La Asociación Tostós constituye una secuencia metasedimentaria de pizarras, filitas, esquistos, gneises de grano fino, rocas silíceas masivas y anfibolitas. Las rocas foliadas presentan una serie de características comunes, tales como: colores verdoso a gris claro, grano fino, fuertemente deformadas y muy silíceas; las rocas silíceas masivas son de grano fino a medio, color verdoso y con foliación incipiente. (González de Juana, et al.,1980).

En la zona de estudio esta unidad está constituida principalmente por esquistos de color gris verdoso que meteorizan a gris oscuro, Figura 3. Presenta minerales oscuros muy finos, con alto brillo y exfoliación lo que indica la presencia de un bajo metamorfismo. El talud se encuentra medianamente meteorizado y diaclasado.

www.bdigital.ula.ve

Figura 3. Talud TC – M1. Esquistos de color gris verdoso que meteorizan a gris oscuro. Coordenadas E 246.950; N 949.746.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

II.1.2.2. Formación Sabaneta (Paleozoico superior)

La Formación Sabaneta es una secuencia de areniscas gruesas a guijarrosas, de color gris a marrón, que pasan hacia arriba a una intercalación de limolitas y areniscas de color rojo a violeta. La localidad tipo de esta formación se encuentra ubicada en el Camino de Santa Bárbara de Barinas a Mucuchachí, en una desviación hacia el este que pasa por Palmarito y la Aguada, estado Mérida.

En las cercanías de Mérida, la formación es una brecha de peñones de 900 m de espesor, recubierta por una secuencia de areniscas y conglomerados, con secuencia de afinamientos hacia arriba; la brecha contiene abundantes bloques angulares de filitas de la asociación Mucuchachí. En algunas localidades, la unidad exhibe metamorfismo de bajo grado, con el desarrollo de pizarras en los intervalos de grano fino.

La unidad es discordante sobre rocas del Paleozoico inferior. El contacto superior se menciona como transicional con la Formación Palmarito; cerca de Mérida existe un contacto de falla con la Formación La Quinta del Jurásico. Con base a las determinaciones palinológicas y a su disposición por debajo de la Formación Palmarito la unidad es considerada de edad Carbonífero tardío – Pérmico temprano. (González de Juana, et al.,1980).

En la vía principal Mérida - Jají en el sector de PDVSA Gas Comunal, la litología expuesta está constituida por metaconglomerado de color gris violeta, con cristales de cuarzo en roca fresca. Se observa abundante meteorización con tonalidades de marrón a negro, Figura 4.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

www.bdigital.ula.ve

Figura 4. Talud TB – CE 01. Metaconglomerado de color gris violeta, con abundante meteorización con tonalidades de marrón a negro. Coordenadas E 255.940; N 948.410.

II.1.2.3. Formación La Quinta (Jurásico)

Es una unidad sedimentaria cuya localidad tipo se encuentra en el estado Táchira. Las mayores extensiones y afloramientos de la Formación La Quinta se encuentran en el declive suroeste de Los Andes de Mérida y Táchira y en algunos lugares del piedemonte de Barinas. La Formación La Quinta se compone de clásticos generalmente gruesos, limolitas y arcillas de colores rojos típicos. En la localidad se reconocen tres partes de la Formación La Quinta: La inferior de conglomerados de color rojo a veces de material tobáceo, interestratificado con areniscas arcillosas; la parte media predominantemente lutítico limosa y la parte superior de areniscas rojas con estratos cruzados. (González de Juana, et al.,1980).

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

En el área de estudio está definida estratigráficamente por areniscas conglomeráticas color ladrillo y conglomerado de color marrón rojizo en roca fresca, meteorizando a marrón oscuro. Los taludes se encuentran bien estratificados paralelamente, Figura 5 y Figura 6.

Figura 5. Talud TB – CE 11. Areniscas Conglomeraticas, con meteorización. Coordenadas E 253.223; N 949.240.

www.bolgrafia.ve

Figura 6. Talud TB – CE 12. Conglomerado de color marrón rojizo en roca fresca. Coordenada E 252.942; N 949.667.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

II.1.2.4. Formación Aguardiente (Cretácico: Albiense)

Según González de Juana et. al. (1980), corresponde a un intervalo sedimentario formado por areniscas, calizas y lutitas. En la Formación Aguardiente, abundan las areniscas bien estratificadas predominantemente cuarzosas y limpias; en los lugares de Táchira y Mérida son glauconíticas y están intercaladas con lutitas finamente arenosas negras o grises y lutitas más puras.

Esta unidad en la zona de estudio está representada litológicamente por una estratificación de areniscas cuarzosas muy compactas, Figura 7, donde predomina el cuarzo, y en menor proporción el feldespato y la mica, lo que le da una coloración clara de gris en roca fresca y un color de meteorización naranja. Presenta delgadas capas de lutitas, Figura 8, observándose muy meteorizada y blanda con una coloración de gris oscuro. Los taludes se encuentran meteorizados y fracturados.

Figura 7. Talud TB – CE 21. Areniscas cuarzosas muy compactas. Coordenadas E 251.849; N 949.480.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Figura 8. Talud TC – M2. Areniscas compactas y delgadas capas de lutitas. Coordenadas E 246.662; N 949.462.

II.1.2.5. Formación Capacho (Cretácico: Cenomaniense superior– Turoniense superior)

En la depresión de Táchira-Tarra, se presenta un intervalo de lutitas duras de color gris oscuro a negro, calizas duras de colores claros frecuentemente fosilíferas, y ocasionales limolitas, tiene su localidad tipo cerca de la población de Capacho, estado Táchira. Las calizas de la Formación Capacho emiten fuerte olor a petróleo en superficies frescas. Renz (1959) subdividió La Formación Capacho en tres miembros que dé más antigua a más joven denominó La Grita, Seboruco y Guayacán. (González de Juana, et al.,1980).

Los taludes en estudio están constituidos por calizas y lutitas. Las calizas se caracterizan por presentar un aspecto masivo en una zona y muy fracturado en otra zona, fosilíferas de color gris claro a gris oscuro, que meteorizan en tonalidades de beige a marrón, Figura 9. En cuanto a las lutitas, son de color negro, no calcáreas, las cuales se encuentran muy fracturadas y meteorizadas, Figura 10.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Figura 9. Talud TD – M1. Calizas masivas, fosilíferas de color gris claro a gris oscuro. Coordenadas E 244.695; N 948.474.

Figura 10. Talud TB – CE 22. Lutitas de color negro, no calcáreas, fracturadas y meteorizadas. Coordenadas E 251.996; N 949.372.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

II.1.2.6. Formación La Luna (Cretáceo: Cenomaniense – Campaniense)

La Formación La Luna constituye la unidad litológica más característica del Cretácico de Venezuela Occidental. Consiste típicamente en calizas laminadas densas de color gris oscuro a negro, carbonáceas a bituminosas con espesores de pocos centímetros y de arcillas, calcáreas, de color negro; con carácter notorio la formación presenta concreciones elipsoidales y discoidales de caliza negra oscura. (González de Juana, et al.,1980).

La sección expuesta en la zona de estudio se encuentra constituida litológicamente por calizas laminares de color gris oscuro a negro y color de meteorización marrón claro, con delgadas intercalaciones de lutitas negras. Se observa alteración y fracturas en algunas zonas de los taludes. Figura 11 y Figura 12.

Figura 11. Talud TB – CE 23. Calizas de color gris oscuro a negro, fracturadas. Coordenadas E 252.039; N 949.340.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Figura 12. Talud TD – M2. Calizas laminares con intercalaciones de lutitas. Coordenadas E 244.456; N 948.493.

www.bdigital.ula.ve

II.2. MARCO TEÓRICO

II.2.1. Las rocas

Las rocas son agregados naturales duros y compactos de partículas minerales con fuertes uniones cohesivas permanentes que habitualmente se consideran un sistema continuo. La proporción de diferentes minerales, la estructura granular, la textura y el origen de la roca sirven para su clasificación geológica. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

II.2.2. Mecánica de rocas

La mecánica de rocas se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

La mecánica de rocas guarda una estrecha relación con otras disciplinas como la geología estructural, para el estudio de los procesos y estructuras

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

tectónicas que afectan a las rocas, y la mecánica de suelos, para abordar el estudio de rocas alteradas y meteorizadas en superficie. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

II.2.3. Macizo rocoso

Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. Prácticamente puede considerarse que presentan una resistencia a la tracción nula. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

II.2.4. Matriz rocosa

Es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de roca intacta que quedan entre ellas. La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su fábrica y a su microestructura mineral. Mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad. Para la caracterización de la matriz rocosa debe describirse en campo la identificación, meteorización o alteración y resistencia de la matriz rocosa. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

www.bdigital.ula.ve

II.2.5. Discontinuidades

El término discontinuidad se utiliza para describir las diversas superficies a lo largo de las cuales, la consistencia de la roca intacta se interrumpe. Si en la roca sana o meteorizada aparecen discontinuidades o planos de debilidad, estos pueden definir el mecanismo de falla del talud. (Suárez D, 1998)

II.2.5.1. Influencia en el comportamiento del macizo rocoso

Las superficies o planos de discontinuidad de los macizos rocosos condicionan de una forma definitiva sus propiedades y comportamiento en términos de resistencia, deformación y comportamiento hidráulico. Las

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

discontinuidades imprimen un carácter discontinuo y anisótropo a los macizos haciéndolos más deformables y débiles, lo que supone una gran dificultad a la hora de evaluar su comportamiento mecánico frente a obras de ingeniería. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

La presencia de diversas familias de discontinuidades con diferente orientación define el grado de fracturación del macizo rocoso, la forma y el tamaño de los bloques de matriz rocosa.

La resistencia al corte de las discontinuidades es el aspecto más importante en la determinación de la resistencia de los macizos rocosos duros fracturados, y para su estimación es necesario describir las características físicas y geométricas de los planos, ya que no siempre es posible determinarla adecuadamente en ensayos de laboratorio o de campo. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

II.2.5.2. Tipos de discontinuidades

www.bdigital.ula.ve

En la Tabla 1 están agrupados los diferentes tipos de discontinuidades dividiéndolas en sistemáticas, cuando aparecen en familias y singulares, cuando aparecen en un único plano que atraviesa el macizo rocoso; estos últimos suelen ser más continuos y persistentes que las discontinuidades sistemáticas. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

Las diaclasas o juntas son los planos de discontinuidad más frecuentes en los macizos rocosos, y corresponden a superficies de fracturación o rotura de la roca a favor de las cuales no ha habido desplazamiento o ha sido muy pequeño. Afectan a cualquier tipo de roca. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 1. Tipos de discontinuidades.
(González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

Discontinuidades	Sistemáticas	Singulares
Planares	-Planos de estratificación. -Planos de laminación. -Diaclasas o juntas. -Planos de esquistosidad.	-Fallas. -Diques. -Discordancias.
Lineales	-Intersección de discontinuidades. -Lineaciones.	-Ejes de pliegues

II.2.5.3. Características de las discontinuidades

Las discontinuidades pueden ocurrir de forma errática o en forma repetitiva como grupos de discontinuidades. Este sistema de discontinuidades usualmente, se le conoce como fábrica estructural de la masa de roca y puede consistir de orientación de granos, estratificación, juntas, foliaciones y otras. En la mayoría de los casos las propiedades ingenieriles de la roca fracturada, tales como resistencia, permeabilidad y deformabilidad, dependen más de la naturaleza de la fábrica estructural, que de las propiedades de la roca intacta. Se requiere para realizar el análisis, el conocer las siguientes propiedades de la fábrica estructural: orientación, persistencia o continuidad, espaciamiento, propiedades de la superficie de discontinuidad y relleno. (Suárez D, 1998)

II.2.6. Descripción de los parámetros del macizo rocoso

Para la caracterización global del macizo rocoso a partir de los datos de afloramientos, además de la descripción de sus componentes, la matriz rocosa y las discontinuidades, deben ser consideradas otros factores representativos de conjunto como lo son, número y orientación de las familias de discontinuidades, tamaño de bloque e intensidad de fracturación y grado de meteorización.

www.bdigital.ula.ve
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

II.2.7. Taludes en roca

La estructura que presentan las rocas es complicada, ya que bajo la apariencia sólida y homogénea de los taludes en roca se esconden anisotropías originadas por grietas, planos de fractura o estratificación, diaclasas y plegamientos que hacen que su comportamiento mecánico no sea el esperado a primera vista. (Bañón B & Beviá G, 2000)

II.2.7.1. Mecanismo de rotura

Los diferentes tipos de rotura en taludes de roca están condicionados por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud. Los modelos de rotura más frecuentes son: rotura plana, en cuña y por vuelco. La Figura 13 muestra la representación estereográfica de las condiciones estructurales de ellos. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

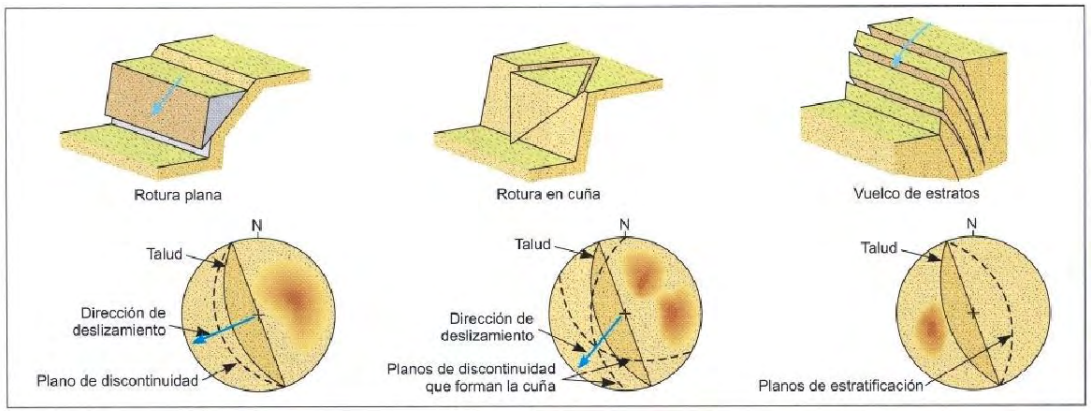


Figura 13. Representación estereográfica de los planos de discontinuidad con respecto a la orientación del talud para algunos tipos de roturas en macizos rocosos. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

II.2.7.1.1. Rotura plana

Se produce a favor de una superficie preexistente (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

Las condiciones geométricas para la ocurrencia de una rotura plana son las siguientes (Ver Figura 13):

1. $\beta > \alpha > \phi$

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Donde β: ángulo que forma el plano de falla con la horizontal (buzamiento de la discontinuidad), α: inclinación de la cara del talud con la horizontal, ϕ: ángulo de fricción interna del macizo rocoso en la superficie de deslizamiento.

2. El plano de falla debe tener un rumbo aproximadamente paralelo (±20°) con relación al plano del talud.

II.2.7.1.2. Rotura en cuña

Corresponde al deslizamiento de un bloque en forma de cuña, formado por dos planos de discontinuidad, a favor de su línea de intersección. Para que se produzca este tipo de rotura los dos planos deben aflorar en la superficie del talud, y se debe cumplir que el buzamiento del talud sea mayor al buzamiento de la línea de intersección; por lo tanto para determinar si la cuña es estable o inestable se debe realizar la comparación de los ángulos de inclinación del talud, de la línea de intersección de los planos de cuña y de la fricción de los planos. (Ver Figura 13). (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

www.bdigital.ula.ve

II.2.7.1.3. Rotura en vuelco

En este último caso el buzamiento de los planos de fracturación es contrario al del propio talud, lo que provoca una división del macizo rocoso en bloques independientes que van cayendo por acción de la gravedad. (Ver Figura 13). (Bañón B & Beviá G, 2000)

Las condiciones que se deben cumplir son las siguientes:

1. $\beta > \phi + (90 - \alpha)$

2. El plano de falla debe tener rumbo aproximadamente paralelo en relación al plano del talud, de más o menos 20°.

II.2.8. Obtención de los parámetros resistentes del macizo *C* y *Φ*

La determinación de los valores de cohesión y fricción del macizo rocoso a partir de las expresiones del criterio de Hoek y Brown no es inmediata; la principal dificultad estriba en que, al ser un criterio no son constantes, sino

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

que son función del valor del esfuerzo σ_n. Los autores proponen un método para la evaluación de *C* y *Φ* mediante la aplicación de las ecuaciones del criterio y la simulación de pares de valores $\sigma_1 - \sigma_3$. La ecuación lineal del criterio de Morh-Coulomb es entonces ajustada a la curva de Hoek y Brown, para un valor determinado σ_n, lo que permite calcular los valores de *C* y *Φ* correspondientes a ese nivel de σ_n. En determinados casos el criterio puede ser empleado para macizos rocosos resistentes en los que la rotura se produzca a favor de la superficie de discontinuidad, teniendo en cuenta que deben adoptarse valores para la cohesión y para el ángulo de rozamiento representativos del macizo rocoso. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

Bieniawski (1979) propone unos valores orientativos para ambos parámetros, en función de la calidad del macizo rocoso dada por el índice RMR. (Tabla 2)

www.bdigital.ula.ve

Tabla 2. Valores aproximados para *C* y *Φ* del macizo rocoso según su calidad. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

Clase de roca	I	II	III	IV	V
RMR	> 80	61 - 80	41 - 60	21 - 40	<20
Cohesión (MPa)	> 0,4	0,3 – 0,4	0,2 – 0,3	0,1 – 0,2	< 0,1
Ángulo de fricción	> 45º	35º - 45º	25º - 35º	15º - 25º	< 15º

II.2.9. Factor de seguridad

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. (Suárez D, 2009). Para las diferentes roturas se tiene ecuaciones propuestas por (Úcar, 2002)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

II.2.9.1. Factor de seguridad para rotura plana

Cuando la rotura es plana es definida a partir del factor de seguridad como:

$$FS = \frac{\frac{CH}{sen\alpha} + [R\ cos(\alpha + \varepsilon) - U]tan\phi}{R\ sen\ (\alpha + \varepsilon)}$$

(1).

La inclinación que forma la resultante con la vertical se define por la siguiente ecuación:

$$tan\varepsilon = \frac{k_h}{(1 + k_v)}$$

(2).

Las fuerzas resultantes actuantes en la rotura plana vienen dadas por:

$$R = W_t\sqrt{k_h^2 + (1 + k_v)^2} = W_t K$$

(3).

www.bdigital.ula.ve

Donde C: cohesión, H: altura del talud, α: inclinación del plano de rotura, ϕ: ángulo de fricción, R: resultante de las fuerzas actuantes, Wt: peso de la cuña, kh: fuerza sísmica horizontal, kv: fuerza sísmica vertical, U: fuerza total debida al agua actuando sobre el plano de discontinuidad y ε: es la inclinación que forma la resultante (R) con la vertical. (Úcar, 2004)

II.2.9.2. Factor de seguridad para rotura en cuña

En el caso de tener rotura en cuña el coeficiente de seguridad se obtiene a partir de la ecuación 4:

$$FS = \frac{(cos\ \theta_2 tan\ \phi_1) + (cos\ \theta_1 tan\ \phi_2)}{tan(\alpha_s + \varepsilon) sen\ (\theta_1 + \theta_2)}$$

(4).

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Para obtener el ángulo normal a las discontinuidades se emplean las siguientes relaciones trigonométricas:

$$sen\ \theta_1 = sen\ \alpha_1 sen\ \alpha_s cos\ (\Psi_s - \Psi_1) + cos\ \alpha_1 cos\ \alpha_s$$

$$sen\ \theta_2 = sen\ \alpha_2 sen\ \alpha_s cos\ (\Psi_s - \Psi_2) + cos\ \alpha_2 cos\ \alpha_s$$

$$cos\ \theta_{ab} = sen\ \alpha_1 sen\ \alpha_2 cos\ (\Psi_2 - \Psi_1) + cos\ \alpha_1 cos\ \alpha_2$$

(5).

Para determinar la dirección y el ángulo de buzamiento de la intersección se utilizan las ecuaciones 6 y 7 respectivamente:

$$tan\ \Psi_s = \frac{\tan \alpha_1\ cos\ \Psi_1 - \tan \alpha_2\ cos\ \Psi_2}{\tan \alpha_2\ sen\ \Psi_2 - \tan \alpha_1\ sen\ \Psi_1}$$

(6).

$$tan\ \alpha_s = [\tan \alpha_2\ cos(\Psi_2 - \Psi_s)]$$

(7).

www.bdigital.ula.ve

Donde Ψ_1 : dirección de buzamiento de la discontinuidad 1, α_1 : buzamiento de la discontinuidad 1, Ψ_2 : dirección de buzamiento de la discontinuidad 2, α_2 : buzamiento de la discontinuidad 2, $\theta_1\ y\ \theta_2$ son los ángulos que forman los planos de deslizamiento y las normales, Ψ_s : dirección de la línea de intersección de los planos de deslizamiento, α_s: es el ángulo que forma la línea de intercepción de los planos de discontinuidad con la horizontal. (Úcar, 2002)

Una vez obtenido el valor de seguridad se tiene la estabilidad del macizo y su condición. Ver Tabla 3. Valores del Factor de seguridad asociado a las condiciones de estabilidad de laderas.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 3. Valores del Factor de seguridad asociado a las condiciones de estabilidad de laderas.
(Belandria, Ucar, & Bongiorno, 2011)

Estabilidad	Factor de seguridad	Condición
Estable	Valores mayores a 1,5	Cinemática aparentemente inactiva.
Ligeramente estable	1,5 > FS ≥ 1,2	Poca a nula densidad e incidencia de procesos de remoción en masa, asociada a la cinemática de planos estructurales.
Inestable	1,2 > FS ≥ 1	Media densidad e incidencia de procesos de remoción en masa, asociada a la cinemática de planos estructurales.
Muy inestable	FS < 1	Alta densidad e incidencia de procesos de remoción en masa, asociada a la cinemática de planos estructurales.

www.bdigital.ula.ve

II.2.10. Herramienta de análisis (programa de estudio)

II.2.10.1. Dips

Dips es un programa producto de Rocscience Inc, diseñado para el estudio de las características relacionadas con el análisis de ingeniería de estructuras de rocas.

Es muy sencillo de usar, permite al usuario analizar y visualizar datos estructurales siguiendo las mismas técnicas usadas en la elaboración de estereogramas manuales. Además, tiene muchas características computacionales, tales como el contorno estadístico de orientación agrupación, la orientación y el cálculo de la confianza, la variabilidad del

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

clúster, y el análisis de atributos de entidad cualitativa y cuantitativa. (Rocscience, 2014)

II.2.10.2. Slide

Slide es un programa producto de Rocscience Inc., de estabilidad de taludes 2D para la evaluación del factor de seguridad de roturas tanto para superficies circulares como no circulares en taludes de suelo y roca. Es muy simple de usar, aun en modelos complejos se puede crear y analizar rápida y fácilmente; cargas externas, agua subterránea y soportes pueden ser modelados en una variedad de formas.

Slide analiza la estabilidad de la superficie de deslizamiento usando métodos de equilibrio límite por medio de rebanadas verticales. Superficies de deslizamiento pueden ser analizadas individualmente o métodos de búsqueda pueden ser aplicados para localizar la superficie crítica de deslizamiento que da el talud. (Rocscience, 2014)

www.bdigital.ula.ve

II.2.10.3. Swedge

Swedge es una herramienta de análisis rápido, interactivo y fácil de usar para la evaluación de la geometría y la estabilidad de las cuñas en pendientes rocosas. Las cuñas se definen por dos planos de discontinuidad, la superficie de la pendiente y una grieta de tensión opcional. Swedge proporciona un entorno gráfico integrado para fácil entrada de datos rápida y la visualización de modelos 3D. Siendo un programa producto de Rocscience Inc.

Ofrece una amplia gama de opciones de análisis incluyendo determinista, probabilístico, combinaciones, sensibilidad y análisis de persistencia. Para un análisis determinista, Swedge calcula el factor de seguridad para una cuña específica, adicionalmente ofrece una integración mejorada con el programa Dips. Un archivo Dips puede ser importado a Swedge y ser analizado con la opción de análisis de combinación. (Rocscience, 2014)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

II.2.11. Peligrosidad potencial de desprendimiento de rocas

Las vías de comunicación se ven afectadas por la peligrosidad asociada a la orografía y geología del territorio por la que transcurre, la exposición a riesgos es alta en vías locales que dan accesibilidad a poblaciones. La presencia de bloques inestables en la coronación de los taludes o zonas altas de la ladera hace obvio el peligro, sin embargo lo que suele ser más peligroso es la ocurrencia de desprendimientos en taludes o laderas cuya cara aparentemente está sana, esto suele ocurrir cuando las fuerzas que actúan en los planos de discontinuidad o redes de diaclasas, aíslan un bloque de sus vecinos, ocasionando desprendimientos de bloques de tamaños significativos y en casos extremos pérdidas de estabilidad de grandes superficies. (Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

II.2.11.1. Criterios y métodos de evaluación de peligrosidad

La identificación de los peligros potenciales se realiza de forma práctica realizando una inspección visual, salvo en las zonas densamente pobladas en países muy desarrollados donde se realiza un análisis detallado de los peligros de desprendimiento.

www.bdigital.ula.ve

Los métodos de inspección visual, tienen como objetivo principal identificar los taludes o laderas de riesgo particular para posteriormente definir los trabajos que se requieren realizar con mayor urgencia para corregir o minimizar de forma eficiente estos peligros potenciales. El método utilizado constituye una sistematización del método RHRS (Rockfall Hazard Rating System), que tras el estudio de varias propuestas cuyo valor es efectivo a nivel internacional, propone emplear un sistema de evaluación de riesgos que establece categorías en función de los valores que se le asignen a cada uno de los parámetros a inventariar. (Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010). Para cada parámetro se tiene una tabla estándar propuesta por el método, indicando en ellas, un color amarillo cuando el valor es favorable y un color rojo cuando el caso es más desfavorable.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

II.2.11.1.1. Altura de talud

Se refiere a la diferencia de cotas entre el pie del talud y el lugar donde se encuentra el bloque inestable. Esta altura puede medirse por diversos métodos, el trigonométrico o el método topográfico (intersección de ángulos verticales) el cual es el idóneo. Los puntos deben ser asignados de la siguiente forma (Ver Tabla 4):

Tabla 4. Evaluación de la altura del talud.
(Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Puntos	Altura de Talud (m)
5	7,5
10	15
30	25
80	30

www.bdigital.ula.ve

II.2.11.1.2. Efectividad de la cuneta de intersección

Es medida por su capacidad de impedir que la roca llegue a la calzada. Es necesario tener en cuenta factores como:

- Altura o inclinación del talud.
- Ancho, profundidad y forma de la cuneta.
- Dimensiones y cantidad de los bloques esperados.
- Efecto de las irregularidades de la superficie del talud.

Este último es muy importante pues puede ocasionar que algunos bloques reboten y caigan de forma directa en la superficie de la calzada. Los puntos deben ser asignados de la siguiente forma (Ver Tabla 5):

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 5. Evaluación de la efectividad de la cuneta.
(Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Puntos	Efectividad de la cuneta	Observaciones
5	Buena	Todos los bloques que caen son retenidos por la cuneta.
10	Moderada	Los desprendimientos llegan a la calzada ocasionalmente.
30	Limitada	Los desprendimientos alcanzan la calzada con frecuencia.
80	No	Inexistente o totalmente inefectiva, todas o casi todas las rocas llegan a la calzada.

II.2.11.1.3. Riesgo medio por vehículo

www.bdigital.ula.ve

Esta condición mide el porciento del tiempo que el vehículo permanece en la zona de riesgo de caída de rocas, se obtiene empleando la siguiente expresión:

$$RMV = \frac{IMD\left(\frac{veh}{día}\right) * longitud\ de\ recorrido(km) * 100\%}{Límite\ de\ velocidad\ establecido\ \left(\frac{km}{h}\right) * \left(\frac{24h}{día}\right)}$$

(8).

Dónde: IMD= Intensidad media diaria

El valor de este riesgo en porcentaje se puede obtener a partir de la siguiente tabla (Ver Tabla 6):

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 6. Evaluación del riesgo medio por vehículo. (Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Puntos	Riesgo medio por vehículo (%)
5	25
10	50
30	75
80	100

Si el valor de este riesgo medio es superior al 100% significa que hay más de un vehículo en la sección de análisis.

II.2.11.1.4. Distancia de visibilidad

La distancia de visibilidad se usa para determinar la longitud de la carretera, en metros, que el conductor tiene que tener para tomar una decisión instantánea o compleja. La distancia de visibilidad es crítica cuando los obstáculos en el camino son difíciles de percibir, o cuando maniobras inusuales o inesperadas son requeridas. La distancia de visibilidad es la distancia más corta a lo largo de la carretera en la que un objeto de una altura específica es visible para el conductor.

www.bdigital.ula.ve

Se debe recorrer el tramo en ambos sentidos y decidir en cuál de las dos direcciones hay menor visibilidad. Debe evaluarse tanto la visibilidad horizontal como la vertical. Se puede determinar directamente en campo al medir, en sentido opuesto al flujo del tráfico, la distancia a la cual un objeto colocado en la posición posible de caída de bloques, deja de ser visible. Normalmente un objeto va a estar más oculto cuando está localizado justo más allá de la parte más aguda de la curva; por otra parte, también se puede determinar a partir de las distancias que aparecen en la siguiente tabla (Tabla 7.), que representan los valores de distancia mínimos de diseño según la limitación de velocidad. (Fonseca R. R., 2010)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 7. Valores mínimos de diseño para la limitación de velocidad asociada. (Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Limitación de la velocidad (km/h)	Distancia de visibilidad (m)
50	140
60	170
70	200
80	230
90	275
100	315
120	350

Estos dos valores se pueden sustituir en la siguiente expresión para calcular el porciento de distancia de visibilidad.

$$\%Visibilidad = \frac{Distancia\ de\ visibilidad\ (m)}{Longitud\ del\ tramo\ (m)} * 100\% \quad \textbf{(9).}$$

www.bdigital.ula.ve

Sea cual sea el método utilizado, la valoración se asigna a partir de la Tabla 8.

Tabla 8. Evaluación de la distancia de visibilidad. (Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Puntos	%Visibilidad	Observaciones
5	100	Adecuada
10	80	Moderada
30	60	Limitada
80	40	Muy limitada

II.2.11.1.5. Ancho de la calzada

Es la distancia perpendicular al eje de la calzada, de borde a borde de la misma. Representa el espacio disponible para hacer una maniobra para evitar chocar con una roca que se desprende. Se realiza tomando en cuenta la Tabla 9:

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 9. Evaluación del ancho de la calzada.
(Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Puntos	Ancho calzada (m)
5	14
10	11
30	9
80	6

II.2.11.1.6. Características geológicas

Se pueden establecer dos casos fundamentales, uno en taludes donde las juntas, planos de deslizamiento, discontinuidades o diaclasas dominan la estructura y otro cuando la erosión diferencial o la meteorización es la condición dominante que origina la inestabilidad y el desprendimiento. En el caso que ambas condiciones estén presentes se evaluarán ambas y se tomará como parámetro el peor de los resultados.

- **Caso 1**

www.bdigital.ula.ve

Condición estructural: se debe tener en cuenta elementos como, ángulo de fricción de la roca, existencia de material de relleno en la juntas, presión hidrostática o presencia de agua, planos de buzamiento y orientación de la red de diaclasas que favorecen la formación de cuñas, fracturas planas, circulares, bloques o cuñas que tienden a desprenderse. Los puntos deben ser fijados tomando en cuenta la Tabla 10.

Fricción o rozamiento: define la posibilidad potencial del movimiento relativo de un bloque respecto a otro. A lo largo de las discontinuidades la fricción está definida por la macro y micro rugosidad de la superficie. La macro rugosidad está asociada a la ondulación de las juntas, en cambio la micro rugosidad es la textura de la superficie de la junta. (Ver Tabla 11). (Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 10. Evaluación de la condición estructural para el caso uno.
(Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Puntos	Condición estructural	Observaciones
5	Diaclasas discontinuas, orientación favorable.	Roca fracturada con planos de estratificación de orientación favorable.
10	Diaclasas discontinuas, orientación aleatoria.	Taludes en roca con red de diaclasas orientadas de forma aleatoria, no dominan familias de diaclasas.
30	Diaclasas discontinuas, orientación desfavorable.	Taludes que exhiben tendencia a la regularización de la red de diaclasas, planos de deslizamiento u otras discontinuidades con dirección desfavorable, grietas menores de 3m de largo.
80	Diaclasas continuas, orientación desfavorable.	Taludes con una dominante familia de diaclasas, planos de deslizamiento u otras discontinuidades con dirección desfavorable, grietas mayores de 3m de largo.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 11. Evaluación de la fricción y rugosidad para el caso uno.
(Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Puntos	Fricción o rugosidad	Observaciones
5	Rugosa, Irregular	Unión áspera entre la superficie de roca, planos bastante irregulares, condición de fricción óptima.
10	Ondulada	Unión también áspera pero sin capacidad de entrelazamiento.
30	Planar	Macro superficies completamente lisas, micro superficie áspera que aporta la fricción, no hay ondulaciones.
80	Juntas rellenas de arcilla o con paredes pulidas	No hay contacto entre las superficies de la roca. Materiales de relleno en las juntas arcilloso y fino tienen mucho menor ángulo de fricción que una roca, por tanto anulan la macro y micro rugosidad.

- **Caso 2**

Condición estructural: se emplea para evaluar taludes donde la erosión diferencial o la meteorización es la condición dominante que controlan el desprendimiento. Las laderas que comúnmente sufren este tipo de fenómeno son los taludes con alternancias de estratos de roca potente, con suelos o rocas muy alterables que se meteorizan con mayor facilidad. (Ver Tabla 12)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 12. Evaluación de la condición estructural para el caso dos. (Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Puntos	Condición estructural	Observaciones
5	Poca erosión	Rasgos menores de erosión diferencial en partes muy aisladas de la superficie del talud.
10	Erosión ocasional	Rasgos menores de erosión diferencial en varias partes de la superficie del talud.
30	Mucha erosión	Grandes y numerosos rasgos de erosión diferencial en toda la superficie del talud.
80	Erosión severa	Evidentes deslizamientos y desprendimientos, o voladizos ocasionados por la erosión generalizada.

www.bdigital.ula.ve

Diferencia de los grados de erosión: está relacionado directamente con la capacidad potencial de ocurrencia de un evento de caída de rocas. El grado de riesgo causado por la erosión y los valores dados a esta categoría deben reflejar cuán rápido ocurre el proceso de erosión, las dimensiones de la roca o bloques expuestos a la erosión, la frecuencia de ocurrencia de los eventos y la cantidad de material que se suele desprender. (Ver Tabla 13). (Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 13. Evaluación del grado de erosión para el caso dos.
(Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Puntos	Diferencia de los grados de la erosión	Observaciones
5	Pequeña diferencia	Las muestras de erosión se desarrollan a lo largo de muchos años. Se les da esta categoría a taludes en equilibrio ambiental.
10	Diferencia moderada	Las muestras de erosión se desarrollan a lo largo de pocos años.
30	Amplia diferencia	Las muestras de erosión se desarrollan anualmente.
80	Caso extremo	Las muestras de erosión se desarrollan rápidamente (meses)

www.bdigital.ula.ve

II.2.11.1.7. Tamaño de bloque o volumen de material desprendido

Esta medida debe ser representativa de cualquier tipo de desprendimiento que ocurra, si los bloques aislados son los elementos típicos del desprendimiento, el tamaño del bloque debe ser el dato a considerar; si lo que caracteriza el desprendimiento es la cantidad de rocas de varios tamaños, debe considerarse este volumen como elemento más importante. Estos valores se pueden extrapolar cuando se cuenta con valores de registros históricos del lugar o se puede estimar cuando esta información no existe. La puntuación se asigna a partir de la siguiente tabla (Tabla 14):

Tabla 14. Evaluación del tamaño del bloque o volumen del material desprendido.
(Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Puntos	Tamaño del bloque (m)	Volumen de material (m^3)
5	0,3	2,3
10	0,6	4,5
30	1,0	7,0
80	1,2	9,0

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

II.2.11.1.8. Condiciones climáticas y presencia de agua

Es necesario considerar si hay flujos continuos o intermitentes de agua, las zonas que reciben menos de 500 mm anuales son consideradas de precipitación baja, mientras que las áreas en las que caen más de 1.250 mm anuales se consideran áreas de alta precipitación. Los ciclos de congelación/deshielo contribuyen al desgaste y al movimiento de los materiales rocosos. El puntaje se da a partir de la siguiente tabla (Tabla 15):

Tabla 15. Evaluación del clima y presencia de agua en el talud.
(Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Puntos	Influencia del clima y agua en el talud
5	Precipitación de baja a moderada, sin períodos de congelación, sin presencia de agua.
10	Precipitación moderada o cortos períodos de congelación o presencia de agua intermitente en el talud.
30	Precipitación alta o largos períodos de congelación o presencia de agua de forma continua en el talud.
80	Precipitación alta y largos períodos de congelación o presencia de agua de forma continua en el talud y largos períodos de congelación.

II.2.11.1.9. Historia de los desprendimientos

Representa el conocimiento de lo ocurrido en el lugar a lo largo del tiempo y es para poder estimar el potencial de desprendimientos en el futuro. En la medida con que se cuente con una base de datos completa sobre los acontecimientos, las conclusiones podrán ser más precisas. Se toma la puntuación a partir de la Tabla 16:

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 16. Evaluación de la historia de los desprendimientos.
(Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Puntos	Desprendimientos	Observaciones
5	Pocos	Han ocurrido varias veces según la información histórica, pero no es un problema persistente. Una o dos veces al año, durante tormentas severas. Se asigna si no tiene datos.
10	Ocasionales	Ocurren con regularidad, varias veces por año y durante la mayor parte de las tormentas.
30	Muchos	Ocurren con regularidad durante una cierta estación, como invierno, época de lluvias o heladas. Esta categoría se da cuando en el resto del año no hay afectaciones significativas, se puede emplear para emplazamientos donde han ocurrido desprendimientos importantes.
80	Constante	Desprendimientos muy frecuentes en todo momento del año, se emplea esta categoría en sitios con eventos importantes comunes.

II.2.11.2. Análisis de la peligrosidad de desprendimientos en carreteras

En este apartado sus consecuencias, tanto pérdidas materiales como humanas, no ha tenido nunca una cobertura muy extensa en la literatura geotécnica. En general, los reportes solo hacen alusión a la probabilidad de que ocurra el fenómeno y los daños que este puede conllevar.

Es por esto, que el método RHRS (Rockfall Harzard Rating System) modificado consiste en aplicarle un peso adicional (Ver Tabla 17) a algunos factores que resultan de mayor influencia y que permiten a partir de un proceso análogo de recogida de datos, definir niveles de peligrosidad y

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

establecer prioridades de actuación para los tramos en concreto y subtramos en particular. (Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Tabla 17. Peso adicional para factores de mayor importancia.
(Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Parámetro	Peso
Altura del talud (AT)	2
Efectividad de la cuneta de intercepción (EC)	1
Riesgo medio por vehículo (RV)	1
Distancia de visibilidad (DV)	2
Ancho de la calzada (AC)	1
Características geológicas (CG)	3
Tamaño del bloque o volumen de material desprendido (TB)	2
Condiciones climáticas y presencia de agua (CC)	2
Historia de los desprendimientos (HD)	1

www.bdigital.ula.ve

A partir de los valores de los pesos presentados en la tabla 4, se define el índice del nivel de riesgo:

$$Índice(\%) = \frac{2(AT) + EC + RV + 2(DV) + AC + 3(CG) + 2(TB) + 2(CC) + HD}{15}$$

(10).

El valor propuesto para definir el tramo o sección de análisis es el valor medio pesado de todos los parámetros anteriores, como muestra la Tabla 18:

Tabla 18. Riesgo de desprendimiento en carreteras.
(Fonseca, Raïmat, & Caba, 2010)

Nivel	Índice (%)	Peligrosidad	Prioridad de actuación
1	<35	Poco peligrosa	Muy baja
2	35 – 60	Peligrosa	Alta
3	>60	Muy peligrosa	Acción urgente

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

II.2.12. Métodos de estabilización

Los métodos de estabilización de taludes generalmente, están dirigidos a reducir las fuerzas actuantes, a incrementar las fuerzas resistentes o una combinación de los dos efectos. Es común que existan varios factores que determinen las fuerzas actuantes y resistentes y se requieran varios métodos de estabilización para lograr un efecto combinado. La estabilización de un macizo rocoso tiene por objeto reducir la posibilidad del movimiento de los bloques o masa de roca. La estabilización también ayuda a disminuir los procesos de deterioro del macizo, el cual puede conducir a la inestabilidad. La estabilización de los macizos rocosos puede lograrse mediante refuerzo del macizo utilizando elementos estructurales, conformación de la superficie del talud o construyendo obras de drenaje y/o subdrenaje. (Suárez D, 2009)

Entre los métodos de estabilización se tienen:

Gunitado: consiste en cubrir con gunita (mortero de cemento, agua y árido de hasta 8 mm) la superficie del talud, proyectando la mezcla neumáticamente a través de una manguera y una boquilla, cuando se mezcla áridos de tamaño superior se denomina Hormigón proyectado. Normalmente se proyectan varias capas sobre el talud, con un espesor total de 5 a 8 cm. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

Anclajes: son elementos formados por cables o barras de acero que se anclan en zonas estables del macizo, trabajan a tracción y proporcionan una fuerza contraria al movimiento y un incremento de las tensiones normales sobre la superficie de rotura. En función de la forma de trabajo, se clasifican en pasivos (el anclaje comienza a trabajar al producirse el movimiento del bloque o del terreno), activos (el anclaje se tensa tras su instalación hasta su carga admisible) y mixtos (el anclaje se tensa con una carga inferior a la admisible). (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

Mallas de guiado: están formadas por alambre de acero, se tienden desde la cabecera de la ladera, cubriendo toda la superficie hasta el pie. Sirven

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

para guiar a los bloques rocosos en su caída, evitando que reboten y salten hacia afuera, y acumularlos en la base, donde pueden ser retirados.

Saneos y purgas manuales de materiales inestables: en lugares inaccesibles para la maquinaria, la eliminación de bloques inestables sólo puede hacerse de forma manual, mediante personal especializado que mediante técnicas de escalada accede hasta los puntos de actuación y con herramientas manuales procede al derribo de los bloques.

Instalación de cables y mallas para estabilizar zonas del talud que se encuentran muy fracturadas; consiste en la colocación de una malla metálica, preferentemente de doble o triple torsión, a la que se superpone una serie de cables formando una retícula, anclados en la roca en sus extremos y tensionados.

II.2.13. Mapas geotécnicos

Los mapas geotécnicos constituyen un método en ingeniería geológica para presentar cartográficamente información geológica - geotécnica con fines de planificación y uso de territorio y para el proyecto de construcción y mantenimiento de obras de ingeniería. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

www.bdigital.ula.ve

II.2.13.1. Contenido de los mapas geotécnicos

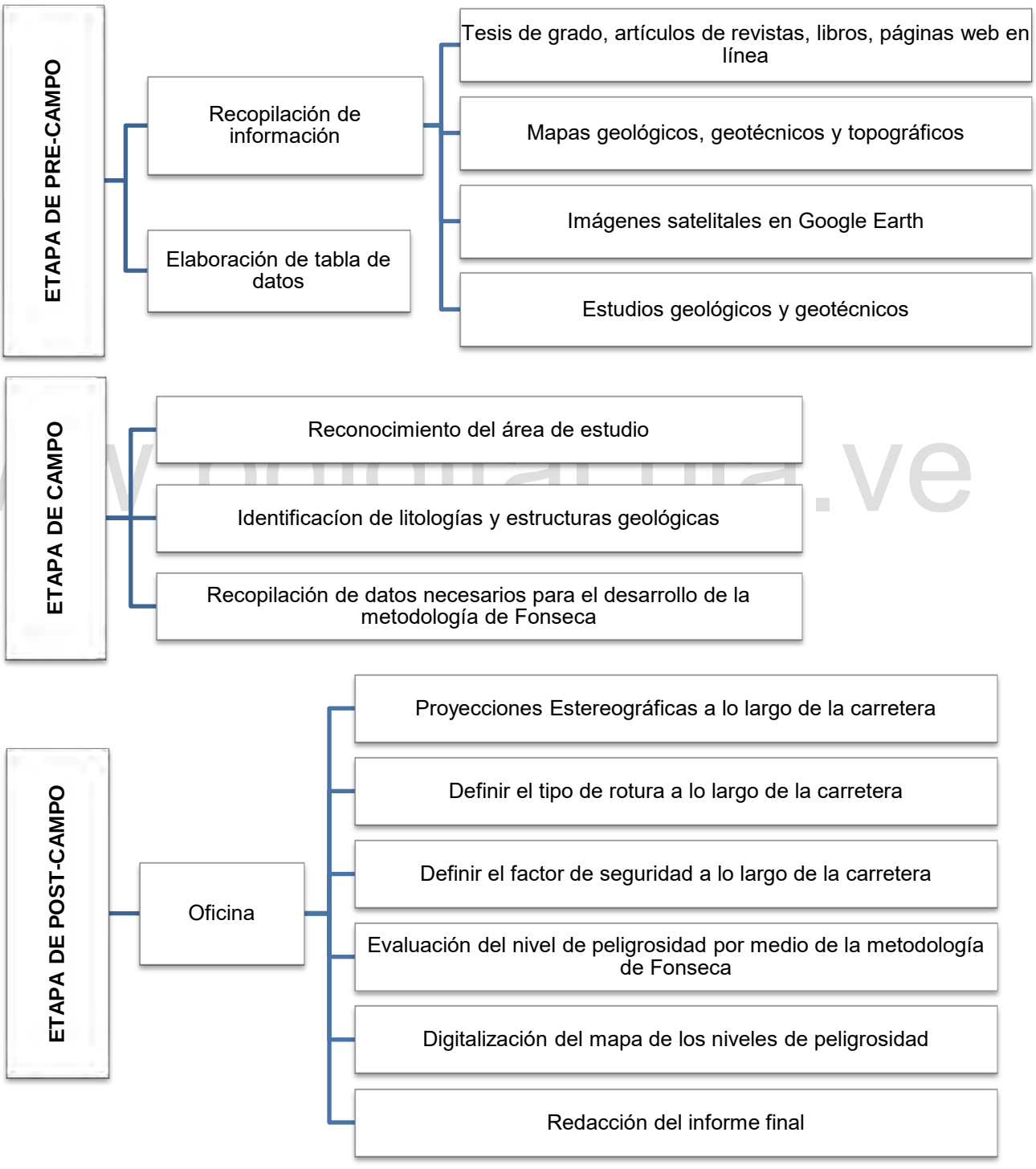
Estos tipos de mapas geotécnicos nos aportan datos cuantitativos de las propiedades físicas y mecánicas, estos deben considerar la topografía y toponimia, distribución y descripción litológica de las unidades geológicas, espesor de formaciones superficiales y rocas alteradas, discontinuidades y datos estructurales, clasificación geotécnica de rocas y/o suelo, propiedades de las rocas y/o suelo, condiciones hidrogeológicas, condiciones geomorfológicas, procesos dinámicos, riesgo geológico. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

III.1. ESQUEMA METODOLÓGICO



Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

III.2. METODOLOGÍA

III.2.1. Etapa de pre-campo

III.2.1.1. Recopilación de información

Se inicia con la búsqueda de trabajos significativos relacionados con el tema a tratar y a la zona donde se lleva a cabo el estudio, se revisa información bibliográfica, trabajos de grado y artículos. En la Tabla 19 se muestran los trabajos de grados utilizados para la recolección de datos de cada macizo rocoso estudiado, obteniendo la ubicación de cada uno de ellos, litología, descripción y clasificación geomecánica. Las tesis se clasifican como B, C y D, donde la tesis B es realizada por Méndez, Y (2011), dentro de la poligonal urbana del Municipio Campo Elías, la tesis C es elaborada por O'Neill, R y Castillo, F (2013) entre el sector El Portachuelo y La Chorrera, vía Jají y la tesis D realizada por Riveros, F (2013), en el sector Las Cruces. En cuanto a la obtención cartográfica se basa en la búsqueda de los Mapas Geológicos y Mapas Topográficos, los cuales dan la información referente a los rasgos estructurales, unidades litológicas y topografía. A partir del programa Google Earth se utilizan imágenes satelitales, permitiendo éstas una visión amplia y detallada de la zona en estudio, las cuales ayudan a complementar la información bibliográfica, ubicar zonas de interés y demarcar rasgos antrópicos, tales como: centros poblados y vías de acceso.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 19. Macizos rocosos estudiados obtenidos de los trabajos de grado.

Tesis	Trabajo de grado	Macizos Rocosos
B	Caracterización y evaluación geológica – geotécnica de las unidades de relieve localizadas dentro de la poligonal urbana del municipio Campo Elías, Mérida.	TB – CE 01 TB – CE 11 TB – CE 12 TB – CE 21 TB – CE 22 TB – CE 23
C	Estudio geotécnico-estructural de los taludes ubicados entre el sector El Portachuelo y La Chorrera, vía Jají, municipio Campo Elías, estado Mérida.	TC – M1 TC – M2
D	Estudio geológico y geotécnico de los taludes aplicando el método de equilibrio límite en el sector “Las Cruces”, Vía Mérida – Jají, estado Mérida.	TD – M1 TD – M2

ww e

III.2.1.2. Elaboración de tabla de datos

Se realizan dos tablas resumen para ser usadas en campo, una donde se muestra cada uno de los macizos rocosos con sus coordenadas UTM y descripción litológica tanto para la obtenida a partir de la información bibliográfica, como para la obtenida en campo; y otra donde se definen los parámetros indispensables que deben ser medidos durante el desarrollo de la investigación; como son, los datos necesarios para el cálculo del nivel de peligrosidad por la metodología de Fonseca. (Ver Anexo 1 y Anexo 2)

III.2.2. Etapa de campo

III.2.2.1. Reconocimiento del área de estudio

Esta etapa consiste en hacer la visita de campo a la zona de estudio para delimitar el área; con ayuda del GPS se ubican los taludes a estudiar. De

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

igual manera se verifica la información obtenida a través de la recolección de datos bibliográficos, imágenes satelitales y mapas geológicos (Ver Figura 14); donde se pueden denotar las características litológicas, estructurales y geomorfológicas que afectan y condicionan la inestabilidad en los macizos.

Figura 14. Imagen satelital obtenida a través del programa Google Earth. (Google Earth, 2013)

III.2.2.2. Identificación de litologías y estructuras geológicas

Durante esta etapa se verifica en campo cada una de las unidades litológicas aflorantes en la zona, materiales, composición, estructuras sedimentarias y estratificación, en base a los datos obtenidos a través de la recopilación de información en la etapa de pre - campo. Es importante denotar principalmente las estructuras geológicas, grado de fracturación, las juntas, planos de deslizamiento, discontinuidades, diaclasas (continuas, discontinuas, orientación favorable, orientación aleatoria, orientación desfavorable), así como la erosión diferencial y la meteorización, valiéndose de diversos criterios geomorfológicos y estructurales; ya que todas en contraste pueden estar afectando la estabilidad de la zona.

www.bdigital.ula.ve
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

III.2.2.3. Recopilación de datos necesarios para el desarrollo de la metodología de Fonseca

Requiere de la obtención de una serie de datos que permiten tener un criterio para establecer medidas correctoras de protección o estabilización a los macizos rocosos. Para el desarrollo de este método es necesaria tanto una evaluación visual como toma de mediciones. Los datos que se deben obtener en campo son los siguientes:

- Altura de Talud: este parámetro se obtiene midiendo en campo el ángulo hasta donde se encuentre un bloque inestable (α), se mide la distancia desde el pie del talud hasta donde se está midiendo (A) y la altura hasta donde se encuentra la brújula (C), finalmente se aplica trigonometría para hallar la altura (H). (Figura 15)

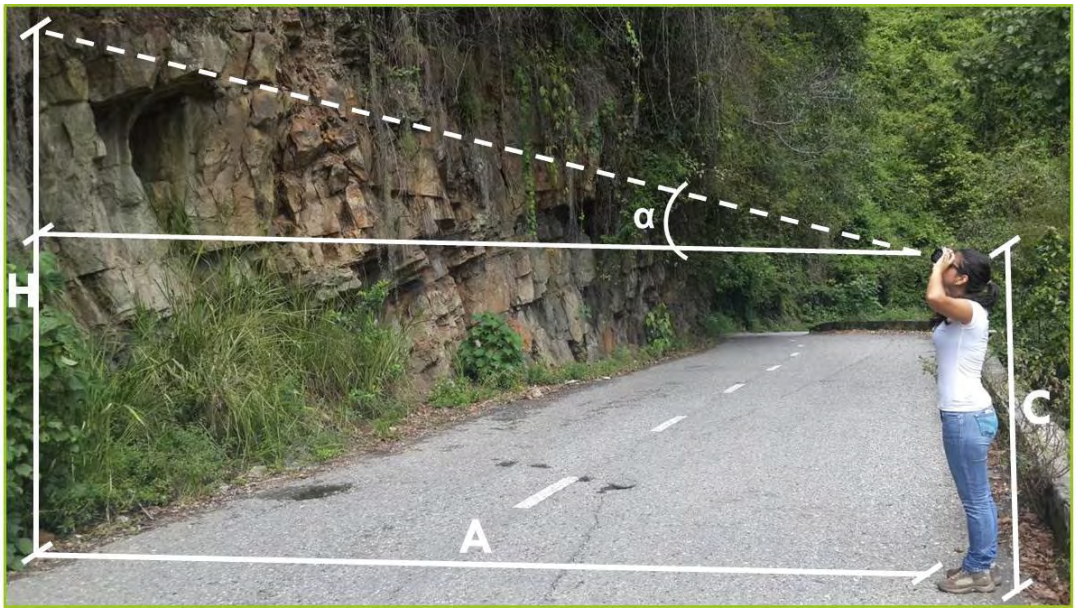


Figura 15. Medición de la altura del talud TC – M2.

- Efectividad de la cuneta de intercepción: en este parámetro se observa que tan buena resulta la cuneta en cuanto a la recepción de los bloques en el momento que ocurra un desprendimiento en el talud rocoso.(Ver Figura 16)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Figura 16. Cuneta del talud TB – CE 21.

www.bdigital.ula.ve

- Riesgo medio por vehículo: se calcula a través de una fórmula basada en la intensidad media diaria de vehículo, la cual se obtiene tomando en cuenta los carros que transitan en ambos sentidos de la vía, la medición se realiza por una semana en una hora exacta, tomando en cuenta la hora en que haya mayor tránsito vehicular, la hora de medición oscila entre las 12:00 m hasta las 2:00 pm, tomando la media de los vehículos; de igual manera es importante la longitud de recorrido, en este caso se toman tres tramos donde se incluyen los macizos a estudiar, debido a que los taludes rocosos se encontraban muy separados uno del otro y por último el límite de velocidad estableciéndose de acuerdo a los tramos, variando entre 40 y 60 km/h.

- Distancia de visibilidad: para determinar este parámetro se ubica en el talud un bloque potencialmente inestable, tomando éste bloque como referencia, con la ayuda de un objeto (odómetro, cinta métrica) se mide a lo largo de la línea de niebla (señalización) por el borde del pavimento hasta

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

obtener la distancia que le toma a dicho bloque en desaparecer. Se debe medir en ambas direcciones de la vía, para determinar cuál dirección tiene una distancia de visibilidad más corta.

- Ancho de la calzada: para obtener este parámetro se mide la distancia perpendicular al eje de la calzada, frente a cada uno de los taludes a estudiar. (Ver Figura 17)

Figura 17. Ancho de la calzada en el talud TB – CE 22.

- Características geológicas: en este parámetro se evalúan dos casos, en el caso 1 es importante la observación de las discontinuidades y su orientación (condición estructural) (Ver Figura 18) , al igual que la macro y micro rugosidad de la superficie de las discontinuidades (fricción o rozamiento) (Ver Figura 19); mientras que para el caso 2 se debe evaluar la meteorización y erosión (condición estructural) (Ver Figura 20) y la diferencia de los grados de erosión presente en el talud ya que esto condiciona a un evento de caídas de rocas.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Figura 18. Diaclasas discontinuas, orientación desfavorable. Grietas menores de 3m de largo. Talud TB – CE 23.

Figura 19. Unión áspera entre la superficie de roca, planos bastantes irregulares, condición de fricción óptima. Talud TC – M2.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Figura 20. Grandes y numerosos rasgos de erosión diferencial en toda la superficie del talud. Talud TD – M1.

- Tamaño del bloque o volumen del material desprendido: se obtiene midiendo el bloque más representativo que se encuentre desprendido en el pie de cada talud. (Ver Figura 21)

www.bdigital.ula.ve

Figura 21. Bloque desprendido del talud TB – CE 23.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

• Condiciones climáticas y presencia de agua: este parámetro es muy cualitativo, se debe considerar la presencia de agua en el talud y la frecuencia de las precipitaciones en la zona de estudio. (Ver Figura 22)

Figura 22. Presencia de agua intermitente en el talud TC – M2.

• Historia de los desprendimientos: para obtener este parámetro es necesario realizar consultas con los habitantes que viven cerca de cada uno de los taludes rocosos, para conocer la regularidad con que ocurren los desprendimientos en el lugar, a lo largo del tiempo.

III.2.3. Etapa de post-campo

III.2.3.1. Oficina

En esta última etapa, se realizan interpretaciones y procesamientos de datos de toda la información recopilada durante las fases anteriores.

III.2.3.1.1. Proyecciones Estereográficas a lo largo de la carretera

Para realizar las proyecciones estereográficas de las discontinuidades y taludes de los cinco macizos rocosos que se encuentran en curva dentro del

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

área de estudio se utiliza el software Dips. Además se emplea para posteriormente determinar los tipos de rotura existentes en cada talud.

III.2.3.1.1.1. Uso del Software Dips para taludes

1. Ingresar al programa Dips, donde se selecciona una “New” hoja de trabajo, ingresando buzamiento y dirección de buzamiento de las discontinuidades. (Ver Figura 23)

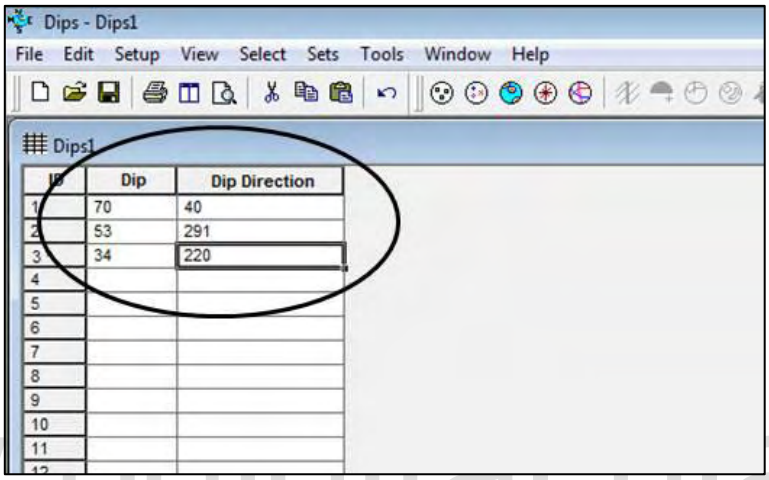


Figura 23. Casillas para ingresar el buzamiento y dirección de buzamiento de las discontinuidades en el software Dips.

www.bdigital.ula.ve

2. A través del comando “Setup” se acude a “Convention” para denotar “Plane Vector”.

3. Mediante el comando “Pole Plot” se generan las proyecciones estereográficas.

4. Por medio de “View” en el icono “All Planes”, se selecciona “Planes and Poles” para visualizar las discontinuidades. (Ver Figura 24)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

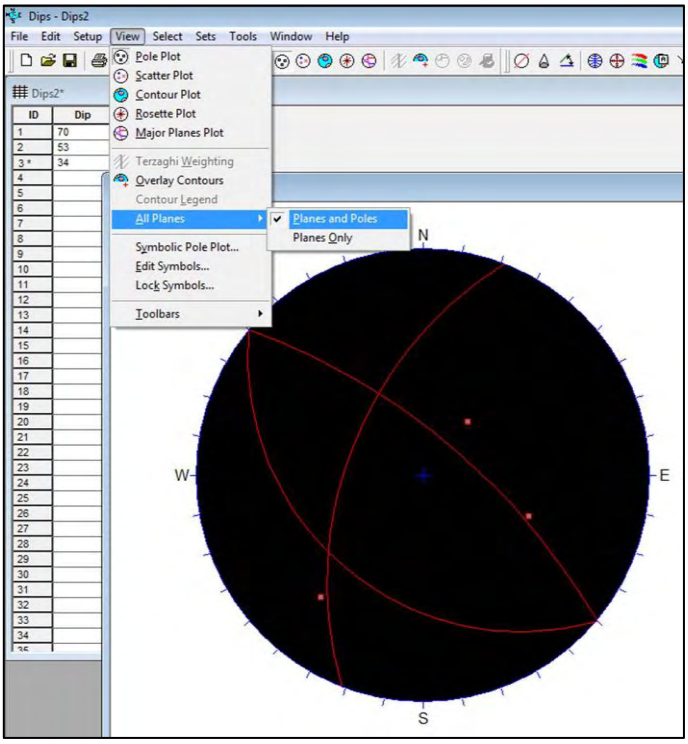


Figura 24. Discontinuidades visualizadas en la proyección estereográfica en el software Dips.

www.bdigital.ula.ve

5. Con el botón izquierdo del mouse, seleccionar "Display Options" para cambiar los colores de la estereofalsilla, como ejemplo se tiene que en "Stereonet" cambia el color de fondo de la estereofalsilla. (Ver Figura 25)

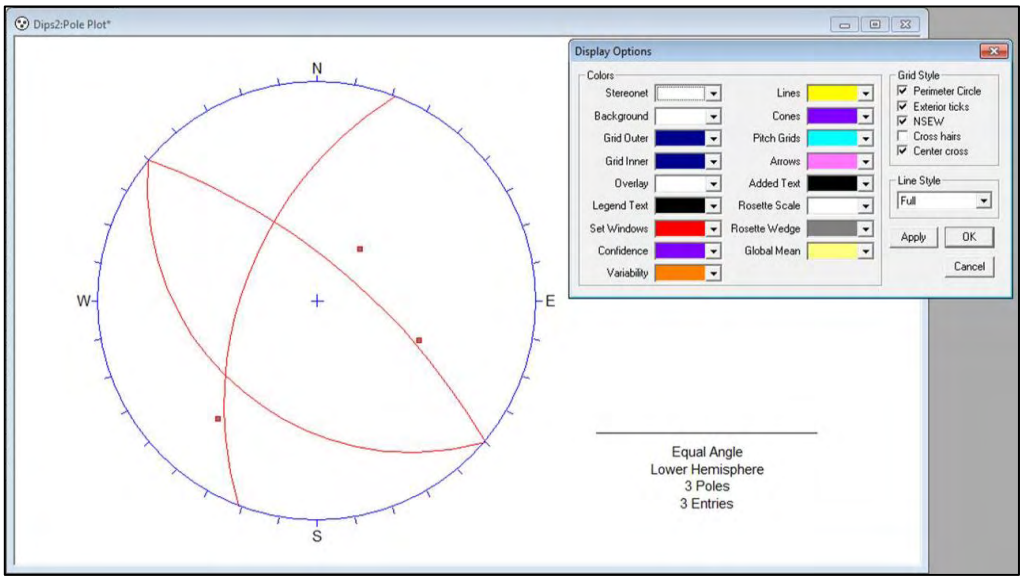


Figura 25. Opción para cambiar los colores de la estereofalsilla en el software Dips.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

6. Seguido de esto, se utiliza el comando “Select”, y se selecciona el icono “Add Plane”, luego se hace click en cualquier punto de la estereofalsilla, ubicando en la ventana que se activa la identificación del talud, con el buzamiento y dirección del buzamiento del mismo. (Ver Figura 26)

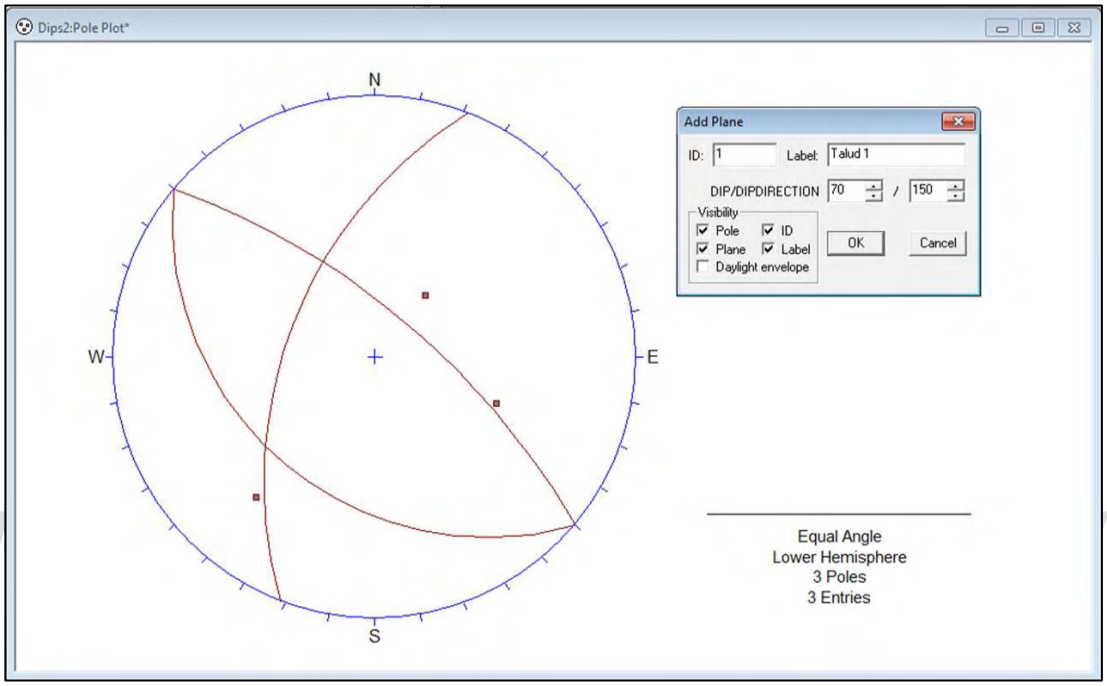


Figura 26. Casillas para ingresar el buzamiento y dirección de buzamiento de los taludes en el software Dips.

7. Luego se utiliza el comando “Cone” , y se hace click nuevamente en el centro de la estereofalsilla, activándose una ventana donde se deben ingresar algunos valores; en el caso de “Trend” no es necesario colocar valores, mientras que para “Angle” se coloca la resta, 90º - Φ y “Plunge” será 90º. (Ver Figura 27)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

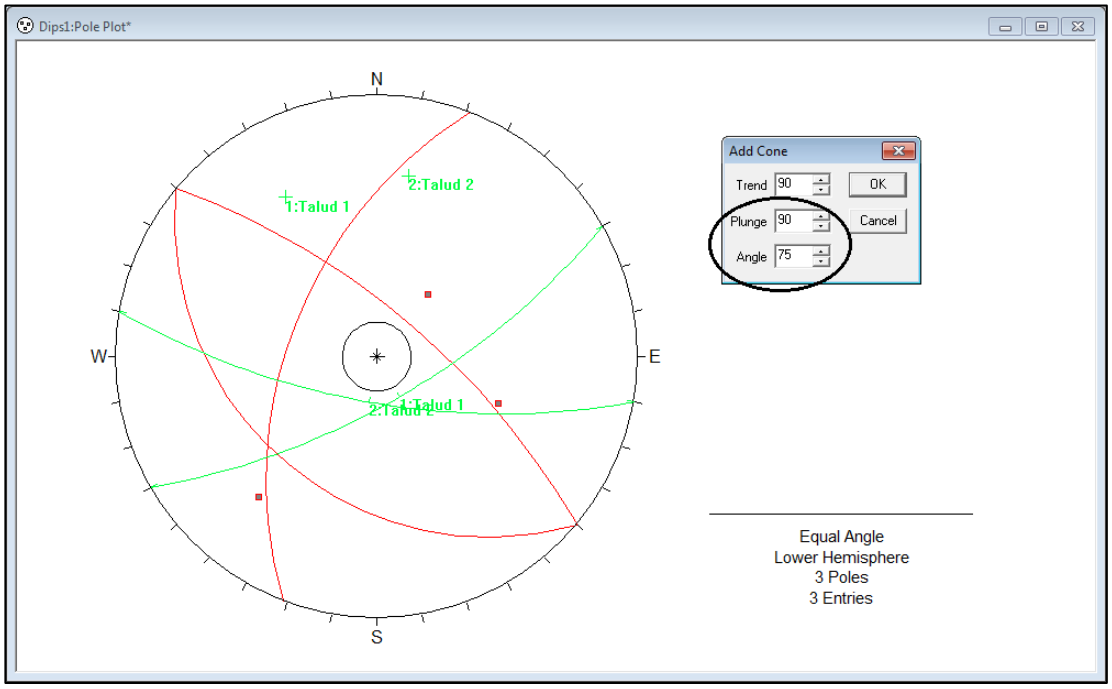


Figura 27. Casillas para ingresar los datos para el ángulo de fricción en el software Dips.

8. Finalmente, se marca con , el intervalo de taludes que presentan rotura y con esto tener la proyección estereográfica finalizada, Figura 28.

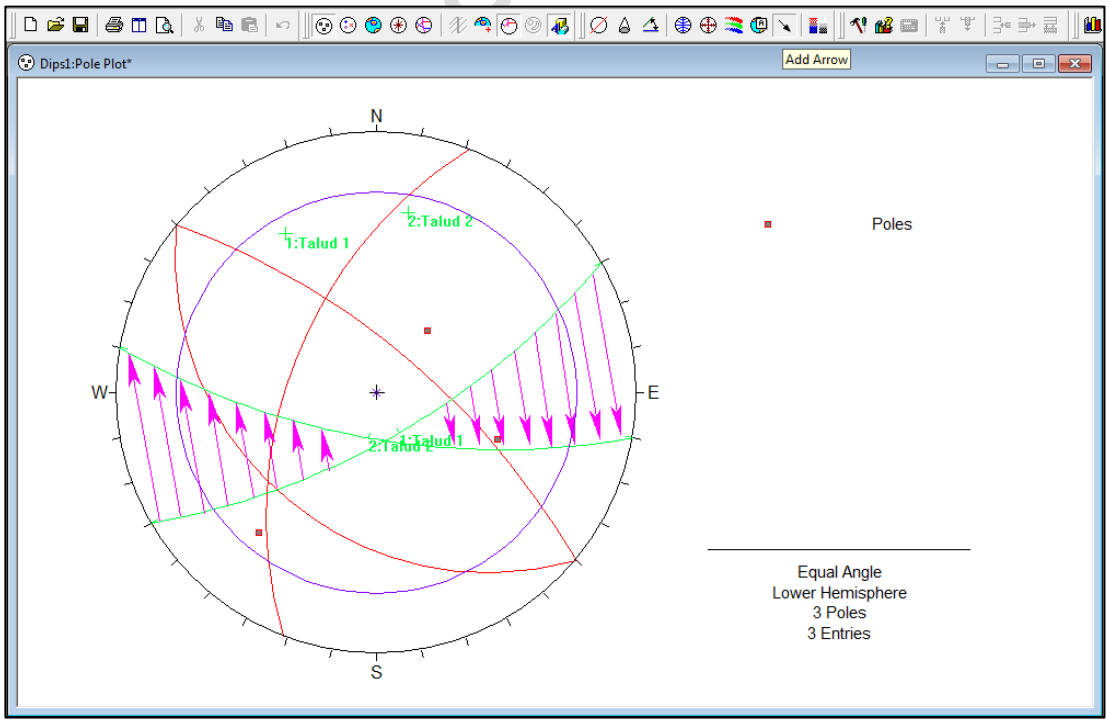


Figura 28. Intervalo de taludes que presentan rotura en el software Dips.

www.bdigital.ula.ve
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

III.2.3.1.2. Tipos de rotura a lo largo de la carretera

Mediante el programa Dips, al tener representados gráficamente las discontinuidades y taludes en las proyecciones estereográficas, se procede a evaluar las condiciones de estabilidad y tipos de rotura (cuña, plana o vuelco) que se presentan en los taludes rocosos estudiados; tomando en cuenta las condiciones geométricas para la ocurrencia de cada rotura.

III.2.3.1.3. Factor de seguridad a lo largo de la carretera

III.2.3.1.3.1. Uso del Software Slide para taludes que presenten rotura plana

1. Realizar el corte topográfico para obtener la geometría del talud.
2. En la ventana principal del software, activar la función “Boundaries” y acceder en el icono “Add External Bondary”
3. Presionar el botón derecho del mouse y seleccionar “Coordinate Table”, ingresando las coordenadas del perfil topográfico (x,y). (Ver Figura 29)

www.bdigital.ula.ve

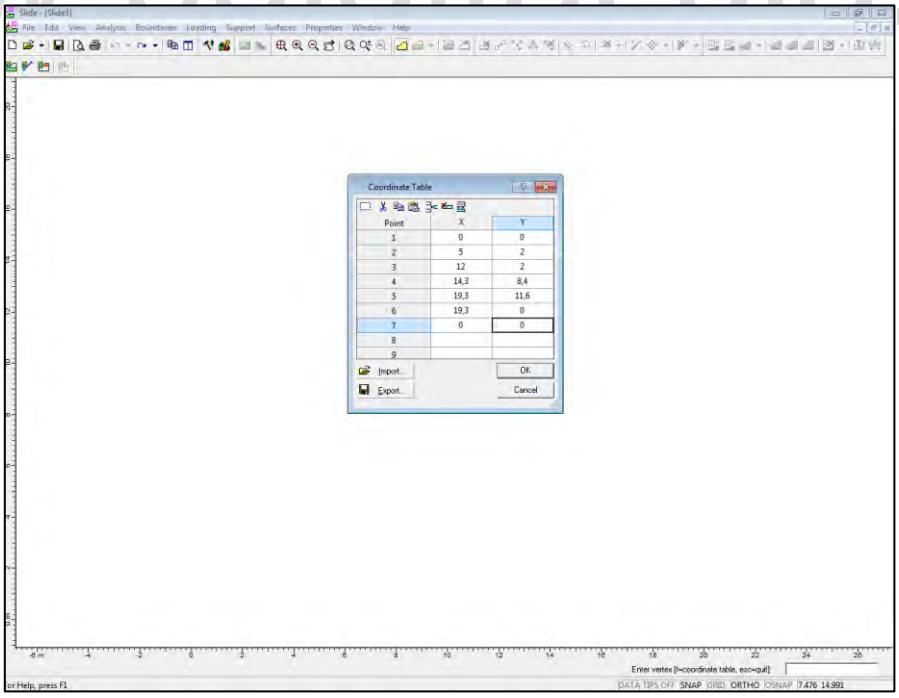


Figura 29. Tabla para ingresar las coordenadas del perfil topográfico (x,y).

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

4. En la opción “Properties” acceder a “Define Materiale” y agregar las propiedades del material presente en el talud. (Ver Figura 30)

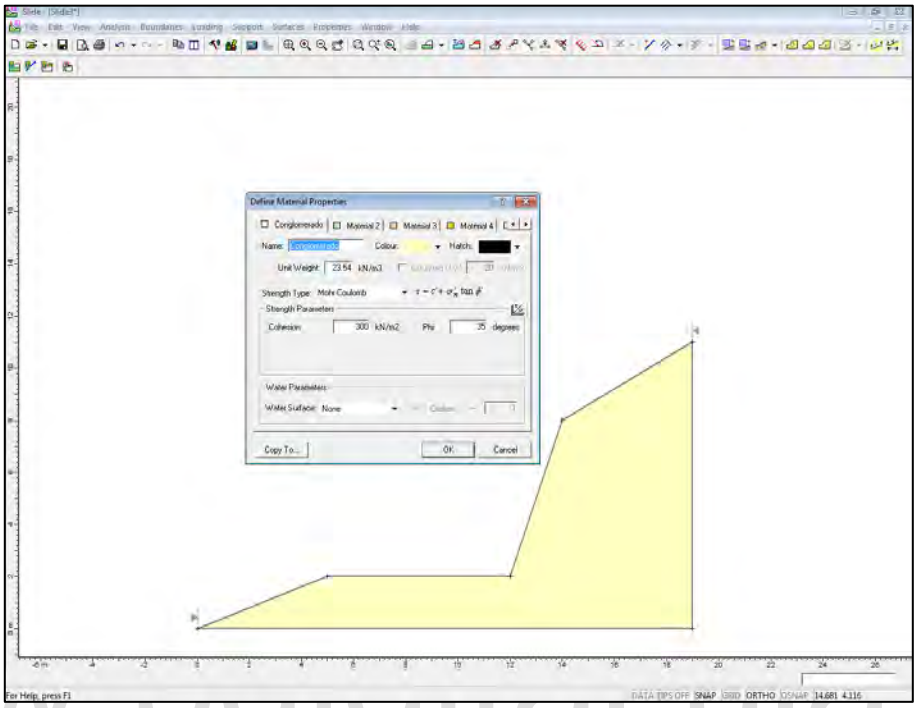


Figura 30. Casillas para ingresar las propiedades del material presente en el talud.

5. Posteriormente, en el comando “Surfaces”, seleccionar el icono “Surface Options” para configurar la superficie de discontinuidad, escogiendo “Non – Circular”. (Ver Figura 31)

www.bdigital.ula.ve
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

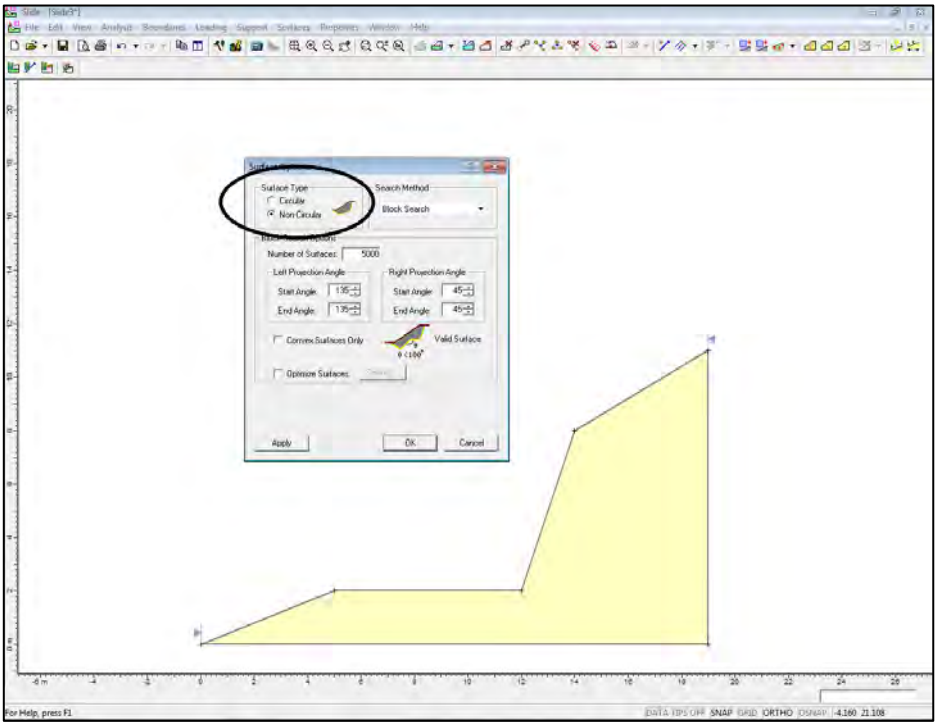


Figura 31. Cuadro para configurar la superficie de discontinuidad.

www.bdigital.ula.ve

6. Agregar la superficie de rotura mediante la opción “Surfaces” y elegir el comando “Add Surface” , para realizar la línea de discontinuidad teniendo en cuenta el buzamiento de la misma.

7. Para compilar los datos se selecciona el icono “Compute” , insertando el nombre del proyecto, para luego ser guardado.

8. Hacer click en el icono “Interpret” para obtener el valor del factor de seguridad, activándose una ventana llamada “SlideInterpret”, donde se selecciona el método de análisis deseado en la barra de tareas. (Ver Figura 32).

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

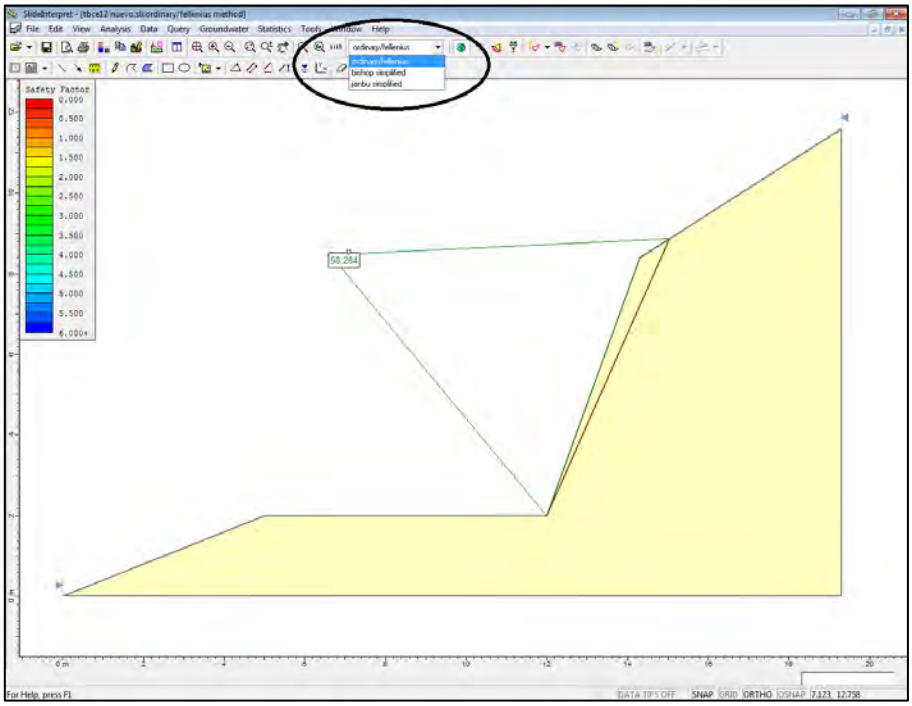


Figura 32. Casilla para seleccionar el método de análisis para el cálculo del factor de seguridad del talud.

www.bdigital.ula.ve

9. En la ventana principal de “Slide”, en el comando “Boudaries” seleccionar la opción “Add Water Table” ; permitiendo definir la saturación del talud, para obtener un nuevo factor de seguridad al compilar los datos.

10. Para agregar fuerzas sísmica, se hace click en el icono “Loading” de la barra de tareas en la ventana principal de “Slide” y luego se selecciona “Seismic Load”, donde se despliega una nueva ventana para ingresar los valores de la fuerza horizontal y vertical; obteniendo otro valor de factor de seguridad al compilar los datos. (Ver Figura 33)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

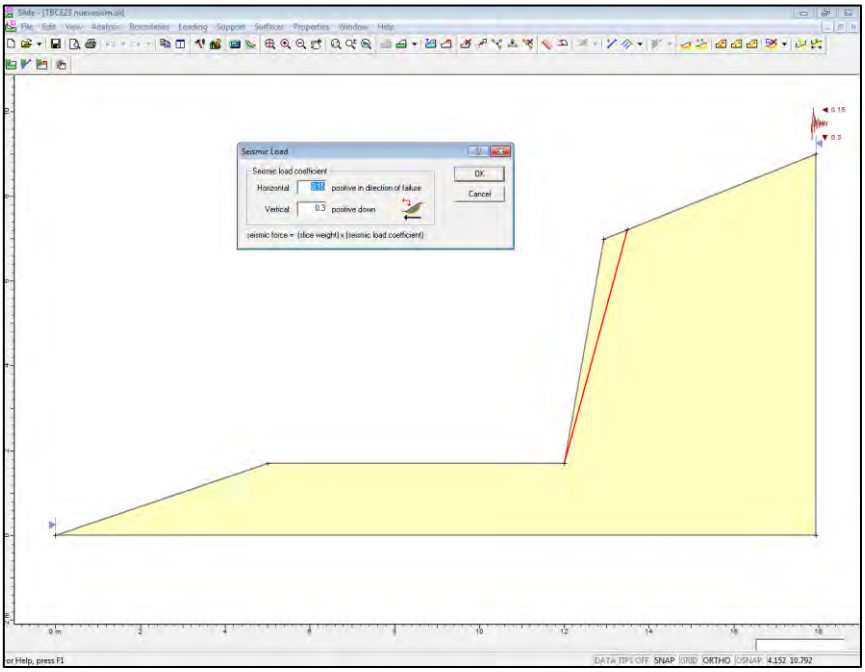


Figura 33. Casillas para agregar los valores de las fuerzas sísmicas.

III.2.3.1.3.2. Uso del Software Swedge para taludes que presenten rotura en cuña

www.bdigital.ula.ve

1. Generar una “New” hoja de trabajo.

2. A través del comando “Analysis”, seleccionar “Project Settings”, activándose una ventana donde se coloca el título del proyecto, uso de unidades métricas y el tipo de análisis determinístico. (Ver Figura 34)

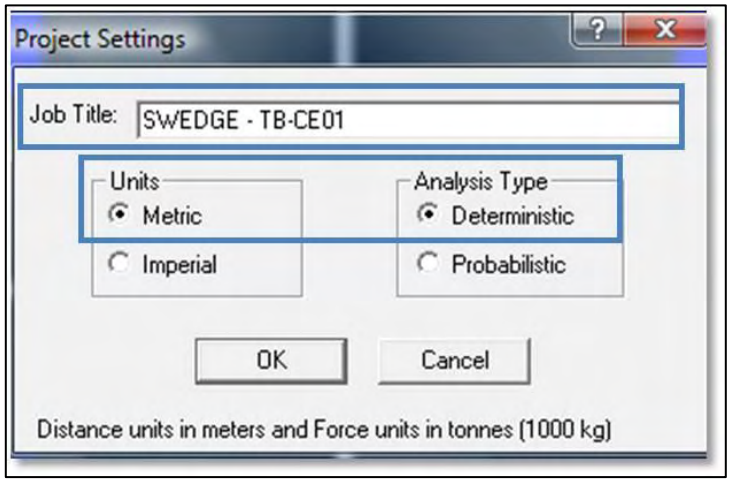


Figura 34. Casillas para dar nombre al proyecto y determinar unidades métricas y tipo de análisis en el Software Swedge.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

3. Nuevamente en el comando “Analysis” se selecciona el icono “Input Data” , donde se agregan principalmente los datos de las discontinuidades (buzamiento / dirección de buzamiento) y del ángulo de fricción interna. Se debe desactivar la opción “Tension Crack” y la cohesión se denota como cero. (Ver Figura 35)

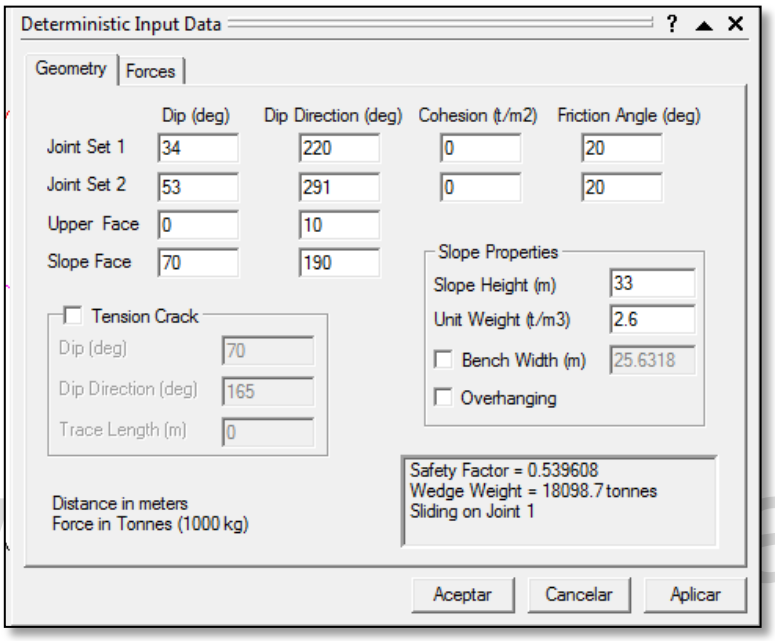


Figura 35. Casillas para ingresar los datos de las discontinuidades, talud y ángulo de fricción interna en el Software Swedge.

4. Luego de introducir los datos se obtiene el factor de seguridad y se genera un gráfico del talud donde se representa la cuña en distintas perspectivas. (Ver Figura 36)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

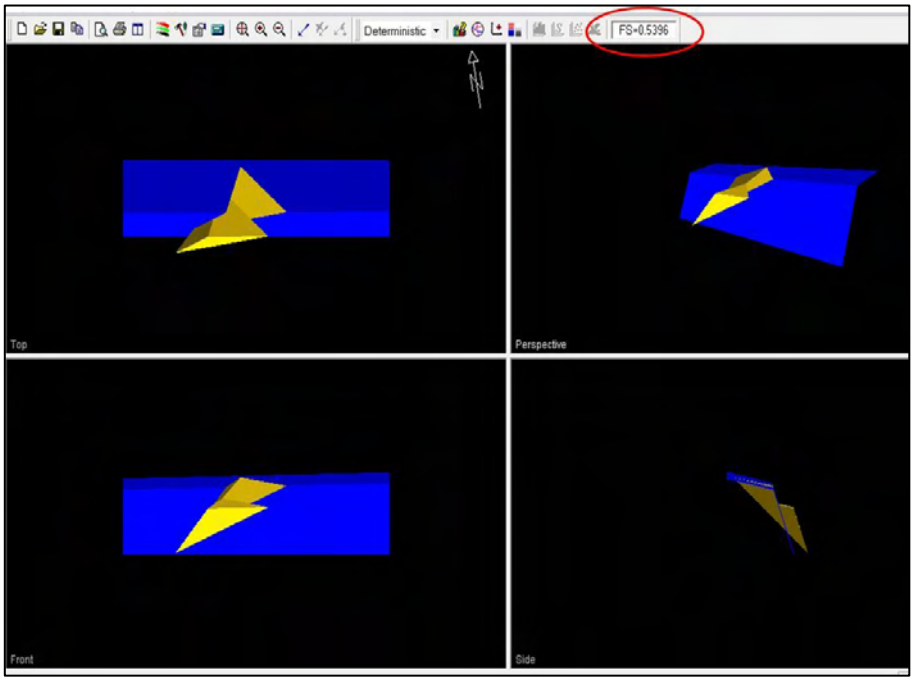


Figura 36. Rotura en cuña representada en diferentes perspectivas y valor del factor de seguridad del talud en el Software Swedge.

www.bdigital.ula.ve

5. Finalmente, se observa la proyección estereográfica a través del comando “Analysis” en el icono “Stereonet”, donde se verifica la rotura en cuña. (Ver Figura 37)

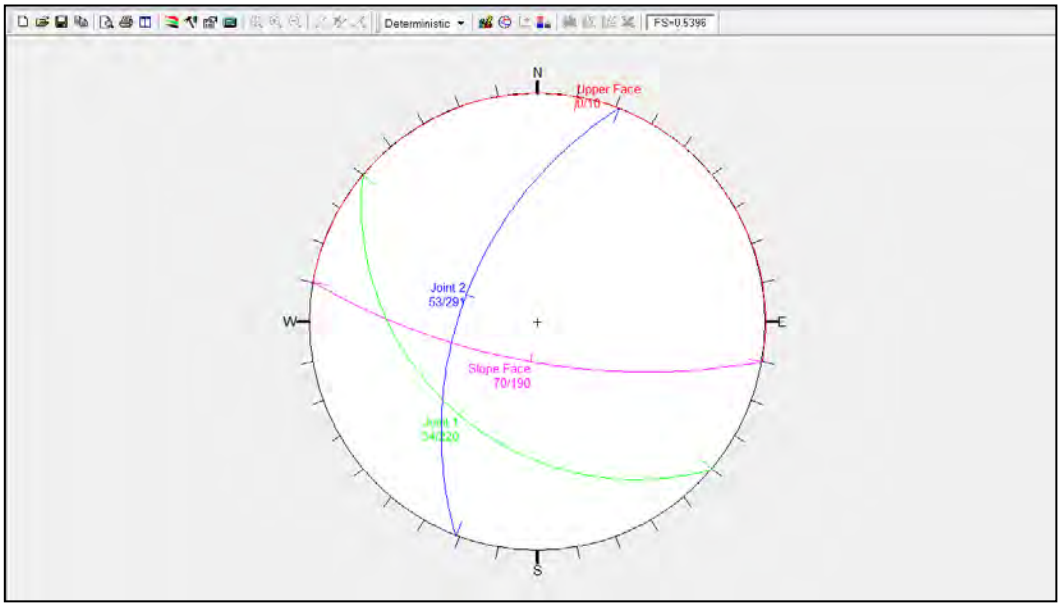


Figura 37. Proyección estereográfica de la rotura en cuña y talud en el Software Swedge.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

III.2.3.1.4. Evaluación del nivel de peligrosidad por medio de la metodología de Fonseca

Para determinar las posibilidades de peligrosidad en la zona de estudio, se realiza una evaluación a partir de todos los parámetros medidos en campo en cada uno de los taludes rocosos y de esta manera establecer niveles de peligrosidad, mediante la metodología de Roberto Fonseca.

El método consiste en asignar a cada parámetro una puntuación y se le aplica un peso adicional a algunos factores que resultan de mayor influencia, como se describe en la Tabla 17, para obtener el índice de peligrosidad se calcula a través de la ecuación (10)**.**, en la cual se toman los valores más desfavorables, luego se suman todos los parámetros donde el peso adicional ya está establecido y se divide entre el total de ellos. Finalmente, se determina el nivel, la peligrosidad y la prioridad de actuación para cada talud rocoso, Tabla 18.

III.2.3.1.5. Digitalización del mapa de nivel de peligrosidad

www.bdigital.ula.ve

Se basó en la recolección del mapa topográfico asociado al área de interés prevista en la etapa de pre – campo. Teniendo la información del mapa base como curvas de nivel, caminos, carreteras, poblados, ríos y quebradas, a través del programa ArcGis versión 9.3, se ubican cada uno de los taludes rocosos estudiados a lo largo de la vía principal, con ayuda de imágenes satelitales del programa Google Earth. Con el método de interpolación IDW del programa, se introducen los índices de peligrosidad resultantes para cada macizo y de esta manera generar el mapa de nivel de peligrosidad obtenidos por la metodología de Fonseca.

Finalmente, se le realizan algunos arreglos generales como asignación de la escala, dirección, bordes, márgenes y la leyenda en la que se asigna la información concerniente a la ubicación de área, escala gráfica, autores, entre otros.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

III.2.3.1.6. Redacción del informe final

Consiste en la etapa final de la investigación, la cual se basa en recopilar, organizar y desarrollar toda la información realizada a lo largo de las fases anteriormente explicadas, para ser plasmadas de forma clara y detallada, donde se proyectan finalmente los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidos durante la metodología aplicada.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS Y RESULTADOS

En este capítulo se realiza un análisis cinemático de los taludes a lo largo de la carretera, donde se determinan los tipos de rotura presentes en cada uno; de igual manera se calcula el factor de seguridad analíticamente y mediante los software Slide, para rotura plana y Swedge, para rotura en cuña; posteriormente se evalúa la peligrosidad de todos los taludes, a través de la metodología de Fonseca, generando un mapa donde se representa el nivel de peligrosidad.

IV.1. ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LOS TALUDES A LO LARGO DE LA CARRETERA

Con ayuda del software Dips se estudia la cinemática de los taludes que se encuentran en curva a lo largo de la carretera, a través de las proyecciones estereográficas. En las mismas, se representan las discontinuidades de color rojo, los taludes de color verde, el ángulo de fricción de color morado, un área con flechas que simboliza el rango de las diferentes direcciones de los taludes que presentan rotura y los polos se identifican por puntos. Se puede observar la ubicación de los taludes en el Anexo 17.

www.bdigital.ula.ve

IV.1.1. Determinación de la cinemática del talud TB – CE 01

En el análisis cinemático del talud se estudia los posibles tipos de roturas presentes en la proyección estereográfica (Figura 38), determinando una rotura en cuña entre las discontinuidades D2 y D3, dentro del rango de las diferentes direcciones que presenta el talud a lo largo de su trazado donde aflora. En la Tabla 20 se muestran los datos utilizados en las proyecciones estereográficas.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

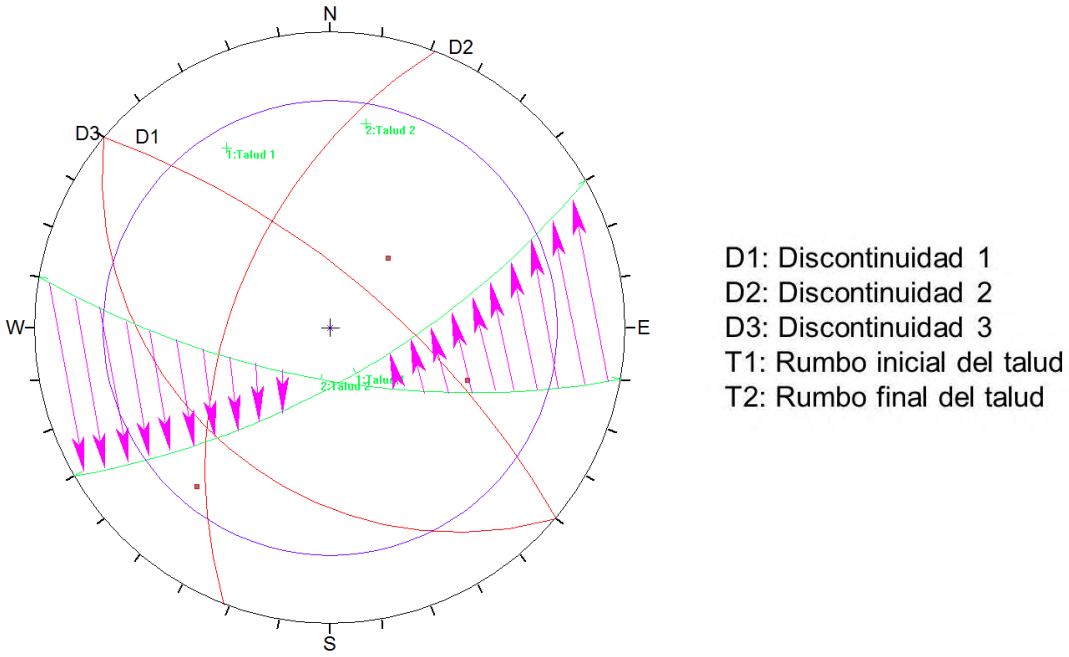


Figura 38. Proyecciones estereográficas y los polos para el talud TB – CE 01.

Tabla 20. Datos y tipo de rotura del talud TB – CE 01.

www.bdigital.ula.ve

Talud	Nomenclatura	Rumbo / Buzamiento	Buz / Dirección de Buzamiento	ϕ	Tipo de Rotura con respecto al talud
TB – CE 01	T1	N 60° E / 70° S	70° / 150°	15°	Cuña D2 y D3
	T2	N 80° O / 70° S	70° / 190°		
	D1	N 50° O / 70° N	70° / 40°		
	D2	N 21° E / 53° N	53° / 291°		
	D3	N 50° O / 34° S	34° / 220°		

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

IV.1.2. Determinación de la cinemática del talud TB - CE 12

En el talud TB – CE 12 a través de las proyecciones estereográficas (Figura 39) se realiza un análisis cinemático, observando una rotura plana entre el talud y la discontinuidad D1, ya que la discontinuidad buza en el mismo sentido del talud y forman ± 20° con respecto a él; y una rotura en cuña, debido a que los planos de las discontinuidades D1 y D2 cumplen con las condiciones angulares y aflora dentro del rango de las diferentes direcciones que presenta el talud a lo largo de su trazado. En la Tabla 21 se muestran los datos utilizados en las proyecciones estereográficas.

Tabla 21. Datos y tipo de rotura del talud TB – CE 12.

Talud	Nomenclatura	Rumbo / Buzamiento	Buz / Dirección de Buzamiento	ϕ	Tipo de Rotura con respecto al talud
TB – CE 12	T1	N-S / 75° O	75° / 270°	35°	Plana D1 y Cuña D1 y D2
	T2	N 25° E / 70° N	70° / 295°		
	D1	N 30° E / 70° N	70° / 300°		
	D2	N 50° O/ 76° S	76° / 220°		

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

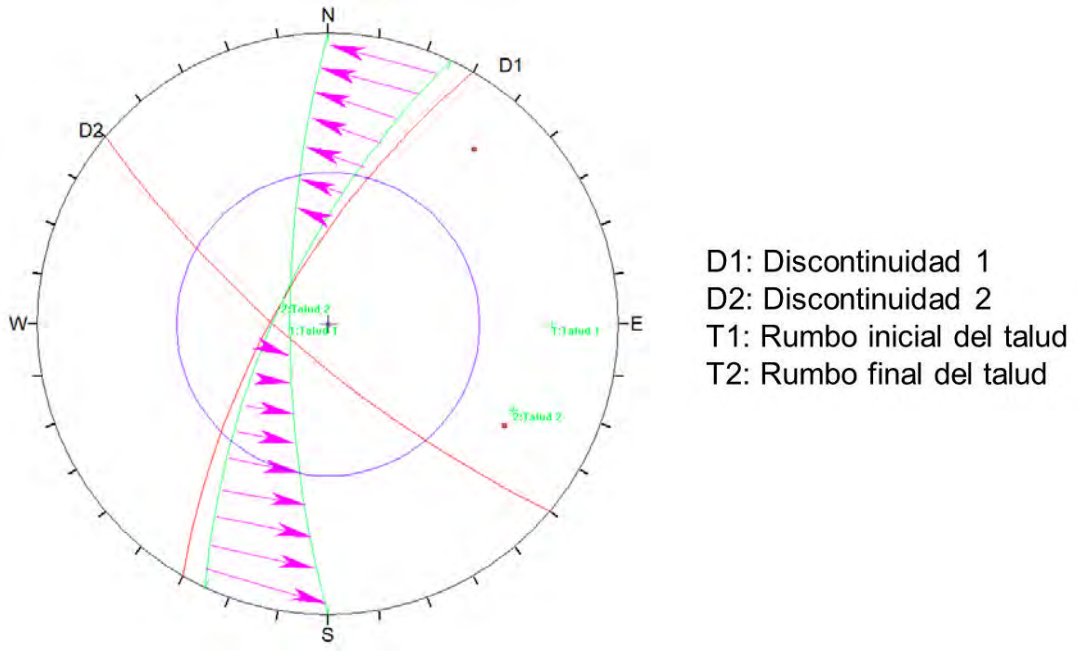


Figura 39. Proyecciones estereográficas y los polos para el talud TB – CE 12.

IV.1.3. Determinación de la cinemática del talud TB - CE 23

Para definir la cinemática del talud se utiliza la proyección estereográfica resultante del software Dips (Figura 40), donde se puede observar una rotura plana entre el talud y la discontinuidad D3, ya que la discontinuidad buza en el mismo sentido del talud y forman ± 20° con respecto a él; y dos roturas en cuña, una entre los planos de las discontinuidades D2 y D3 y la otra entre D1 y D3, cumpliendo ambas con las condiciones angulares y aflorando dentro del rango de las diferentes direcciones que presenta el talud a lo largo de su trazado. En la Tabla 22 se muestran los datos utilizados en las proyecciones estereográficas.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

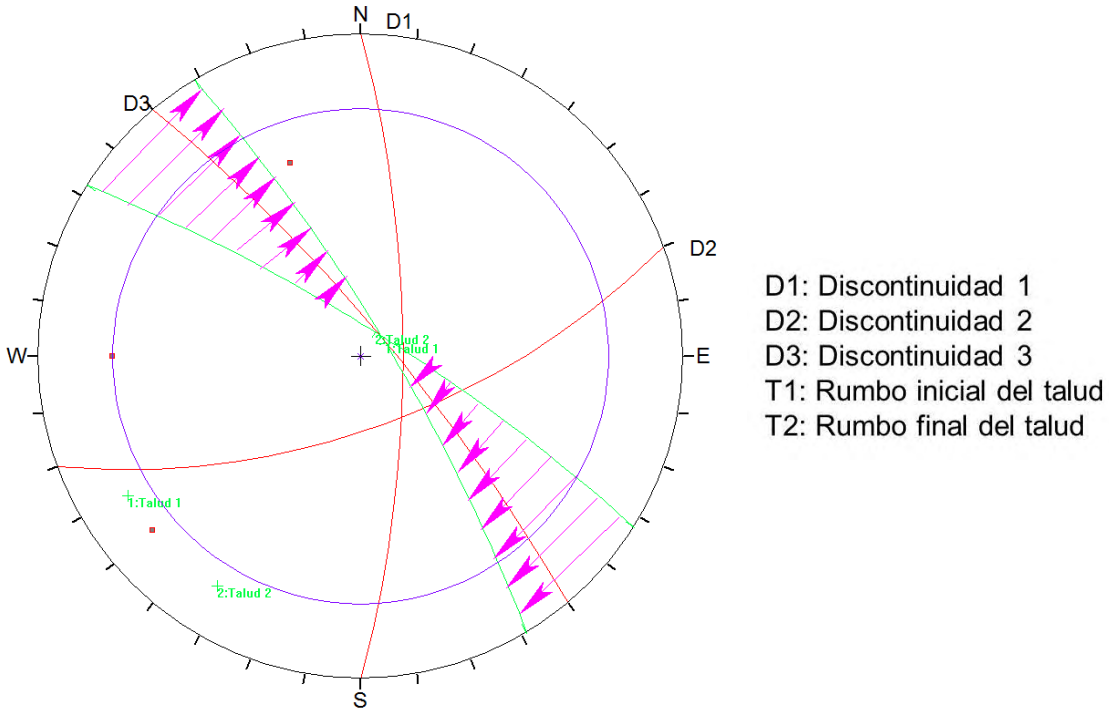


Figura 40. Proyecciones estereográficas y los polos para el talud TB – CE 23.

www.bdigital.ula.ve

Tabla 22. Datos y tipo de rotura del talud TB - CE 23.

Talud	Nomenclatura	Rumbo / Buzamiento	Buz / Dirección de Buzamiento	ϕ	Tipo de Rotura con respecto al talud
TB – CE 23	T1	N 31° O / 80° N	80° / 59°	15°	Plana D3 y Cuñas D2 y D3 y D1 yD3
	T2	N 58° O / 80° N	80° / 32°		
	D1	N-S / 75° E	75° / 90°		
	D2	N 70° E / 65° S	65° / 160°		
	D3	N 40° O / 80° N	80° / 50°		

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

IV.1.4. Determinación de la cinemática del talud TC - M1

Para determinar el tipo de rotura, se evalúa la cinemática del talud, realizando las proyecciones estereográficas (Figura 41), donde se puede observar una rotura plana entre el talud y la discontinuidad D1, ya que la discontinuidad buza en el mismo sentido del talud y forman ± 20° con respecto a él; y una rotura en cuña, ya que los planos de las discontinuidades D1 y D2 se interceptan y aflora dentro del rango de las diferentes direcciones que presenta el talud a lo largo de su trazado. En la Tabla 23 se muestran los datos utilizados en las proyecciones estereográficas.

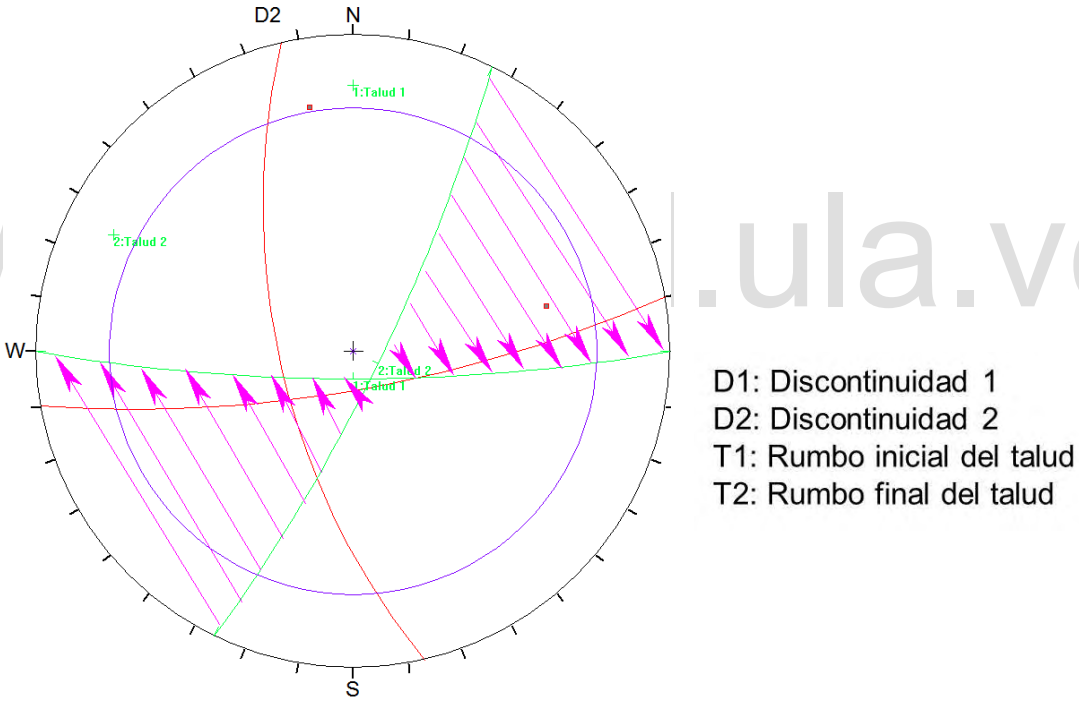


Figura 41. Proyecciones estereográficas y los polos para el talud TC - M1.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 23. Datos y tipo de rotura del talud TC - M1.

Talud	Nomenclatura	Rumbo / Buzamiento	Buz / Dirección de Buzamiento	ϕ	Tipo de Rotura con respecto al talud
TC – M1	T1	E-O / 80° S	80° / 180°	15°	Plana D1 y Cuña D1 y D2
	T2	N 26° E / 80° S	80° / 116°		
	D1	N 80° E / 76° N	76° / 170°		
	D2	N 12° O/ 64° S	64° / 257°		

IV.1.5. Determinación de la cinemática del talud TC - M2

Al realizar las proyecciones estereográficas del talud (Figura 42), se determina la cinemática y por lo tanto los tipos de rotura presentes; donde se identifica una rotura plana entre el talud y la discontinuidad D2, ya que la discontinuidad buza en el mismo sentido del talud y forman ± 20° con respecto a él; y una rotura en cuña, debido a que los planos de las discontinuidades D2 y D3 cumplen con las condiciones angulares y aflora dentro del rango de las diferentes direcciones que presenta el talud a lo largo de su trazado. En la Tabla 24 se muestran los datos utilizados en las proyecciones estereográficas.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

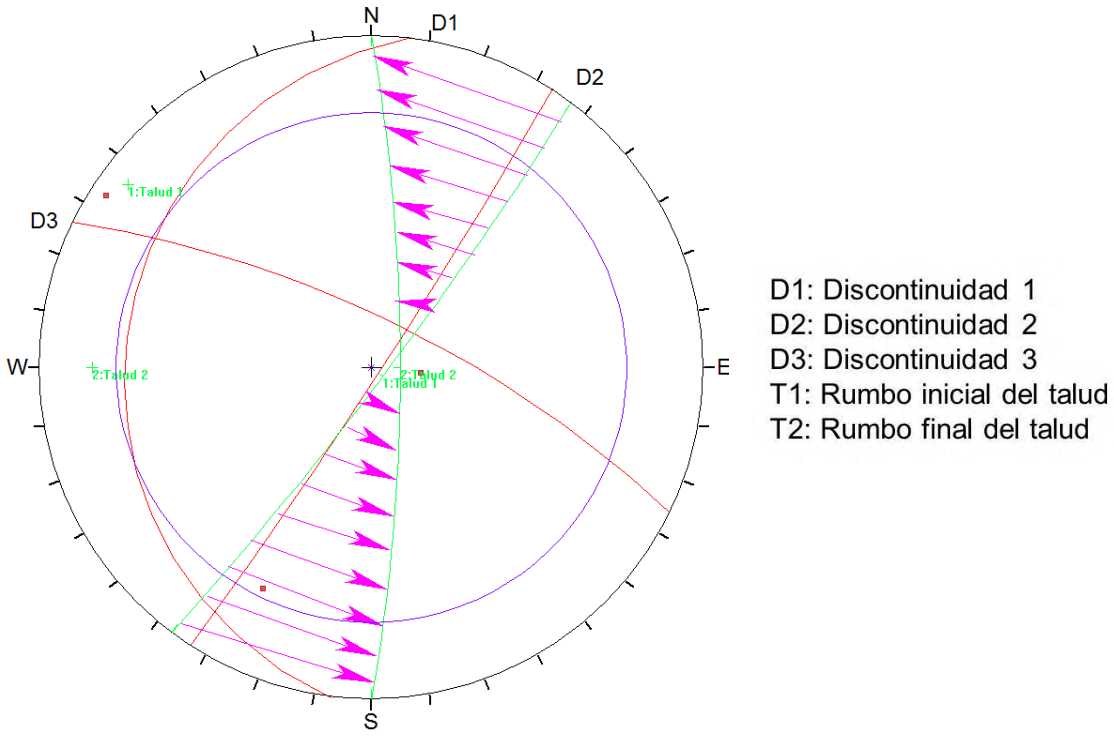


Figura 42. Proyecciones estereográficas y los polos para el talud TC - M2.

www.bdigital.ula.ve

Tabla 24. Datos y tipo de rotura del talud TC - M2.

Talud	Nomenclatura	Rumbo / Buzamiento	Buz / Dirección de Buzamiento	ϕ	Tipo de Rotura con respecto al talud
TC – M2	T1	N 53° E / 85° S	85° / 127°	15°	Plana D2 y Cuña D2 y D3
	T2	N-S / 80° E	80º / 90°		
	D1	N 7° E / 17° N	17° / 277°		
	D2	N 33° E / 87° S	87° / 123°		
	D3	N 64° O / 73° N	73° / 26°		

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

IV.2. SIMULACIÓN DE TALUDES Y CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD A LO LARGO DE LA CARRETERA

IV.2.1. Simulación y cálculo del factor de seguridad con el software Slide

Para obtener el factor de seguridad de los taludes que presentan rotura plana, se calcula a través del software Slide, aplicando el método de análisis *Bishop Simplificado* por el criterio de Mohr – Coulomb, resultando la Figura 43, Figura 44, Figura 45 y Figura 46 para el talud TB – CE 12, TB – CE 23, TC – M1 y TC – M2 respectivamente.

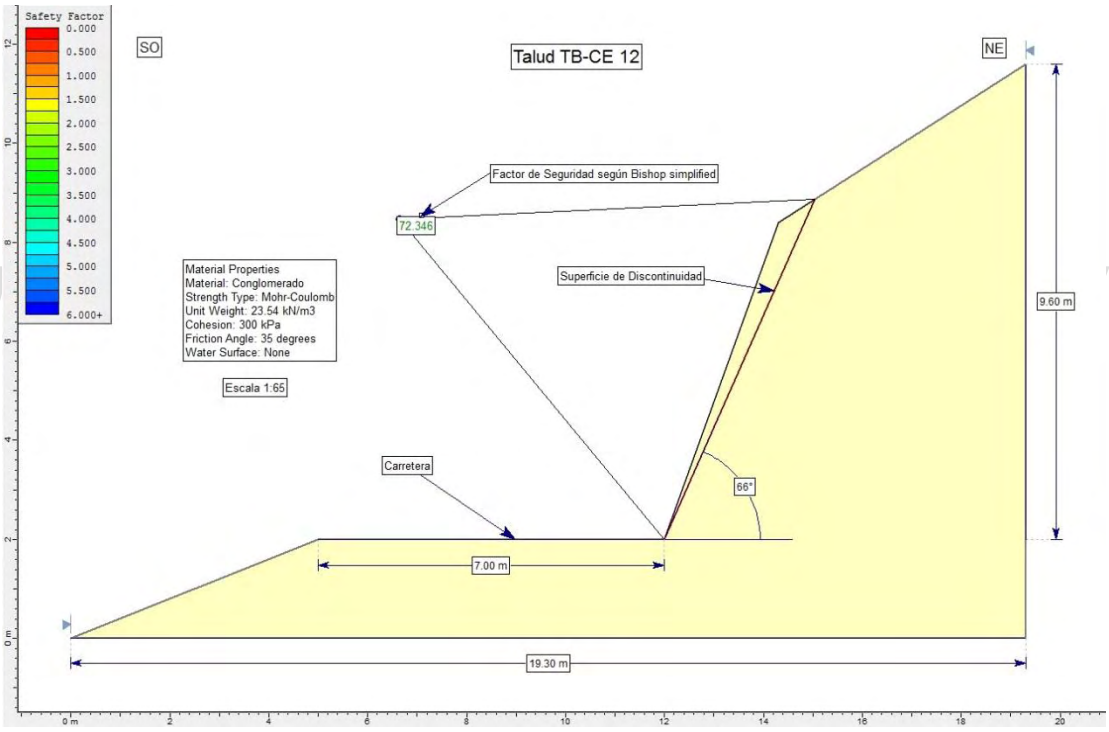


Figura 43. Simulación del talud TB – CE 12 para obtener el valor del factor de seguridad.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

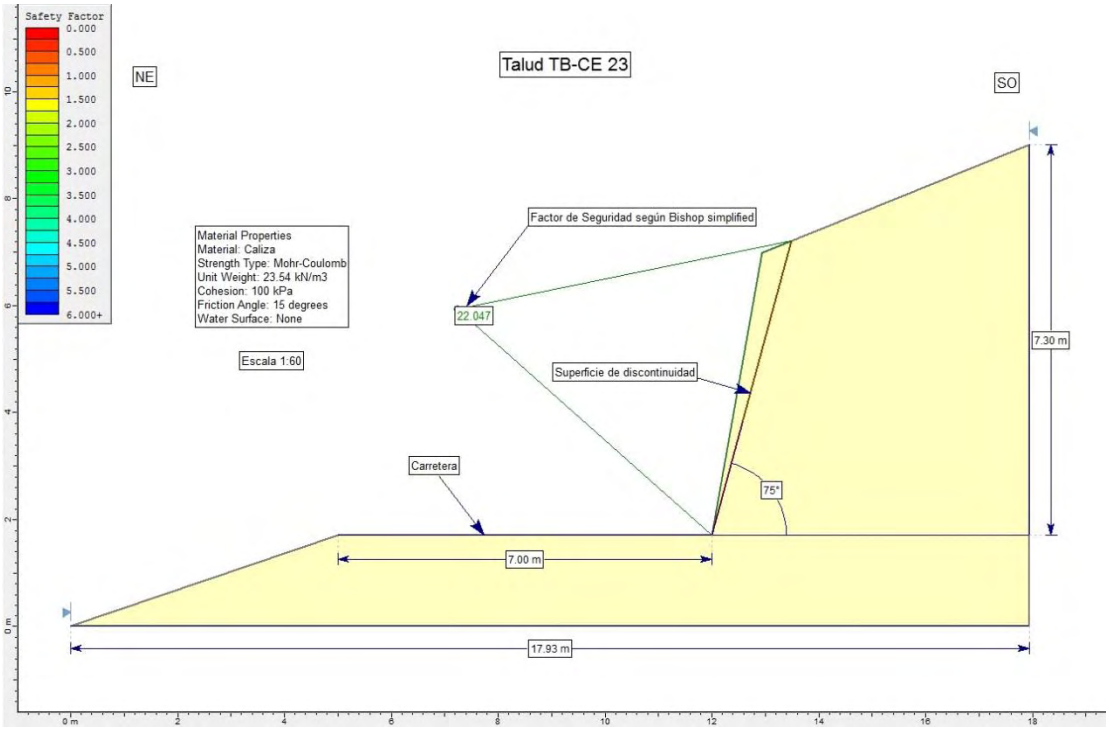


Figura 44. Simulación del talud TB – CE 23 para obtener el valor del factor de seguridad.

www.bdigital.ula.ve

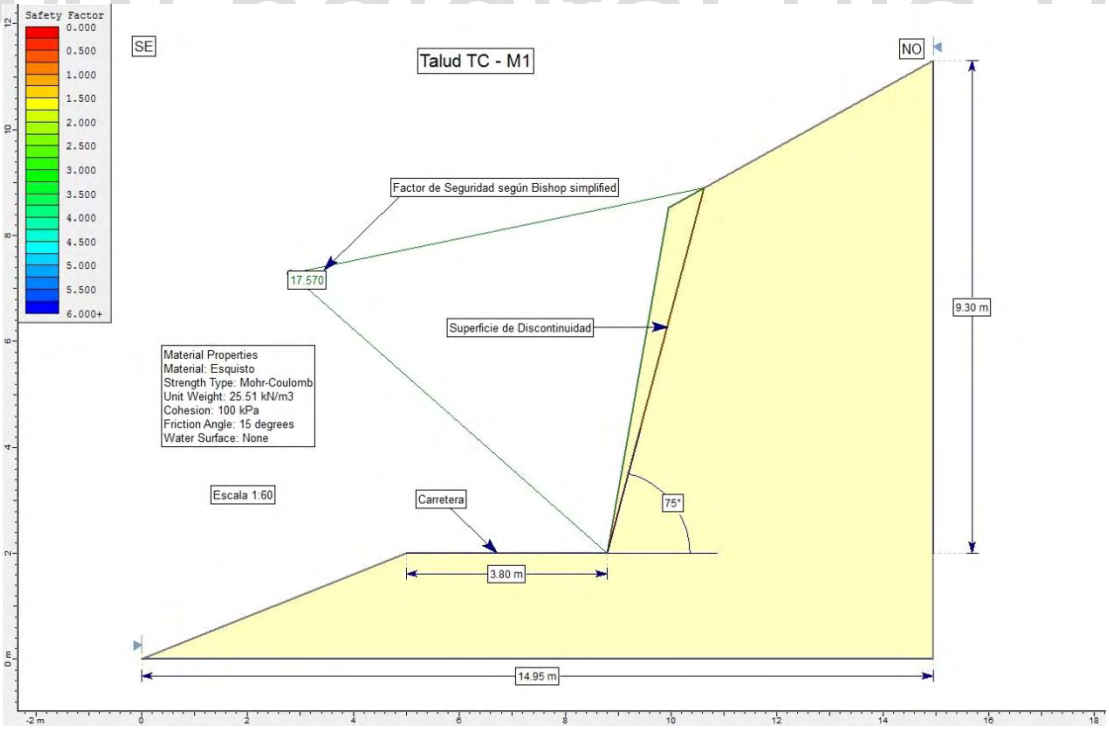


Figura 45. Simulación del talud TC – M1 para obtener el valor del factor de seguridad.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

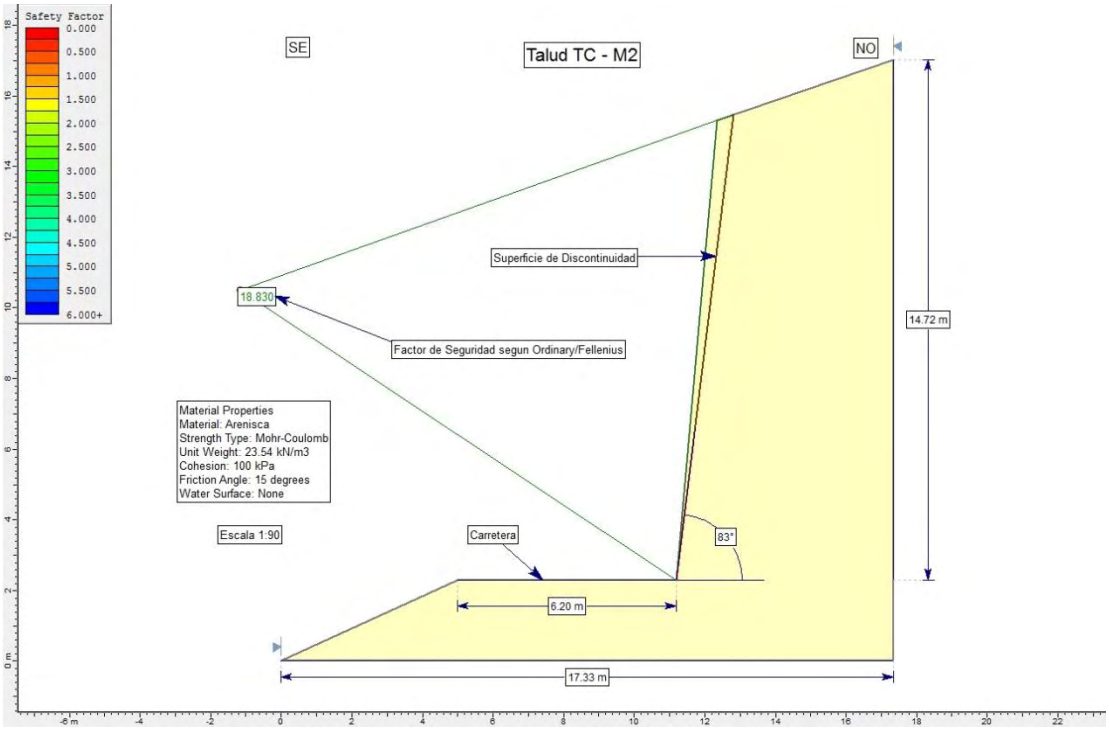


Figura 46. Simulación del talud TC – M2 para obtener el valor del factor de seguridad.

www.bdigital.ula.ve

Resultando:

Tabla 25. Factor de seguridad obtenido por el software Slide.

Talud	Factor de Seguridad
TB – CE 12	72,35
TB – CE 23	22,05
TC – M1	17,58
TC – M2	18,83

Adicionalmente para cada talud se consideran otros factores que influyen en el cálculo del factor de seguridad, como lo es, la fuerza total debida al agua, y los coeficientes sísmicos, teniendo como dato, la fuerza sísmica vertical con un valor de 0,3 y la fuerza sísmica horizontal con un valor de 0,15, valores sísmicos establecidos según las normas COVENIN para el estado Mérida. En la Tabla 26 se presentan los valores de los factores de seguridad arrojado por el software Slide para cada caso.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 26. Factor de seguridad según las condiciones aplicadas.

Talud	Factor de seguridad Slide, Talud seco	Factor de seguridad Slide, Talud con agua	Factor de seguridad Slide, Talud con sismo	Factor de seguridad Slide, Talud con agua y sismo
TB – CE 12	72,35	71,56	53,38	52,79
TB – CE 23	22,05	21,60	16,69	16,36
TC – M1	17,58	17,15	13,30	12,99
TC – M2	18,83	17,90	14,42	13,71

Tomando en consideración la saturación de agua en los taludes y la sismicidad, se observa una notable disminución en los factores de seguridad con respecto al talud seco, sin embargo, al ser estos valores mayores a 1, no existe variación en la estabilidad de los taludes.

www.bdigital.ula.ve

IV.2.2. Cálculo analítico del factor de seguridad de rotura plana

Para calcular analíticamente el factor de seguridad, se aplica la ecuación (1), (2) y (3) (Pág. 32), utilizando los datos de la Tabla 27, teniendo en cuenta que para la ecuación 2 y 3, los coeficientes sísmicos (k_v y k_h) son 0, al igual que la fuerza total debida al agua actuando sobre el plano de discontinuidad (U). Es importante resaltar que este cálculo se efectúa para verificar su resultado con el obtenido en la simulación, por lo tanto se realiza con talud seco.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 27. Datos para el cálculo analítico del factor de seguridad de la rotura plana de los taludes.

Talud	C *(kN/m²)*	H (m)	α°	ϕ°	R *(kN/m)*
TB – CE 12	300	9,6	75	35	42,6
TB – CE 23	100	7,29	35	15	31,78
TC – M1	100	9,27	35	15	50,51
TC – M2	100	14,72	35	15	70,15

Resultando:

Tabla 28. Factor de seguridad de rotura plana calculado analíticamente.

Talud	Factor de Seguridad
TB – CE 12	81,32
TB – CE 23	24,66
TC – M1	19,73
TC – M2	21,33

www.bdigital.ula.ve

En la tabla 29 se tienen los factores de seguridad y su estabilidad calculados mediante el software Slide y analíticamente.

Tabla 29. Factores de seguridad para las roturas planas en los taludes.

Talud	Factor de Seguridad, Slide	Factor de Seguridad, Analítico	Estabilidad
TB – CE 12	72,35	81,32	Estable
TB – CE 23	22,05	24,66	Estable
TC – M1	17,58	19,73	Estable
TC – M2	18,83	21,33	Estable

Finalmente, al calcular el factor de seguridad mediante el software Slide y posteriormente al compararlo con el método analítico se puede denotar que los valores obtenidos son altos y no varían en un amplio rango, presentando

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

una condición estable para ambos casos, aportando un grado de confiabilidad al usar cualquiera de los métodos de análisis.

IV.2.3. Simulación y cálculo del factor de seguridad con software Swedge

La rotura en cuña está presente en los cinco taludes que se encuentran en curva a lo largo de la carretera. A través del programa Swedge se obtiene el valor del factor de seguridad y la posible geometría que tiene esta rotura.

En la Figura 47 está representada la geometría de la cuña del talud TB – CE 01 con el color amarillo y en color azul el talud. Se puede observar en diversas perspectivas de acuerdo al ángulo que se quiera visualizar. (Ver Anexo 3, Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6 y Anexo 7, para las figuras de la simulación de los taludes restantes).

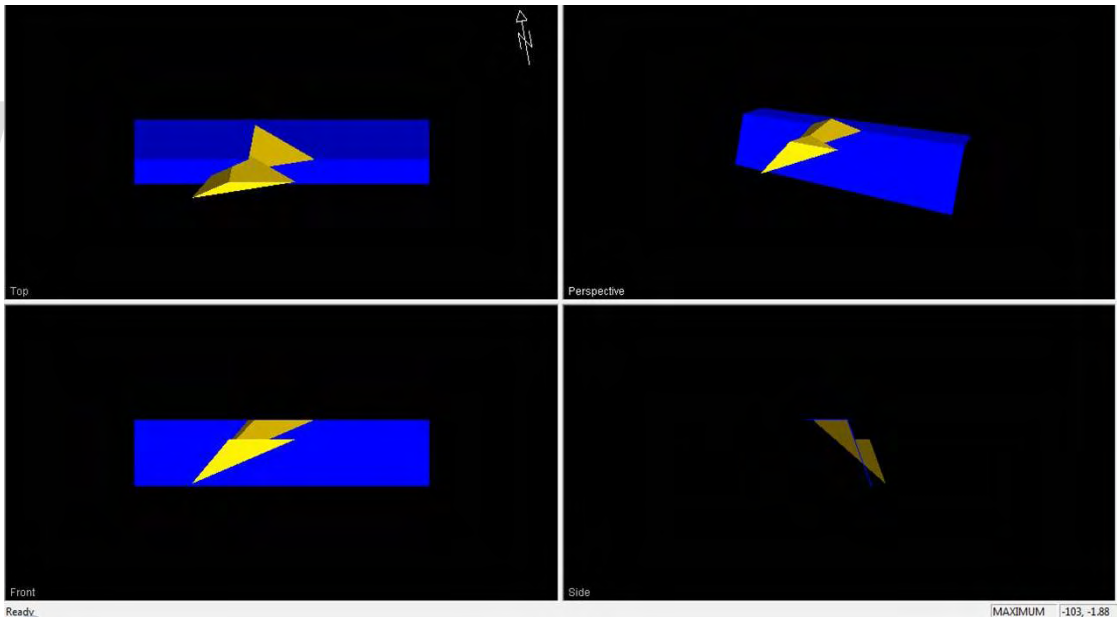


Figura 47. Simulación del talud TB – CE 01 con el software Swedge.

En la Tabla 30 se muestran los valores de los factores de seguridad arrojados por el software Swedge para cada talud:

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 30. Factor de seguridad calculado por el software Swedge.

Talud	Factor de Seguridad, Swedge	Factor de Seguridad, Swedge, con cohesión
TB – CE 01	0,40	1,92
TB – CE 12	0,36	11,38
TB – CE 23 (D2 y D3)	0,24	6,26
TB – CE 23 (D1 y D3)	0,07	3,16
TC – M1	0,18	3,38
TC – M2	0,11	14,36

Al considerar la fuerza de cohesión como cero, se puede observar que disminuye el factor de seguridad, lo cual ocasiona una gran inestabilidad en los taludes estudiados, mientras que al tomar en cuenta los datos obtenidos a partir de la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR), una cohesión de 100 kN/m^2 y un ángulo de fricción interna de 15°, para los taludes TB – CE 01, TB – CE 23, TC – M1 y TC – M2; y para el talud TB – CE 12 una cohesión de 300 kN/m^2 y un ángulo de fricción de 35°, se observa que hay un aumento en el factor de seguridad y en consecuencia son estables.

www.bdigital.ula.ve

IV.2.4. Cálculo analítico del factor de seguridad de rotura en cuña

Para calcular analíticamente el factor de seguridad, se aplica la ecuación (4)**.**, (5)**.**, (6)**.** y (7)**.** (Pág. 32), teniendo en cuenta los siguientes datos, donde no se toma en consideración la cohesión (Ver Tabla 31):

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 31. Datos para el cálculo analítico del factor de seguridad de la rotura en cuña de los taludes.

Talud	Buz. Plano 1 (α1)	Dir. Buz. Plano 1 (Ψ1)	Buz. Plano 2 (α2)	Dir. Buz. Plano 2 (Ψ2)	Áng. De Fricción de Plano 1 (ϕ1) y Plano 2 (ϕ2)
TB – CE 01	34	220	53	291	15
TB – CE 12	70	300	76	220	35
TB – CE 23 (D2 y D3)	65	160	80	50	15
TB – CE 23 (D1 y D3)	75	90	80	50	15
TC – M1	64	257	76	170	15
TC – M2	73	26	87	123	15

Resultando:

www.bdigital.ula.ve

Tabla 32. Factor de seguridad calculado analíticamente.

Talud	Factor de Seguridad
TB – CE 01	0,25
TB – CE 12	0,34
TB – CE 23 (D2 y D3)	0,23
TB – CE 23 (D1 y D3)	0,06
TC – M1	0,18
TC – M2	0,11

Finalmente en la Tabla 33 se tienen los factores de seguridad y su estabilidad calculados mediante el software Swedge y analíticamente:

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 33. Factores de seguridad para las roturas en cuña en los taludes.

Talud	Factor de Seguridad Swedge		Factor de Seguridad, Analítico	Estabilidad (Swedge sin cohesión y analítico)	Estabilidad (Swedge con cohesión)
	Sin cohesión	Con cohesión			
TB – CE 01	0,40	1,92	0,25	Muy Inestable	Estable
TB – CE 12	0,36	11,38	0,34	Muy Inestable	Estable
TB – CE 23 (D2 y D3)	0,24	6,26	0,23	Muy Inestable	Estable
TB – CE 23 (D1 y D3)	0,07	3,16	0,06	Muy Inestable	Estable
TC – M1	0,18	3,38	0,18	Muy Inestable	Estable
TC – M2	0,11	14,36	0,11	Muy Inestable	Estable

www.bdigital.ula.ve

Comparando los factores de seguridad calculados por el método Swedge y el método analítico, se puede denotar que los valores obtenidos en ambos métodos son muy similares, permitiendo validar la utilización de ambos métodos. En el caso de tomar en consideración la cohesión en el software Swedge se observa que el factor de seguridad aumenta considerablemente adquiriendo una condición cinemática estable.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

IV.3. RECOMENDACIÓN DE MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN PARA LOS TALUDES UBICADOS EN CURVA

Tomando en cuenta los resultados obtenidos para cada uno de los taludes, en la Tabla 34 se recomiendan métodos de estabilización conforme a las condiciones y propiedades de cada talud.

Tabla 34. Recomendación de métodos de estabilización propuestos para los taludes ubicados en curva.

Talud	Recomendación de métodos de estabilización
TB – CE 01	Señalización
TB – CE 12	
TB – CE 23	Gunita y drenajes
TC – M1	Hormigón proyectado y drenajes
TC – M2	Anclajes activos, hormigón proyectado y drenajes

www.bdigital.ula.ve

Estas medidas de estabilización están enfocadas con el fin de disminuir los desprendimientos de rocas, aumentar la seguridad del talud frente al tráfico de vehículo, reducir la erosión y meteorización y evitar que el agua de escorrentía afecte al talud. Para el caso de los taludes TB – CE 01 y TB – CE 12 se sugiere colocar señalización que indique desprendimiento de rocas como medida de prevención, mientras que para el talud TB – CE 23 se propone la gunita y drenajes, la cual ayudará a reducir los posibles desprendimientos de rocas con un grado de durabilidad que hace que su mantenimiento sea pequeño, para el talud TC – M1 se recomienda realizar un tratamiento de hormigón proyectado y drenajes, para prevenir la erosión superficial debido al clima o a la escorrentía superficial del agua; y por último para el talud TC – M2 se plantea la elaboración de un sistema de anclajes, un tratamiento ocasional de hormigón proyectado y drenajes, debido a que los bloques a estabilizar presentan grandes dimensiones.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

IV.4. EVALUACIÓN DE PELIGROSIDAD

Para determinar el índice de nivel de peligrosidad se requiere la validación cualitativa y cuantitativa de diversos parámetros. Dentro de los parámetros que requieren un cálculo adicional para ser procesado, está el porcentaje medio por vehículo, tomando en cuenta el número de vehículos que transitan diariamente a lo largo de la vía, durante una hora específica, por una semana, en ambos sentidos, tanto para vía Jají como para vía Mérida, representados estos datos en la Tabla 35, donde finalmente se expresa la totalidad de carros que circulan diariamente. De manera más sencilla, se presentan estos mismos datos en la Figura 48 y Figura 49.

Tabla 35. Cantidad de carros en una hora durante una semana.

Día	Hora (pm)	N° de carros vía Jají	N° de carros vía Mérida	Total de carros
Lunes	12:00 – 1:00	86	37	123
Martes	12:17 – 1:17	166	156	322
Miércoles	12:17 – 1:17	58	49	107
Jueves	12:15 – 1:15	75	51	126
Viernes	12:00 – 1:00	94	87	181
Sábado	12:00 – 1:00	52	107	159
Domingo	12:24 – 1:24	149	106	255

www.bdigital.ula.ve

Posteriormente se calcula la media del total de carros diarios, obteniendo un valor de 181,86 carros, lo que representa la intensidad media diaria (IMD). Para la longitud de recorrido se divide en tres tramos, los cuales se asignan de acuerdo a la ubicación y cercanía de los taludes y estableciendo el límite de velocidad con la ayuda del velocímetro de un vehículo. (Ver Tabla 36)

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 36. Longitud de recorrido y límite de velocidad para cada tramo.

Tramo	Longitud de recorrido (Km)	Límite de Velocidad (km/h)	Taludes
1	2,13	60	TB – CE 01
2	4,23	60	TB – CE 11 TB – CE 12 TB – CE 21 TB – CE 22 TB – CE 23
3	5,83	45	TC – M1 TC – M2 TD – M1 TD – M2

www.bdigital.ula.ve

Finalmente, por medio de la ecuación (8) (Pág. 38), se calcula el riesgo medio por vehículo para el tramo 1:

$$RMV = \frac{181{,}86\left(\frac{veh}{día}\right) * 2{,}13(km) * 100\%}{60\left(\frac{km}{h}\right) * \left(\frac{24h}{día}\right)} = 26{,}90\ \%$$

Este valor varía de acuerdo al tramo y límite de velocidad establecido anteriormente.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

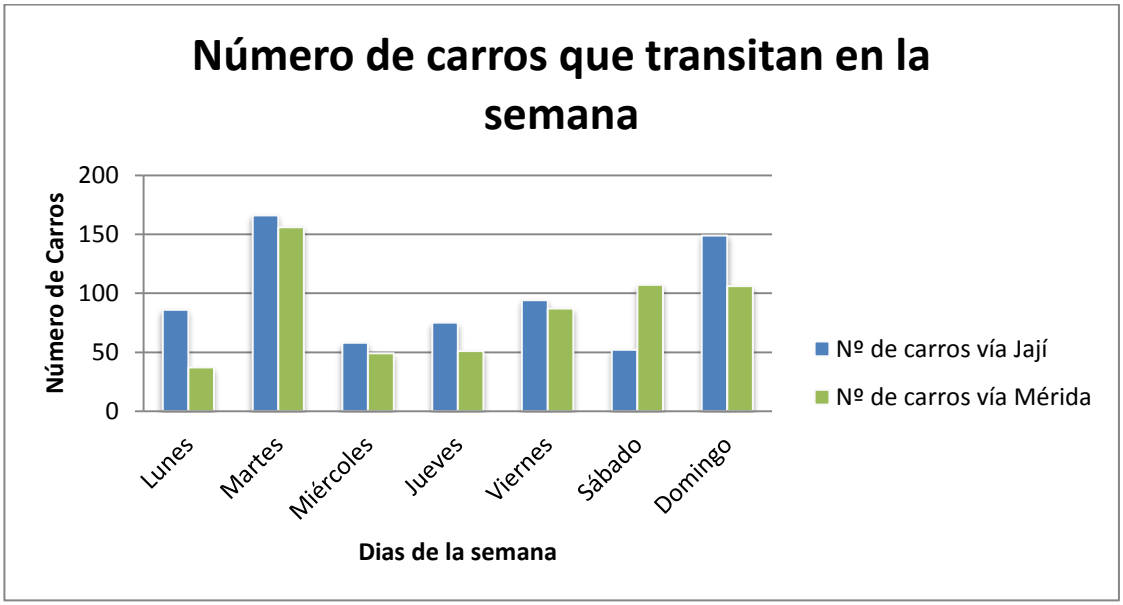


Figura 48. Gráfico para la cantidad de carros según el sentido de circulación versus el día de la semana.

www.bdigital.ula.ve

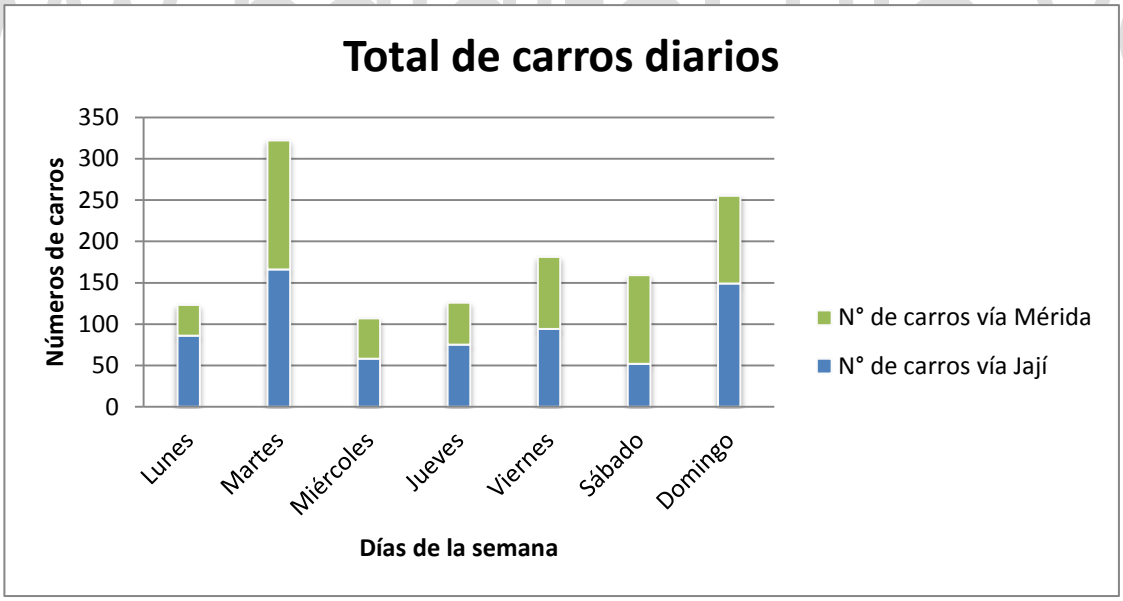


Figura 49. Gráfico para el total de carros diaria versus los días de la semana.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Otro parámetro a calcular es el porcentaje de la distancia de visibilidad, la cual se determina utilizando la ecuación (9). (Pág. 40), donde la distancia de visibilidad se mide en ambos sentidos de la vía y siendo la longitud del tramo la suma de ambas distancias medidas.

$$\%Visibilidad = \frac{50\ (m)}{107\ (m)} * 100\% = 46{,}73\ \%$$ Vía Jají

$$\%Visibilidad = \frac{57\ (m)}{107\ (m)} * 100\% = 53{,}27\ \%$$ Vía Mérida

Tomando para la evaluación, la valoración más desfavorable.

En la Tabla 37, se muestran todos los parámetros observados y medidos en campo junto a la valoración correspondiente para el talud TB – CE 01. (Ver Anexo 8, Anexo 9, Anexo 10, Anexo 11, Anexo 12, Anexo 13, Anexo 14, Anexo 15 y Anexo 16 para los parámetros de los taludes restantes).

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Tabla 37. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al talud TB – CE 01.

PARÁMETROS PARA PELIGROSIDAD		Mediciones	Valoración
Altura talud		10,80 m	10
Cuneta		Buena	5
Riesgo medio por vehículos		26,90	5
Visibilidad	Vía Jají	Limitada (50 m)	30
	Vía Mérida	Limitada (53 m)	30
Ancho calzada		7,77 m	30
Características geológicas	Estructural (caso 1)	Diaclasas discontinuas, orientación aleatoria	10
	Fricción o rugosidad (caso 1)	Planar	30
	Estructural (caso 2)	Mucha erosión	30
	Erosión (caso 2)	Amplia diferencia	30
Tamaño del bloque		0,12 m	5
Clima y agua		Precipitación de baja a moderada, sin presencia de agua	5
Historia desprendimientos		Pocos	5

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Finalmente, para obtener el porcentaje de índice de peligrosidad se utiliza la ecuación (10)**.** (Pág.48), obteniéndose para el talud TB – CE 01, un valor de 21,67 %, lo cual corresponde a un nivel de peligrosidad 1, siendo de poca peligrosidad y de prioridad de actuación muy baja.

En la Tabla 38 se resume la evaluación del nivel de peligrosidad de la zona de interés, pudiéndose observar el índice, la peligrosidad y la prioridad de actuación para cada talud.

Tabla 38. Evaluación de la peligrosidad potencial de desprendimiento de rocas para la zona comprendida entre el sector Manzano Alto – Las Cruces, estado Mérida.

Talud	Nivel	Índice (%)	Peligrosidad	Prioridad de actuación
TB – CE 01	1	21,67	Poco peligrosa	Muy baja
TB – CE 11	1	16,67	Poco peligrosa	Muy baja
TB – CE 12	1	19,00	Poco peligrosa	Muy baja
TB – CE 21	1	28,00	Poco peligrosa	Muy baja
TB – CE 22	1	32,00	Poco peligrosa	Muy baja
TB – CE 23	2	42,33	Peligrosa	Alta
TC – M1	2	37,67	Peligrosa	Alta
TC – M2	2	42,67	Peligrosa	Alta
TD – M1	2	37,33	Peligrosa	Alta
TD – M2	1	32,33	Poco peligrosa	Muy baja

www.bdigital.ula.ve

IV.5. REPRESENTACIÓN DEL NIVEL DE PELIGROSIDAD POR MEDIO DE UN MAPA

Los niveles de peligrosidad están representados en un mapa a escala 1:50.000 (Ver Anexo 17). En la elaboración del mapa se utiliza como base el mapa topográfico del área en estudio y el trabajo de campo, el cual contiene información de vialidad, factores antrópicos y curvas de nivel.

Finalmente, en el mapa generado a partir del nivel de peligrosidad se puede observar únicamente dos niveles, donde la prioridad de actuación alta

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

se encuentra principalmente en los taludes ubicados en las zonas de Las Cruces y La Chorrera, mientras que la prioridad de actuación baja se presenta en los taludes ubicados en el sector del Manzano Alto y Loma de Los Ángeles.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1. Conclusiones

- La recopilación de información realizada en cada una de las tesis acerca del área de estudio, permitió adquirir información cartográfica, unidades geológicas aflorantes en la zona, y los datos obtenidos a partir de la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR).

- El análisis cinemático se realizó en cinco taludes ubicados en curva a lo largo de la carretera, presentando dos tipos de rotura, plana y en cuña.

- El factor de seguridad para rotura plana mediante el software Slide y por el método analítico presentó valores altos donde se observa poca variación, al tomar en cuenta la saturación de agua y la sismicidad en los taludes, los valores disminuyen, sin embargo siguen siendo altos, no afectando la estabilidad del talud.

- A través del software Swedge se calculó el factor de seguridad, obteniendo que cuando la cohesión es nula, los resultados son bajos indicando una condición muy inestable, mientras que al tomar en cuenta la cohesión tomada según Bieniawski, los valores aumentan considerablemente, cambiando la condición de los taludes a estable.

- Comprobando los factores de seguridad arrojados mediante el software Swedge considerando la cohesión nula, y el método analítico, se obtiene valores muy similares, permitiendo validar la información obtenida a través de ambos métodos.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

- Comparando todos los resultados de los factores de seguridad, se obtiene que el talud más inestable es el TB – CE 23 ya que es el que presenta mayor número de roturas con valores más bajos en los factores de seguridad.

- A partir de la metodología de Roberto Fonseca se determina el nivel de peligrosidad para cada uno de los taludes ubicados en la zona de estudio, donde los taludes TB – CE 01, TB – CE 11, TB – CE 12, TB – CE 21, TB – CE 22 y TD – M2 son pocos peligrosos, con un requerimiento de prioridad de actuación muy baja; mientras que para los taludes TB – CE 23, TC – M1, TC – M2 y TD – M1, son peligrosos, por lo tanto tiene una prioridad de actuación alta.

- En el mapa generado se representa el nivel de peligrosidad obtenido de la metodología de Fonseca, donde principalmente la prioridad de actuación baja abarca mayor zona, mientras que la prioridad de actuación alta, se encuentra en su mayoría en los taludes ubicados en curva.

www.bdigital.ula.ve

V.2. Recomendaciones

- Modificar la geometría de los taludes TC – M1, TC – M2 y TD – M2 de tal manera que en caso de algún desprendimiento de roca, la vía no se vea afectada, ya que el ancho de la calzada son muy angostas.

- Emplear medidas de mantenimiento en las cunetas a lo largo de la vía, para que en el momento en que pueda ocurrir algún desprendimiento de roca, estás tengan buena recepción de los bloques y no afecten a la calzada ni al libre tránsito.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

- Realizar una modificación a la metodología aplicada por Roberto Fonseca, debido a que el método tiende a confundir riesgo con peligrosidad, ya que tiene como principal objetivo la evaluación del riesgo potencial de desprendimientos de rocas y al realizar una evaluación a partir de los parámetros señalados en la misma, se obtiene son los niveles de peligrosidad y prioridad de actuación en los taludes. Así mismo, es necesario realizar la modificación de la fórmula de distancia de visibilidad.

- Recopilar toda la información de los trabajos realizados en el área de estudio, para posteriormente construir un mapa geotécnico más detallado de la zona.

- Utilizar medidas de estabilización como gunita, anclajes, hormigón proyectado y drenajes, para disminuir la presencia de bloques inestables en los taludes.

www.bdigital.ula.ve

- Colocar señalización a lo largo de la vía, que indique desprendimientos de rocas.

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bañón B, L., & Beviá G, J. F. (2000). *Manual de carreteras* (Vol. II: construcción y mantenimiento). Alicante: Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.

Belandria, N., Ucar, R., & Bongiorno, F. (2011). Determinación de expresiones matemáticas para el cálculo de los esfuerzos aplicados a la estabilidad de taludes. *Ciencia e Ingeniería, Facultad de Ingeniería. ULA.*, Vol. 32, No.3, pp.115-122.

Bongiorno, F., Molina, G., Belandria, N., & Rivero, R. (2011). Estudio de las propiedades geomecánicas de los taludes ubicados entre los Guáimaros y Mesa de los Indios, Mérida, Venezuela. *Geominas, Universidad de Oriente*, vol. 39 Nº 56 , 135-142.

Bongiorno, F., Monsalve, Z., Belandria, N., & Montilla, N. (2010). Evaluación geotécnica del Río Topo, autopista Caracas - La Guaira, Venezuela. *Ciencia e Ingeniería, Facultad de Ingeniería. ULA.*, Vol 31, Nº 1 , 25-32.

Contreras, I., & Fernández, E. (2013). *Determinación de la estabilidad e identificación del nivel de riesgo en taludes comprendidos en el sector Vuelta de Lola - El Peñón, Estado Mérida, Venezuela.* Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.

Corporación de Los Andes. (2011). *Corpoandes.* Recuperado el 13 de Octubre de 2014, de http://www.corpoandes.gov.ve/files/imagenes/file/descargas/gerencia_informacion/Dossier%202011/Merida/Campo-Elias2011.pdf

Earth, G. (Noviembre de 2014). Imágen Satelital.

Fonseca, R. R. (2010). Analysis of rockfall hazards. En E. Hoek, *Practical rock engineering* (págs. 142-166). North Vancouver, Canada.

Fonseca, R., Raïmat, C., & Caba, J. (2010). Aplicación de membranas flexibles para la prevención de riesgos naturales. En R. J. FONSECA,

www.bdigital.ula.ve
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Evaluación del riesgo potencial de desprendimientos de rocas (págs. 205-220). Madrid: Geobrugg Ibérica S,A.

García J, R. (1976). *Guía de la excursión N° 1 – Cordillera de Los Andes.* (Vol. I). (S. c. Geología, Ed.) Caracas, Venezuela: Sucre.

González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., & Picard Cadillat, X. (1980). *Geología de venezuela y de sus cuencas petroliferas.* Caracas: Ediciones Foninves.

González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica.* Madrid: Pearson Educación.

Google Earth. (10 de Julio de 2013). Recuperado el 27 de Octubre de 2014, de http://www.google.com/earth/

Hernández, J., & Quintero, J. (2012). *Estudio geológico - geotécnico de los deslizamientos en masas localizados en la carretera Ejido - Jají entre el sector El Salado Alto y el sector El Portachuelo, en el Municipio Campo Elías, estado Mérida.* Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.

Instituto Geográfico de Venezuela, S. B. (ca. 2000). *La Venciclopedia*. Recuperado el Noviembre de 2014, de http://venciclopedia.com/images/1/1c/Mapa_politico_Venezuela.png

La Marca, E. (1997). *Origen y evolución geológica de la Cordillera de Mérida (Andes de Venezuela).* (Primera ed.). Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes. Cuadernos de la Escuela de Geografía.

Méndez, Y. (2011). *Caracterización y evaluación geológica - geotécnica de las unidades de relieve localizadas dentro de la poligonal urbana del Municipio Campo Elías, Mérida.* Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.

O'Neill, R., & Castillo, F. (2013). *Estudio geotecnico - estructural de los taludes ubicados entre el sector El Portachuelo y La Chorrera, vía Jají, Municipio campo Elías, Estado Mérida.* Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Orozco R, J. D. (2004-2013). *Mérida Preciosa*. Recuperado el Noviembre de 2014, de http://www.meridapreciosa.com/mapa.htm

Riveros, F. (2013). *Estudio geológico y geotécnico de los taludes aplicando el método de quilibrio límite en el secor "Las Cruces", vía Mérida - Jají, estado Mérida.* Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.

Rocscience. (05 de Diciembre de 2014). *Rocsciense. Software tools for rock and soil*. Obtenido de Rocscience Inc.: https://www.rocscience.com/products

Shagam, R. (1972). *Geología de Los Andes centrales de Venezuela.* (4th ed., Vol. 2). (C. G. Venezolano, Ed.) Caracas: Ediciones Publisher unknown.

Suárez D, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales.* Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

Suárez D, J. (2009). *Deslizamientos* (Vol. II: Técnicas de Remediación). Bucaramanga, Colombia: U.I.S. Escuela de filosofía.

Suárez D, J. (2009). *Deslizamientos* (Vol. I: Análisis Geotécnico). Bucaramanga, Colombia: U.I.S. Escuela de filosofía.

Úcar, R. (2002). Capitulo III. Diseño de anclajes para la estabilización de taludes rocosos en tres dimensiones. En R. Úcar, *Manual de Anclajes en Obras de Tierras.* Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.

Úcar, R. (2004). *Análisis de la estabilidad y del soporte mediante anclajes en taludes rocosos considerando rotura planar.* Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.

Vivas, L. (1992). *Los Andes Venezolanos.* Caracas: Academia nacional de la historia.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

ANEXOS

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 1. Ubicación y descripción litológica de los macizos rocosos

Macizo Rocoso	Coordenadas		Unidad Geológica	Descripción Litológica	Descripción en Campo
	E	N			
TB - CE01	255.888	948.436	Fm. Sabaneta	Metaconglomerados de color violeta en roca fresca. Se observan fragmentos angulares de cuarzo, pizarras y filitas, que meteorizan a tonalidades color marrón	
TB - CE11	253.231	949.238	Fm. La Quinta	Arenisca conglomerática de color ladrillo en la que se observan clastos de cuarzo	
TB - CE12	252.942	949.667	Fm. La Quinta	Conglomerado de color rojo ladrillo en roca fresca, moderadamente meteorizado	
TB - CE21	251.857	949.476	Fm. Aguardiente	Areniscas cuarzosas de grano fino y lutitas grises micáceas	
TB - CE22	251.999	949.368	Fm. Capacho	Lutitas negras no calcáreas, muy fracturadas	
TB - CE23	252.043	949.337	Fm. La Luna	Calizas laminares con intercalaciones de lutitas y algunas ftanitas	
TC - M1	247.046	949.712	Asoc. Tostós	Esquistos de color gris verdoso, su alto brillo y exfoliación indican un bajo metamorfismo	
TC - M2	246.667	949.473	Fm. Aguardiente	Areniscas cuarzosas muy compactas y presencia de una peq. capa de lutitas aprox. 20 cm	
TD - M1	244.694	948.478	Fm. Capacho	Calizas duras fosilíferas de color gris claro	
TD - M2	244.472	948.498	Fm. La Luna	Calizas finamente laminadas de color gris oscuro a negro, con capas delgadamente estratificadas	

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

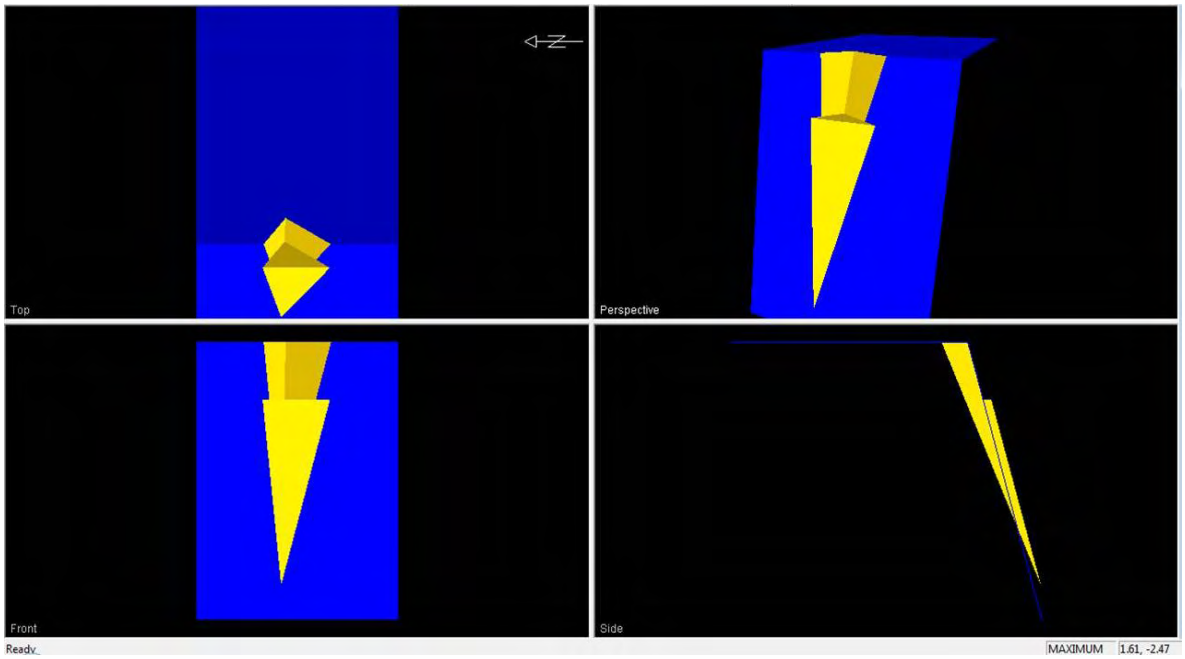
Anexo 2. Parámetros necesarios para la evaluación del nivel de peligrosidad mediante la Metodología de Fonseca

Fecha:			
Talud:			
Coordenadas:		**N:**	**E:**
Rumbo/Buzamiento del Talud			
Parámetros a evaluar		**Medición**	**Valoración**
Altura del Talud			
Efectividad de la cuneta			
Presencia de vehículos en el área			
Distancia de visibilidad	**Distancia Ida**		
	Distancia Vuelta		
Ancho de la calzada			
Características geológicas	**Estructural (Caso 1)**		
	Fricción o rugosidad (Caso 1)		
	Estructural (Caso 2)		
	Erosión (Caso 2)		
Tamaño de bloque			
Condiciones climáticas			
Historia de los desprendimientos			

www.bdigital.ula.ve

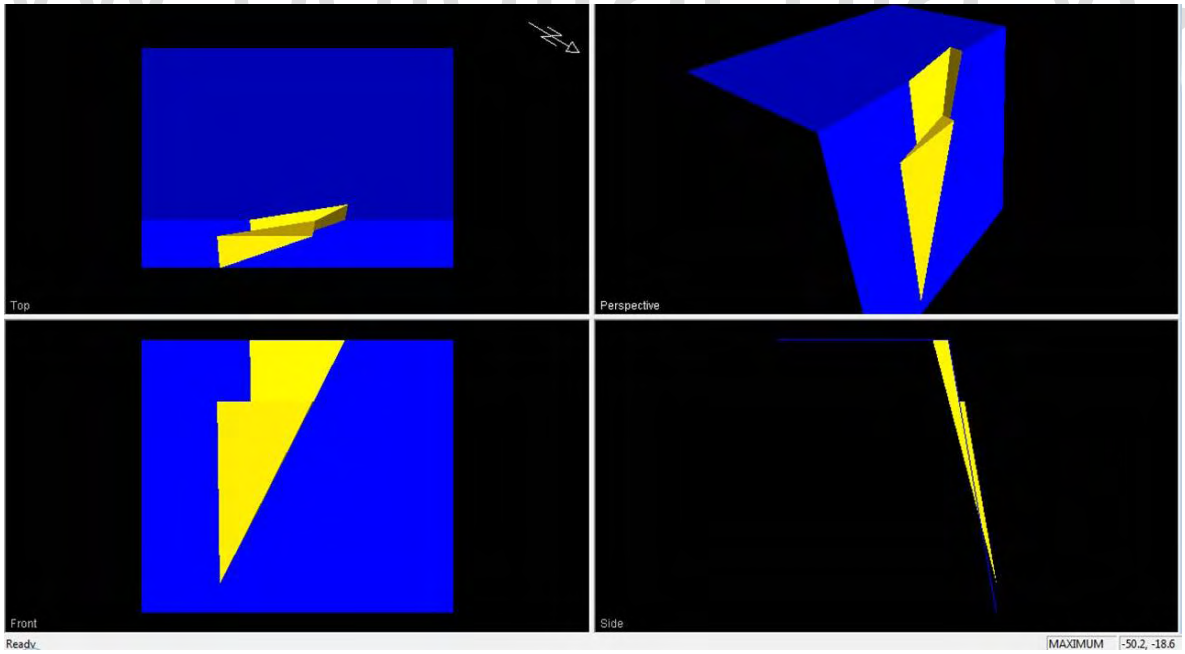
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 3. Simulación del talud TB – CE 12 con el software Swedge.



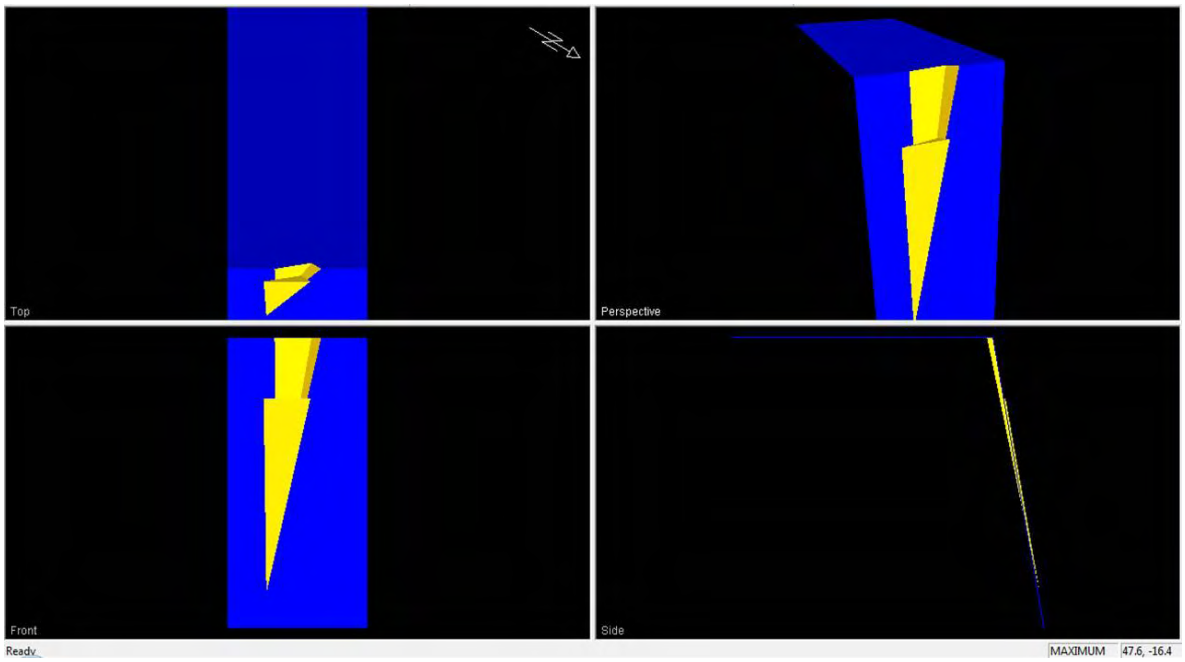
www.bdigital.ula.ve

Anexo 4. Simulación del talud TB – CE 23 con el software Swedge, cuña entre D2 y D3.



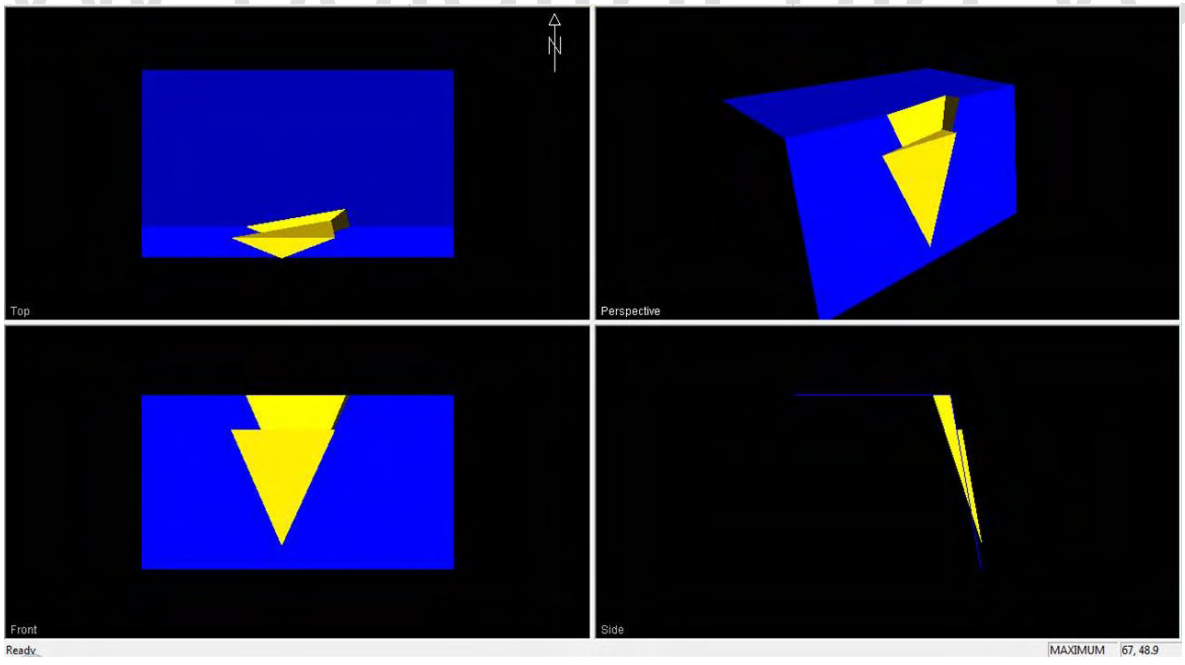
Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 5. Simulación del talud TB – CE 23 con el software Swedge, cuña entre D1 y D3.



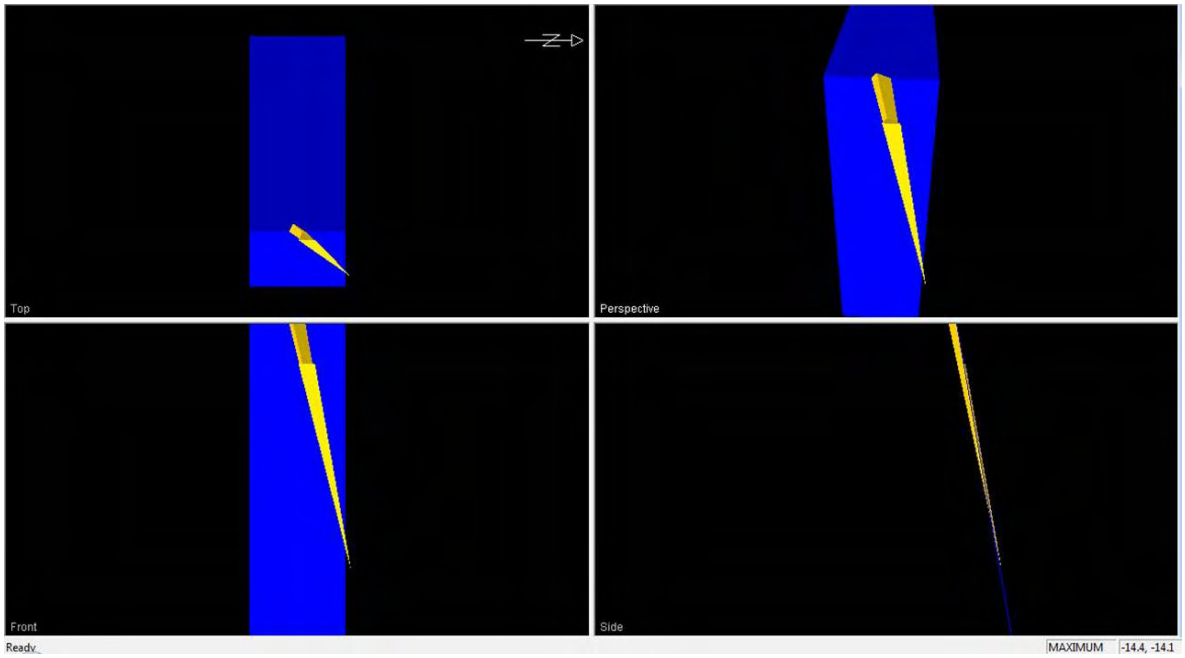
www.bdigital.ula.ve

Anexo 6. Simulación del talud TC - M1 con el software Swedge.



Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 7. Simulación del talud TC - M2 con el software Swedge.



www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 8. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TB – CE 11.

PARÁMETROS PARA PELIGROSIDAD		Mediciones	Valoración
Altura talud		6 m	5
Cuneta		Buena	5
Riesgo medio por vehículos		53,42	10
Visibilidad	Vía Jají	Limitada (125 m)	30
	Vía Mérida	Limitada (133 m)	30
Ancho calzada		6,35 m	80
Características geológicas	Estructural (caso 1)	Diaclasas discontinuas, orientación favorable	5
	Fricción o rugosidad (caso 1)	Rugosa, irregular	5
	Estructural (caso 2)	Erosión ocasional	10
	Erosión (caso 2)	Diferencia moderada	10
Tamaño del bloque		0,15 m	5
Clima y agua		Precipitación de baja a moderada, sin presencia de agua	5
Historia desprendimientos		Pocos	5

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 9. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TB – CE 12.

PARÁMETROS PARA PELIGROSIDAD		Mediciones	Valoración
Altura talud		6,41 m	5
Cuneta		Buena	5
Riesgo medio por vehículos		53,42	10
Visibilidad	Vía Jají	Muy Limitada (50 m)	80
	Vía Mérida	Moderada (197 m)	10
Ancho calzada		7,10 m	30
Características geológicas	Estructural (caso 1)	Diaclasas discontinuas, orientación favorable	5
	Fricción o rugosidad (caso 1)	Ondulada	10
	Estructural (caso 2)	Erosión ocasional	10
	Erosión (caso 2)	Pequeña diferencia	5
Tamaño del bloque		0,20 m	5
Clima y agua		Precipitación de baja a moderada, sin presencia de agua	5
Historia desprendimientos		Pocos	5

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 10. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TB – CE 21.

PARÁMETROS PARA PELIGROSIDAD		Mediciones	Valoración
Altura talud		3,43 m	5
Cuneta		Buena	5
Riesgo medio por vehículos		53,42	10
Visibilidad	Vía Jají	Moderada (133,35 m)	10
	Vía Mérida	Muy Limitada (63,30 m)	80
Ancho calzada		6,46 m	80
Características geológicas	Estructural (caso 1)	Diaclasas discontinuas, orientación aleatoria	10
	Fricción o rugosidad (caso 1)	Rugosa, irregular	5
	Estructural (caso 2)	Mucha erosión	30
	Erosión (caso 2)	Diferencia moderada	10
Tamaño del bloque		0,18 m	5
Clima y agua		Precipitación moderada o presencia de agua intermitente en el talud	10
Historia desprendimientos		Pocos	5

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 11. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TB – CE 22.

PARÁMETROS PARA PELIGROSIDAD		Mediciones	Valoración
Altura talud		3,10 m	5
Cuneta		Buena	5
Riesgo medio por vehículos		53,42	10
Visibilidad	Vía Jají	Moderada (109,30 m)	10
	Vía Mérida	Muy Limitada (50,60 m)	80
Ancho calzada		6,62 m	80
Características geológicas	Estructural (caso 1)	Diaclasas discontinuas, orientación aleatoria	10
	Fricción o rugosidad (caso 1)	Planar	30
	Estructural (caso 2)	Mucha erosión	30
	Erosión (caso 2)	Amplia diferencia	30
Tamaño del bloque		0,05 m	5
Clima y agua		Precipitación moderada o presencia de agua intermitente en el talud	10
Historia desprendimientos		Pocos	5

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 12. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TB – CE 23.

PARÁMETROS PARA PELIGROSIDAD		Mediciones	Valoración
Altura talud		5,28 m	5
Cuneta		Buena	5
Riesgo medio por vehículos		53,42	10
Visibilidad	Vía Jají	Muy Limitada (31 m)	80
	Vía Mérida	Moderada (80 m)	10
Ancho calzada		7 m	30
Características geológicas	Estructural (caso 1)	Diaclasas discontinuas, orientación desfavorable	30
	Fricción o rugosidad (caso 1)	Ondulada	10
	Estructural (caso 2)	Erosión severa	80
	Erosión (caso 2)	Amplia diferencia	30
Tamaño del bloque		0,9 m	30
Clima y agua		Precipitación moderada o presencia de agua intermitente en el talud	10
Historia desprendimientos		Ocasionales	10

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 13. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TC – M1.

PARÁMETROS PARA PELIGROSIDAD		Mediciones	Valoración
Altura talud		6,53 m	5
Cuneta		No	80
Riesgo medio por vehículos		98,17	80
Visibilidad	Vía Jají	Moderada (100 m)	10
	Vía Mérida	Muy Limitada (31 m)	80
Ancho calzada		3,80 m	80
Características geológicas	Estructural (caso 1)	Diaclasas discontinuas, orientación aleatoria	10
	Fricción o rugosidad (caso 1)	Planar	30
	Estructural (caso 2)	Erosión ocasional	10
	Erosión (caso 2)	Amplia diferencia	30
Tamaño del bloque		0,15 m	5
Clima y agua		Precipitación moderada o presencia de agua intermitente en el talud	10
Historia desprendimientos		Pocos	5

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 14. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TC – M2.

PARÁMETROS PARA PELIGROSIDAD		Mediciones	Valoración
Altura talud		13 m	10
Cuneta		No	80
Riesgo medio por vehículos		98,17	80
Visibilidad	Vía Jají	Moderada (73 m)	10
	Vía Mérida	Muy Limitada (39,50 m)	80
Ancho calzada		6,20 m	80
Características geológicas	Estructural (caso 1)	Diaclasas discontinuas, orientación desfavorable	30
	Fricción o rugosidad (caso 1)	Rugosa, irregular	5
	Estructural (caso 2)	Mucha erosión	30
	Erosión (caso 2)	Amplia diferencia	30
Tamaño del bloque		0,3 m	5
Clima y agua		Precipitación moderada o presencia de agua intermitente en el talud	10
Historia desprendimientos		Ocasionales	10

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 15. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TD – M1.

PARÁMETROS PARA PELIGROSIDAD		Mediciones	Valoración
Altura talud		10 m	5
Cuneta		Limitada	30
Riesgo medio por vehículos		98,17	80
Visibilidad	Vía Jají	Limitada (96 m)	30
	Vía Mérida	Limitada (81 m)	30
Ancho calzada		5,10 m	80
Características geológicas	Estructural (caso 1)	Diaclasas continuas, orientación desfavorables	80
	Fricción o rugosidad (caso 1)	Rugosa irregular	5
	Estructural (caso 2)	Mucha erosión	30
	Erosión (caso 2)	Diferencia moderada	10
Tamaño del bloque		0,6 m	10
Clima y agua		Precipitación moderada o presencia de agua intermitente en el talud	10
Historia desprendimientos		Pocos	5

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 16. Medición y valoración de los parámetros necesarios para la clasificación de Fonseca correspondientes al TD – M2.

PARÁMETROS PARA PELIGROSIDAD		Mediciones	Valoración
Altura talud		6 m	5
Cuneta		Moderada	10
Riesgo medio por vehículos		98,17	80
Visibilidad	Vía Jají	Muy Limitada (60 m)	80
	Vía Mérida	Moderada (148 m)	10
Ancho calzada		5,30 m	80
Características geológicas	Estructural (caso 1)	Diaclasas discontinuas, orientación desfavorable	30
	Fricción o rugosidad (caso 1)	Rugosa, irregular	5
	Estructural (caso 2)	Erosión ocasional	10
	Erosión (caso 2)	Diferencia moderada	10
Tamaño del bloque		0,3 m	5
Clima y agua		Precipitación moderada o presencia de agua intermitente en el talud	10
Historia desprendimientos		Ocasionales	10

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual

Anexo 17. Mapa del nivel de peligrosidad para el área comprendida entre el sector Manzano Alto – Las Cruces, estado Mérida.

www.bdigital.ula.ve

Reconocimiento-No comercial-Compartir igual