



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**PROPUESTA DE ESTUDIO GEOTÉCNICO DE UN
MACIZO ROCOSO Y SU TALUD FRONTAL PARA
EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTENCION EN
EL CERRO SENDERO COLINAS DE GUATAPARO
AL NOROESTE DE LA AV. CUATRICENTENARIA
EN VALENCIA _EDO.CARABOBO**

Autor:
Rojas A. Luisa del Valle

Urb. Yuma II, calle No 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROPUESTA DE ESTUDIO GEOTÉCNICO DE UN
MACIZO ROCOSO Y SU TALUD FRONTAL PARA
EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTENCION EN
EL CERRO SENDERO COLINAS DE GUATAPARO
AL NOROESTE DE LA AV. CUATRICENTENARIA
EN VALENCIA _EDO.CARABOBO**

Proyecto del Trabajo de Grado presentado para optar al título de
INGENIERO CIVIL

Autora: Rojas A. Luisa del Valle
C.I.:9.883.967

Tutor: Ing. José Rodríguez
C.I.: 5.279.113

San Diego, julio 2022



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA ☐

TRABAJO DE GRADO ☒

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA CIVIL para la
evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:
PROPUESTA DE ESTUDIO GEOTÉCNICO DE UN PASEO PEZOSO
Y SUTALUD FRONTAL PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE
CONTENCIÓN EN EL CERRO SENDERO COLINAS DE GOLFARDO
EN LA AV. CUATRICONTENARIA AL HORCOSTE DE VALENCA -
EDO. CARABOBO

Realizado por el (la) Br. Juana del Valle Rojas Alvarado

C.I. N° 3883367 cursante de la carrera de Ing. Civil

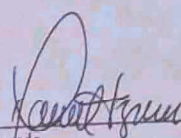
hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral,
considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

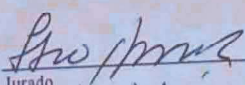
APROBADO ☒

NO APROBADO ☐

El Jurado


Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Jose Paduguez
C.I.: 5279113


Jurado
Nombre: Hansel Fourn
C.I.: 17315176


Jurado
Nombre: José Paduguez
C.I.: 15.148.806

Fecha: 14 / 03 / 2022





REPÚBLICA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN PÚBLICA
DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, Ing. José Rodríguez O., portador de la cedula de identidad N°: 5279113, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por la ciudadana: Luisa del Valle Rojas Alvarado, portadora de la cedula de identidad N°: 9883967, titulado: **"PROPUESTA DE ESTUDIO GEOTÉCNICO DE UN MACIZO ROCOSO Y SU TALUD FRONTAL PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTENCIÓN EN EL CERRO SENDERO COLINAS DE GUATAPARO AL NOROESTE DE LA AV. CUATRICENTENARIA EN VALENCIA-EDO.CARABOBO"**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los diez (10) días del mes de julio del año dos mil veintidós.

Ing. José Rodríguez O.
C.I: 5279113

UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DECANATO DE INGENIERÍA



FI L 008 2022-ICR TG

Valencia, 27 de abril de 2022

Ciudadana:
ROJAS ALVARADO, LUISA DEL VALLE
9.883.967

Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 2-2022 de fecha 15/02/2022 aprobó el proyecto de grado titulado:

Propuesta de estudio geotécnico de un macizo rocoso y su talud frontal para el diseño de un sistema de contención en el cerro Sendero Colinas de Guataparo al noreste de la Av. Cuatricentenaria - Valencia, Edo. Carabobo.

Presentado por usted como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Se ratifica la designación del Tutor Académico que la asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. José Alberto Rodríguez Oporto, titular de la cédula de identidad V- 5.279.113



Atentamente

Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.
Decano de Ingeniería

c.e. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado

DEDICATORIA

*A tí, Señor Jesucristo mi único Salvador
por estar siempre a mi lado
para tí sea toda Gloria, Honor y Honra.*

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, al Dios Padre, Dios Espíritu por su inmensurable gracia, favor y fidelidad durante estos 10 años que me tomo realizar esta carrera.

Mi más sincero reconocimiento a ti, amigo Luis Felipe por tu nobleza y filantropía.

Indudablemente debo agradecer a esta, nuestra insigne casa de estudios la Universidad José Antonio Páez por darme la gran oportunidad de cumplir este anhelado sueño.

No puedo dejar de mencionar a Iraida del Valle, amiga, por ser quien coloco la primera piedra para que este sueño iniciara en el año 2012.

Expresamente a las instituciones privadas: Oficina Técnica Heredia, CA; Ingeroca CA, Policlínico La Viña y al Condominio Mirador Country por su colaboración en el suministro de información técnica vital para esta Tesis.

También tengo que expresar mi gratitud a la Asociación Civil Genesis, mi gran familia de la Fe, por su apoyo incondicional en este largo viaje. (María², Alba, Claudia, C. Augusto, Manuel, Rogelio, Mirleni y Giovanni Rodríguez).

Mas que agradecida a ustedes, mis apreciados y respetables profesores por su profesionalismo al impartir sus conocimientos, su experiencia laboral que tanto me enriquecieron como estudiante, solidaridad, calidad, mentoría y excelencia docente.

Al Ing. Geólogo Luis de la Cruz quien de manera desprendida se aboco a instruirme desde el primer día, sin límites de horario, ni de consultas por muy sencillas que estas fueran a pesar de la diferencia en los husos horarios: (EEUU-Venezuela).

Al Ing. José O. Rodríguez por su solidaridad total, inigualable al aceptar ser mi Tutor Académico a última hora para TG2.

A ustedes, mis compañeros de clases por su solidaridad y paciencia en los últimos años de la carrera: Azuaje*, Milanés*, Cuenca, Romero, Joanli, Jokeylis, Marianny, Ari, Mayerling*, Carol, Ma. Gabriela, Danna, Edra y Ruddy* (mis ángeles).

A mis recordados, queridos excompañeros con quienes inicie este proyecto de vida hace 35 años en la ciudad de Puerto La Cruz: Euris, Tirso, Carlos, Figueredo, Atilio, Néstor, Kandrid, Kiko, Gabriel y Regis; que siempre me animaron a terminarlo.

A ustedes, hijos: **Jhonny, Moisés, Obed y Genesis** por existir en mi vida.

A mis mentoras de la Fe: Carrasquilla, Marcano y Salomón por sostener mis brazos.

INDICE

	pp.
INDICE DE CUADROS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
INDICE DE GRAFICOS.....	xvi
INDICE DE TABLAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
INTRODUCCION.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	7
1.3 Objetivos de la Investigación.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Justificación.....	7
1.5 Alcance.....	8
1.6 Delimitación.....	9
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes	10
2.1.1 Investigaciones Nacionales.....	10
2.1.2 Investigaciones Internacionales	12
2.2 Bases Teóricas.....	14
2.2.1. Geotecnia.....	14
2.2.2. Mejora de la estabilidad de un talud.....	14
2.2.3. Estudio geotécnico.....	14
2.2.4. Matriz rocosa	15
2.2.5. Macizo rocoso, caracterización.....	17
2.2.6. Talud, pendiente, falla y partes.....	20
2.2.7. Discontinuidades (diaclasas), clasificación y tipos.....	22
2.2.8. Rotura y deslizamientos de rocas.....	25
2.2.9. Factor de seguridad.....	26
2.2.10 Riesgo geológico	27
2.2.11 Cordillera de la costa.....	28
2.2.12 Método de Hoek & Brown.....	32
2.2.13 Método GSI.....	44
2.2.14 Software RocLab de Rocscience.....	47
2.2.15 Sistema de contención rígido.....	50
2.2.15.1 Muros anclados o pantallas atirantadas.....	50

	2.2.15.2 Geo mantas.....	53
	2.2.15.3 Muros mixtos: pantalla y geo manta....	53
	2.3 Bases Legales	56
	2.4 Definición de Términos Básicos.....	58
III	MARCO METODOLÓGICO	
	3.1. Tipo de investigación	61
	3.2. Diseño de investigación	61
	3.3. Nivel de la investigación.....	62
	3.4. Población y muestra.....	62
	3.5. Técnicas e instrumentos de recolección	63
	3.6. Técnicas de análisis de datos	64
	3.7. Fases metodológicas.....	65
IV	RESULTADOS.....	66
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	95
	ANEXOS.....	98

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO

1. Descripción de la matriz rocosa.....	17
2. Clasificación de las Discontinuidades (diaclasas).....	23
3. Guía de aplicabilidad del método o de H & B en macizos	41
4. Parámetros del GSI por las descripciones de campo.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS

1. Vista satelital del Cerro Sendero Colinas de Guataparo....	6
2. Área afectada del Cerro Sendero Colinas de Guataparo...	6
3. Tramo de estudio y sistema de contención actuales.....	7
4. Curvas de nivel del talud frontal, tramo de estudio.....	9
5. Fases de un estudio geotecnico en un talud.....	16
6. Matriz rocosa, discontinuidades.....	17
7. Macizo rocoso en el Cerro Sendero Colinas de Guataparo	19
8. Orientación y espaciado de las diaclasas.....	22
9. Características de las discontinuidades.....	22
10. Tipos de diaclasas.....	23
	23

11. Fisuras singeneticas.....	24
12. Formas de desplazamientos en un macizo rocoso.....	25
13. Tipos de deslizamientos en suelos y rocas.....	25
14. Inestabilidad de macizos rocosos.....	27
15. Tipos de Riesgos Geológicos.....	28
16. Cordillera de la Costa y unidades geológicas de la Serranía	28
17. Mapa Geológico de Venezuela.....	29
18. Mapa geológico simplificado de la zona central.....	30
19. Mapa Geológico de Valencia, tramo de estudio cerro SCG	47
20. Modelado de taludes en macizos, RockLab-Rocksciencie..	48
21. Pantallas atirantadas: maciza y reticular.....	49
22. Armado de pantalla atirantada.....	50
23. Proyección del concreto en pantalla.....	51
24. Geo mantas con anclajes.....	53
25. Instalación de anclajes.....	54
26. Muros mixtos con geo manta y pantallas atirantadas.....	65
27. Ubicación geográfica del macizo rocoso y su talud frontal	67
28. Perfil de elevación del tramo de estudio.....	68
29. Las Mercedes formación geológica del macizo rocoso.....	69
30. Vista frontal del macizo rocoso y su talud frontal.....	69
31. Vegetación del talud sur, tramo de estudio.....	71
32. Único canal de A. Lluvias, en el tramo de estudio.....	72
33. Pluviometría anual de la región.....	72
34. Proceso de infiltración en el macizo después de llover.....	72
35. La misma zona una semana después sin haber llovido.....	73
36. Estaciones de trabajo #1 y #2.....	73
37. Bloques de macizo rocoso y material meteorizado.....	74
38. Familia de Diaclasas o discontinuidades en el macizo.....	74
39. Ubicación de rumbos en las foliaciones del macizo rocoso.....	75
40. Ubicación del buzamiento en afloramientos del macizo...	76
41. Zonificación sísmica integral.....	77
42. Presencia de la meteorización en el macizo rocoso.....	78
43. Fuerza aplicada con el martillo al macizo para su rotura...	79
44. Uso del ábaco para la dispersión de valores de resistencia.	81
45. Resultados de los ensayos al Talud Este, Hotel La Colina.	83
46. Parametrización del macizo con RockLab de Rocksciencie	84

ÍNDICE DE GRAFICOS

GRAFICOS

1. Agrupación de unidades litodemicas.....	20
2. Partes de un talud o ladera natural.....	22

3. Implementación numérica de H & B.....	27
4. Abaco, deslizamiento de rotura circular, H&B (1981).....	40
5. Condiciones a cumplirse para aplicar método de H & B...	41
6. Límites para la aplicación del Criterio Hoek y Brown.....	44
7. Vista de perfil del área de estudio.....	67
8. Diagrama de Ishikawa, factores que afectan al macizo	71
9. Los cinco ábacos de Hoek & Bray para falla circular.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA

1. Propiedades físicas y mecánicas de diversas rocas.....	20
2. Resistencias de algunas rocas metamórficas.....	33
3. Estimación de la constante m_i del material intacto.....	36
4. Estimación del parámetro D en un macizo rocoso.....	38
5. Estimación de la resistencia en compresión uniaxial.....	41
6. Bieniawski, tipos o clases de roca según el valor del RMR	44
7. Valores arrojados in situ para Ingeroca.....	73
8. Valores arrojados in situ para los afloramientos del macizo	74
9. Valores in situ para prueba con martillo sobre el macizo...	76
10. Características geomecánicas del tramo de estudio.....	76
11. Resumen de los parámetros del macizo para el prediseño...	78



**REPUBLICA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROPUESTA DE ESTUDIO GEOTÉCNICO DE UN
MACIZO ROCOSO Y SU TALUD FRONTAL PARA
EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTENCIÓN EN
EL CERRO SENDERO COLINAS DE GUATAPARO
AL NOROESTE DE LA AV. CUATRICENTENARIA
EN VALENCIA EDO.CARABOBO**

Autor: Rojas A. Lu

Tutor: Ing. José Rodríguez

Fecha: marzo 2022

RESUMEN

La presente investigación propone un estudio geotécnico de un macizo rocoso y su talud frontal para el diseño de un sistema de contención en el Cerro Sendero Colinas de Guataparo en la Av. Cuatricentenaria al noroeste de la ciudad de Valencia Edo. Carabobo; cuyo basamento teórico estará sustentado en el levantamiento geotécnico del macizo y la aplicación de los métodos de Hoek & Brown referido al criterio de rotura o análisis de estabilidad de taludes, de igual manera el método de GSI o índice de resistencia geológica y la deformabilidad de la masa rocosa para diferentes condiciones geológicas; así como también los índices RQD y el RMR de Bieniawski; además se contempla el diagnóstico geológico, geotécnico, geohidrológico y geo mecánico del macizo, junto con el análisis de los factores externos que actúan e inciden en la desestabilización del talud frontal a través de un diagrama de Ishikawa; definiendo para ello el comportamiento de los materiales y los mecanismos de deformación y rotura. Se hará uso del software RockLab en la parametrización de la data obtenida, así como también, se calculará el factor de seguridad, F_s y se evaluará el riesgo geológico resultante del mismo. A su vez, se hará mención de dos técnicas constructivas diferentes, del tipo pantalla atirantada utilizadas en la estabilización de taludes de macizos, sin incluir el cálculo de las mismas; pero, teniendo siempre como premisa el impacto ambiental que estas soluciones puedan generar en el paisajismo de la zona afectada. Este proyecto está enmarcado dentro de la línea de investigación de las ciencias cognitivas y aplicadas por apoyarse en una investigación de campo del tipo mixta al referirse al desarrollo de una propuesta de estudio geotécnico para la estabilización de un talud, con un nivel descriptivo donde se aplicará la observación directa y la revisión bibliográfica.

Descriptores: Estudio Geotécnico, Riesgo Geológico, Sistema de Contención.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno tectónico que dio origen a la cuenca de Cariaco separó a la Cordillera de la Costa de Venezuela, de tal manera que hoy puede hablarse del sistema central y separadamente del sistema oriental. Ambos tienen similitud geológica que los emparenta incluso con el norte de la Isla de Trinidad. La Cordillera Central se trata de una formación montañosa similar a la del centro, aunque con alturas menores. Sin duda esta es la zona más intervenida del país, y al intenso uso de las tierras para la agricultura se suma el efecto de la urbanización.

El resultado de todo ello son áreas, ambientes fuertemente erosionados, con procesos agudos de sedimentación en los valles, inestabilidad en las laderas y la contaminación del aire y del agua; siendo el tramo de este estudio, uno de los perteneciente al sistema montañoso de la Cordillera de la Costa que se extiende desde la Depresión de Barquisimeto al oeste hasta la Península de Paria al este (González de Juana 1980) el sector occidental (sistema orográfico central).

Donde la mayoría de los macizos rocosos, en particular aquellos situados a pocos cientos de metros desde la superficie, presentan discontinuidades que determinan su comportamiento mecánico. Por lo cual, es esencial que la estructura de la masa rocosa y sus diaclasas sean cuidadosamente descritas además de la descripción litológica del tipo de roca; sus parámetros pueden ser usados para el análisis de estabilidad y también pueden ser cuantificados siempre que sea posible.

Entendiendo como macizo rocoso a la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural, el cual estará definido por la roca y la estructura, que a su vez contendrá planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales; los macizos son por lo tanto discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas. Cabe mencionar que atendiendo a los acrónimos propuestos por Hudson y Harrison (1995), un macizo rocoso es un “DIANE” (acrónimo de discontinuous, inhomogeneous, anisotropic & non-elastic = discontinuo, heterogéneo, anisótropo e

inelástico) y no un “CHILE” (acrónimo de continuos, homogeneous, isotropic & linear-elastic = continuo, homogéneo, isótropo y linealmente elástico).

Así pues, los macizos rocosos, que son el principal objeto de estudio y material de trabajo en mecánica de rocas, consisten en una serie de bloques o elementos de roca intacta y una estructura formada por múltiples discontinuidades (comúnmente agrupadas en familias) y otros caracteres estructurales. Su naturaleza y comportamiento dependerá, por tanto, de ambos (roca + discontinuidades) influyendo más unas u otras en función de las características del macizo y las propiedades, situación y volumen de las obras que se realicen en ellos.

Por consiguiente, elaborar un estudio geotécnico de un macizo rocoso y su talud frontal y que a futuro sea la base para el diseño de un sistema de contención que minimice el riesgo que implica la inestabilidad de un terreno sobre una arteria vial que comunica al Valle de Guataparo con la Av. Cuatricentenaria de la ciudad de Valencia es la razón de ser de este proyecto. Teniendo como premisa que este estudio o caracterización del macizo rocoso servirá a futuro de complemento a los ensayos de laboratorio que se realicen y al diseño del sistema de contención que dicho talud requiere para minimizar el riesgo de amenaza latente por desplazamientos de masas.

Para el desarrollo del mismo, se exploró la metodología o el criterio empírico de rotura no lineal de Hoek & Brown; resultando imprescindible para su aplicación que el talud de este macizo rocoso fuese homogéneo e isótropo, es decir, un macizo de muy baja calidad clasificándose casi como suelos duros o muy fracturados. Así mismo, se analizaron los deslizamientos según sus categorías los cuales se catalogaron entre profundos y superficiales, de acuerdo con el espesor de la capa de meteorización involucrada en el movimiento en masa, que es la directamente afectada por la saturación de agua.

Esta investigación se desarrolló con basamento a lo anteriormente expuesto y finalmente la misma se estructuró en cuatro capítulos de la siguiente manera:

Capítulo I: Conformado por el problema y su formulación, continuando con el objetivo general y los objetivos específicos que dan apertura a la investigación, luego la justificación y para finalizar el alcance y la delimitación del mismo.

Capítulo II: Comprendió el marco teórico, se describió en primer lugar los antecedentes, posteriormente las bases teóricas que sustentaron la investigación y la definición de términos básicos.

Capítulo III: Constituyo el Marco Metodológico de la investigación, donde se encuentra el tipo de investigación, el diseño utilizado, por último, se definieron las fases metodológicas necesarias para cumplir con el objeto de la investigación.

Capítulo IV: Se desarrollo con los resultados obtenidos del diagnóstico geotécnico de la zona, la evaluación de los factores que afectaban al talud y el importante análisis del factor de seguridad y del riesgo geológico.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

La geotecnia nace, por el desarrollo ingenieril que han alcanzado las ciencias geológicas relacionadas con la mecánica de rocas, las cuales configuran los principios de la Ingeniería Geológica. Así mismo, se encarga del estudio de la interacción de las obras civiles con el terreno, siendo una de las ramas más recientes de la geología y de la ingeniería civil; también estudia las propiedades mecánicas, resistentes e hidráulicas de los materiales que componen los suelos, para posteriormente aplicarlas en obras civiles y de minería.

Conviene subrayar que dentro de la geotecnia podemos diferenciar dos campos: la Mecánica de las Rocas y la Mecánica de los Suelos, para diferenciar entre suelo y roca, tomaremos la definición del padre de la Geotecnia y de la Mecánica de Suelos, Ing. Karl von Terzaghi.

“Se puede considerar suelo a todo material de las capas más superficiales de la corteza terrestre que puede clasificarse como un agregado natural de las capas más superficiales conectadas por fuerzas cohesivas débiles y no necesariamente permanentes, separables por medios mecánicos de poca intensidad y energía. Por su parte, las rocas serían agregados naturales de partículas minerales conectadas por fuerzas cohesivas fuertes y permanentes, situadas tanto en la superficie como en capas más profundas, siendo necesarios medios mecánicos de gran intensidad y energía para su separación.”

Cabe destacar que en el mundo de la ingeniería geológica es muy común encontrar problemas referidos a la contención de terrenos para lo cual se requiere de diseños estructurales adecuados que puedan darles la solución que ameriten; dentro de esos problemas están los particularmente referidos a los deslizamientos, derrumbes siendo un proceso geológico de los más destructivos que afectan a los seres humanos, ocasionando cientos de muertes y daños en las propiedades por valor de millones de

dólares al año (Brabb-1989); sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia.

El 90% de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención y control (Jaime S. Díaz, 1998). Para evitar este tipo de eventos existe una gran variedad de técnicas constructivas que se pueden aplicar, cada una de ellas en función de la geometría, tipo y condiciones de los materiales que conforman las elevaciones de terreno con pendientes mayores al 30% que así lo requieran.

Siendo el noroeste de la ciudad escenario de múltiples eventos de desplazamientos, derrumbes de cerros que han generado ciertas pérdidas materiales y altos costos económicos en los últimos años, como se reseña en la prensa local y los mismos tienen una incidencia recurrente a lo largo de la Av. Cuatricentenaria como los ocurridos en el año 2020 en las Residencias Islas Farallón y en la entrada al sector popular de la Manguita por nombrar algunos los cuales ocurrieron en épocas de intensas lluvias.

Además, esta avenida representa una de las principales arterias viales de conexión para el noroeste de la ciudad y es la única que conecta a la Urb. Guataparo con diversos sectores de la zona como son: El Bosque; Los Mangos; Los Nísperos, Los Colorados, entre otros. Con relación a la comunidad de Guataparo, podemos señalar que es una urbanización que posee una densidad poblacional de 675 Hab/ha y predomina la clase media alta y la clase alta lo cual no deja de ser un factor muy importante al momento de dar solución a la problemática que a continuación se describe.

La misma está asentada en lo que se llama el Valle de Guataparo y se conecta con el resto de la ciudad a través de una única arteria vial la cual fue construida en las faldas del cerro Senderos de Colinas de Guataparo y este a su vez colinda o es la frontera con la comunidad de la Manguita. Dicho talud frontal forma parte del macizo rocoso el cual es proclive o posee una característica propia de la cadena montañosa central interior de presentar inestabilidad y movimiento de masas, sobre todo en épocas de lluvia, lo cual genera que el material meteorizado y rocas algo voluminosas junto a las raíces de árboles de mediana altura vayan cediendo y descendan hacia la avenida ocasionando

la obstrucción de la misma e impidiendo o restringiendo el paso vehicular en uno de sus canales de circulación en el sentido La Manguita_Guataparo.

Es importante señalar que en una línea de 400 m. desde el punto ubicado a 50 m. después del vivero el Rincón de las Orquídeas hasta unos 200 m. antes de llegar a los linderos de la Residencia Los Establos existen en algunos tramos una serie de muros de concreto de dimensiones que oscilan entre 1.90 -1.80 m. de alto, con un ancho de 2 m. y estos poseen pequeños orificios dispuestos dentro del muro de 3/4" a 1/2" asumiéndose que son para el drenaje; así como también una torrentera visiblemente averiada de dimensiones 65*90 cm. (ver figuras 1 al 3)



Figura. -1: Vista satelital del Cerro Sendero Colinas de Guataparo

Fuente: Google Maps



Figura. -2: Área afectada del Cerro Sendero Colina de Guataparo
Fuente: Google Maps

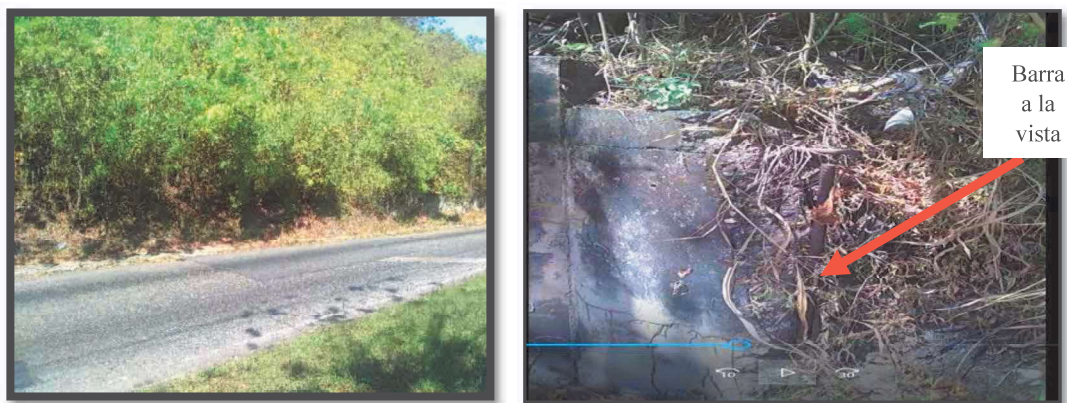


Figura. -3: Tramo de estudio y sistema de contención actuales.
Fuente: Luisa Rojas (2021)

Esos elementos de contención allí colocados son sobrepasados por el material y el empuje del mismo, la presión del material proveniente de la parte topográfica más alta, el mismo les pasa por encima, cayendo y alojándose sobre la acera y la calzada; por lo que, una obra civil de contención, diseñada adecuadamente, que pueda llegar hasta los 30 ó 40 m de altura, solucionaría la inestabilidad del talud en dicho macizo rocoso.

Es por ello que se presenta la propuesta del estudio geotécnico del macizo y su talud frontal en el tramo respectivo, para que a futuro se pueda concretar el diseño de un muro o pantalla atirantada, cuyos detalles se recomendaran más adelante; y por ultimo que represente un impacto ambiental lo menos negativo posible para el entorno.

1.2. Formulación del Problema

En base a lo anterior, surge la siguiente pregunta de estudio:

¿Cómo se puede mejorar la estabilidad del talud sur del Cerro Sendero Colinas de Guataparo ubicado en la Av. Cuatricentenaria de la ciudad de Valencia, Edo. Carabobo?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Proponer un estudio geotécnico de un macizo rocoso y su talud frontal para el diseño de un sistema de contención en el cerro sendero colinas de Guataparo, Valencia Edo. Carabobo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar las condiciones geotécnicas actuales del tramo en estudio
- Analizar los factores que están ocasionando dicha inestabilidad en la zona
- Evaluar el riesgo geológico

1.4. Justificación

El aporte que la presente investigación está generando se encuentra reflejado en tres aspectos fundamentales: la parte social, la académica y la técnica. En lo social, por cuanto a través de ella se podrá entregar una propuesta de solución geotécnica a un problema, es decir a una necesidad dentro de la comunidad de Guataparo y que está afectando la seguridad vial y de transeúntes. En lo académico, se está involucrando a la academia en la solución de los problemas comunitarios, en otras palabras, se está llevando la institución a las calles para que responda con soluciones prácticas a los problemas cotidianos; estando el mismo inserto dentro de la línea de investigación de las ciencias cognitivas y aplicadas de la escuela de ingeniería civil de la Universidad José Antonio Páez.

Y finalmente el aporte técnico que conlleva es lo concerniente a la aplicación de modernas tecnologías o técnicas constructivas novedosas en cuanto a la gestión ambiental dentro de la rama de la ingeniería civil.

1.5. Alcance

Dicha investigación pretende ejecutar una propuesta de estudio geotécnico de un macizo rocoso donde se vieran reflejadas tres partes muy claras: La investigación *in situ*, donde se realizaron diferentes mediciones con la brújula de Bruntón de las discontinuidades en la roca, rumbos, buzamientos, alturas, diaclasas, etc.; así como también la toma de las muestras respectivas para su caracterización, inspección y en ese mismo contexto, se revisaron los datos hidrológicos determinándose la hidrogeología local del macizo rocoso bajo estudio.; cuyas coordenadas son latitud norte 10°11'17" N y longitud oeste 68°02'01" W entre las curvas de nivel 580 y 620 msnm. (ver figura 4)

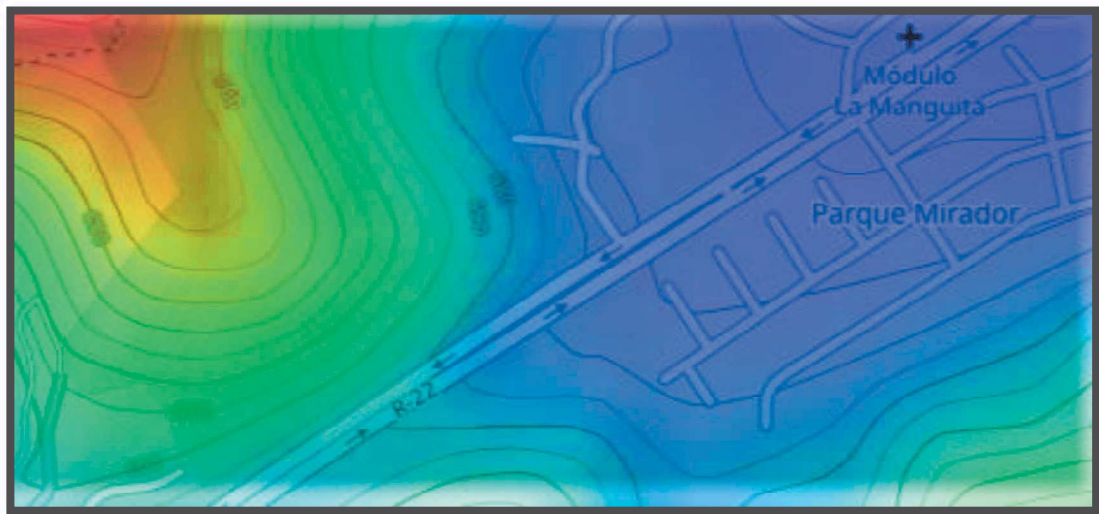


Figura. -4: Curvas de nivel del talud frontal del macizo rocoso en el tramo de estudio.

Fuente: <https://www.es-cr.topographic-map.com>

1.6. Delimitación

El proyecto de estudio geotécnico comprende en una línea recta desde el vivero El Rincón de la Orquídea, 50 m después de este punto, hasta 200 m antes de llegar al lindero de las Residencias Los Establos; y a una altura aproximada de 40 msnm. Así, como también la caracterización del macizo rocoso de dicho tramo a través de su parametrización.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

Según Arias (2012) “El marco teórico de la investigación o marco referencial, puede ser definido como el compendio de una serie de elementos conceptuales que sirven de base a la indagación por realizar.”. Así mismo describe que los “antecedentes de la investigación se refiere a los estudios previos y tesis de grado relacionadas con el problema planteado, es decir, investigaciones realizadas anteriormente y que guardan alguna vinculación con el problema en estudio.”.

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1 Investigaciones Nacionales

Dorrio R. José M. (2017) egresado de la Universidad Central de Venezuela realizo una investigación titulada: **caracterización geomecánica de taludes en roca ubicados en la carretera panamericana en el tramo Caracas - San Antonio de los Altos**, para la obtención del master en ciencias geológicas, siendo el objetivo principal el de caracterizar y evaluar el comportamiento geo mecánico de los taludes en roca de la Carretera Panamericana en el tramo Caracas – San Antonio de los Altos, mediante la aplicación del método SMR (Slope Mass Rating). Así mismo, entre los objetivos específicos se encuentran el presentar los conceptos básicos y la metodología a seguir para la caracterización geomecánica de las rocas.

De igual forma, el estudio y análisis de la geología de la zona, la cual se basa en dos formaciones: Las Brisas y Las Mercedes, las cuales tienen características y edades propias; y el estudio de los afloramientos, los cuales fueron elegidos por presentar varios problemas físicos, ya que se observaba claramente diferentes planos de foliación, planos de fallas, además de evidenciarse el desprendimiento de bloques de formas regulares. Adicionalmente, se utilizaron para esta investigación los métodos para clasificar la roca, ya sea como material o como parte de un macizo rocoso; Otro método fue el de Selby de 1980 el cual se basa en tratar de entender los elementos de

las masas rocosas que les proporcionan resistencia a los procesos de meteorización y erosión, que fuera universalmente aplicable de forma que establezca una base común de medición; por otro lado, el método de valoración de riesgo de rotura el cual permite la estimación del riesgo de corrimientos de taludes naturales o artificiales, y es de gran utilidad para cualquier estudio de ordenamiento territorial, ya sea a nivel regional o a nivel local. Para la aplicación de los métodos se tomaron en cuenta los parámetros como: caracterización global de la masa rocosa (frecuencia, estado y presencia de agua en las juntas); valor de la diferencia entre los rumbos de la cara del talud y las familias de juntas predominantes; valor de la diferencia entre el buzamiento de la cara del talud y la familia de juntas predominantes.

Esta investigación presenta similitud con la que está en ejecución, por cuanto estaremos abordando el análisis en situ de los parámetros geotécnicos de un macizo rocoso como son: sus diaclasas, fallas, juntas, las mediciones de rumbos, buzamiento, así como también el estudio del método de Hoek & Brown para el movimiento de masas rocosas y la formación geológica del tramo de estudio entre otros aspectos más.

En lo que se refiere a Toro E. (2008) egresado de la Universidad Central de Venezuela en su investigación titulada: **Estudio geológico y caracterización geomecánica del macizo rocoso para el proyecto de revestimiento del túnel San Juan, sistema ferroviario centro-sur, tramo San Juan de los Morros-Calabozo** para la obtención del título de Ing. Geólogo cuyo objetivo general estuvo definido como: la obtención de los datos necesarios para la caracterización geomecánica del macizo rocoso, con el fin de que se le permita a los responsables estructurales del proyecto hacer la definición y optimización del diseño del revestimiento y los objetivos específicos fueron: primero el caracterizar geomecánica mente el macizo rocoso durante el avance del frente de la excavación entre las progresivas 2+325 y 2+ 471.63; de segundo clasificar el macizo rocoso mediante los métodos de Hoek y Bieniawski; tercero realizar un levantamiento geológico a lo largo del túnel y elaborar un perfil geológico a escala 1:2500; y por ultimo elaborar los datos de la caracterización

geomecánica del túnel para determinar las cargas sobre el revestimiento a lo largo del trazado.

Este proyecto de revestimiento del nuevo tramo San Juan de los Morros-Calabozo esta intrínsecamente relacionado con el actualmente en desarrollo, por cuanto se requiere de un buen conocimiento geológico de la zona, los procesos de dinámica externa que la afectan, el comportamiento geo mecánico del macizo, así como el del talud frontal que lo conforma para poder calcular el Fs preciso, que contribuya en el posterior diseño del sistema de contención el cual tendera a minimizar los deslizamientos que ocurren en dicho macizo rocoso.

2.1.2 Investigaciones Internacionales

Con respecto a Tirado, S. (2020) egresado de la Universidad Nacional de Cajamarca, Perú; desarrolló el proyecto: **evaluación del riesgo asociado a la vulnerabilidad física por laderas inestables en el tramo de carretera Cajamarca-Gavilán, Perú** para la obtención del título de ingeniero civil, donde su objetivo principal fue evaluar el riesgo asociado a la vulnerabilidad física por laderas inestables en el tramo Cajamarca – Gavilán, Perú; el proyecto está considerado dentro de la línea de investigación de campo porque toma el análisis sistemático de un problema concreto desde la realidad, lo describen, interpretan, entendiendo su naturaleza, los factores que lo componen, explican sus causas y efectos, y predicen su ocurrencia.

Del mismo modo se realizan una encuesta a los moradores de 100 viviendas contiguas al tramo de estudio con el fin de caracterizar la vulnerabilidad; el instrumento utilizado para el análisis de la información fue mediante el software ArcGIS 10.3.; dando como resultado que la posibilidad de que se genere un deslizamiento en el tramo de estudio, y que amenace a los moradores atentando contra sus medios de vida es muy alto, es de un (76 %), y se concluye que la alta posibilidad de riesgo se debe principalmente a que existe mayor vulnerabilidad, es decir los moradores del área de estudio construyen sus viviendas con materiales de mala calidad y con deficiencias estructurales.

Algo semejante ocurre con la presente investigación puesto que se plantea la ocurrencia de un evento probable de alto riesgo en una elevación de terreno natural que se da por diversas variables presentes en el sitio llegando a afectar a un tramo de vialidad que sirve de conectividad a una localidad.

Así mismo, Villarreal Ma C. (2020) egresada de la Universidad Nacional de la Plata, Argentina ejecuto su trabajo final de grado sobre: **caracterización geotécnica de macizos rocosos, a nivel de prefactibilidad, en el área de implantación de presas de laminación de crecidas extraordinarias actuales y proyectadas sitas en la Hoja Tandil 3760-IV** para la obtención de su Licenciatura en Geología; siendo su objetivo general el caracterizar geotécnicamente, a nivel de prefactibilidad, los macizos rocosos presentes en el área de implantación de las dos presas existentes y una proyectada dentro de la Hoja 3760-IV.

Otro rasgo de importancia son los objetivos específicos planteados que constituyen en primer lugar: el análisis, la síntesis de las características geotécnicas detectadas de los materiales sujeto de las obras de presas existentes (Del Fuerte y Ramal H) y las proyectadas (actual cierre previsto en el área del Arroyo Blanco). Y de segundo el desarrollo y la aplicación de las clasificaciones de macizos rocosos de uso actual (RMR, Q y GSI) para la caracterización de macizos rocosos a los fines de la fundación de las presas citadas en el punto anterior.

Ello comprende también el desarrollo metodológico de las determinaciones de las características resistentes, deformacionales e hidráulicas de los macizos rocosos a los fines clasificatorios en afloramientos rocosos representativos en el área específica de los emprendimientos hidráulicos mencionados. La metodología utilizada consistió en tareas de recopilación bibliográfica, cartográfica y satelital, y trabajos de campo.

Se puede destacar de esta investigación que la misma va a ayudar al desenvolvimiento de esta en curso; por cuanto, los estudios geotécnicos que se ejecutaran van a indagar sobre los factores geológicos de los materiales que constituyen las obras de ingeniería y los mismo serán considerados e interpretados de manera adecuada, asegurando así la construcción de las futuras obras para que estas sean

económicas y seguras, como también en la mitigación de los posibles riesgos geológicos.

Escartí, A. (2017) egresado de la Universidad Politécnica de Valencia, España realizo la investigación: **comparativa ambiental y económica de pantallas de contención de tierras para edificación mediante el análisis del ciclo de vida**; para obtener un master en planificación y gestión en la ingeniería civil donde su objetivo general fue: la evaluación de las pantallas de contención de tierras en toda su dimensión y uso elaborando una comparación ambiental y económica para edificaciones mediante el Análisis del Ciclo de Vida, ACV.

De igual manera tiene entre sus objetivos específicos: el conocer y evaluar el estado actual del conocimiento en cuanto a la sostenibilidad en la construcción y en las estructuras, concretamente en estructuras de contención de tierras; establecer el marco teórico entorno a las herramientas del ACV en sus tres dimensiones y evaluar, mediante el ACV, las cargas ambientales producidas por las pantallas de contención de tierras; identificar y cuantificar los costes mediante el coste del ciclo de vida, CCV y por último; realizar un análisis comparativo que pueda servir de herramienta en la etapa de diseño y la toma de decisiones.

En lo referido a la metodología utilizada se estableció en dos fases, una primera fase en la que se realiza una revisión bibliográfica del estado de la sostenibilidad en el sector de la construcción y del estado del uso de las herramientas del Análisis del Ciclo de Vida en sus tres dimensiones y la segunda fase en la que se desarrollan el ACV y CCV de las 4 tipologías principales de pantallas de contención de tierras en edificación y un análisis comparativo de los resultados obtenidos para extraer unas conclusiones en base a los resultados y proponer futuras líneas de investigación.

Por consiguiente, la contribución que aporta a la investigación en curso es que analiza y entrega soluciones en la construcción de sistemas de contención teniendo como prioridad la sostenibilidad y el cuidado del entorno a la hora de su construcción; para lo cual se desarrollaran comparaciones descriptivas entre los sistemas tradicionales y los sistemas sostenibles.

2.2. Bases Teórica

2.2.1. Geotecnia

Es la aplicación de los métodos de exploración geotécnica y de los principios de la ingeniería geológica para la generación, interpretación y utilización del conocimiento de los materiales y de los procesos que ocurren en la corteza terrestre para la solución de los problemas en las obras civiles.

2.2.2. Mejora de la estabilidad de un talud

Cualquier terreno puede estudiarse con más detenimiento y nuevas herramientas para mejorar sus características o reforzarlo; se trata de incrementar su capacidad, disminuir la permeabilidad y calcular el riesgo geológico; para ello se emplean un conjunto de técnicas aplicables a multitud de situaciones, entre los métodos que se utilizan están los que sirven para aumentar la capacidad portante, minimizar las fallas por corte, y las aplicaciones geotécnicas para macizos rocosos fracturados. La profundidad de la mejora puede variar según sea el caso, logrando llegar hasta más de 100 m en los tratamientos con inyecciones de mezclas de concreto (ver figura 5).

2.2.3. Estudio geotécnico

El estudio geotécnico es el compendio de información cuantificada en cuanto a las características del terreno en relación con el tipo de obra prevista y el entorno donde se ubica, es decir, es un proceso de estudio y de justificación técnica del comportamiento del terreno en relación con un proyecto específico, este es necesario para proceder al análisis y dimensionado de las cimentaciones de cualquier obra ingenieril. Este se debe adaptar a la obra a construirse, es decir, no es lo mismo el análisis para la construcción de un estacionamiento en suelos blandos que un sistema de contención sobre un afloramiento de roca o macizo donde se ha de considerar: el entorno donde se ubica, las recomendaciones y la afectación a otras infraestructuras cercanas; los aspectos a considerar en un estudio geotécnico son:

- ✓ Definición de los parámetros de cálculo a emplear en el dimensionamiento de los elementos estructurales en contacto con el terreno, así como las previsiones del comportamiento del terreno ante las nuevas condiciones, definición de

estabilidad de desmontes y terraplenes, estabilidad de las propias laderas, recomendaciones de cimentación, recomendaciones para la ejecución de las obras, etc.

- ✓ La documentación gráfica y escrita para la definición de las condiciones del terreno (plantas, perfiles, memoria descriptiva)
- ✓ Los datos recogidos durante la investigación: registros de sondeos, calicatas, geofísica, ensayos de laboratorio, levantamientos geo mecánicos, cartografías geológicas, croquis, etc. (ver figura 5)

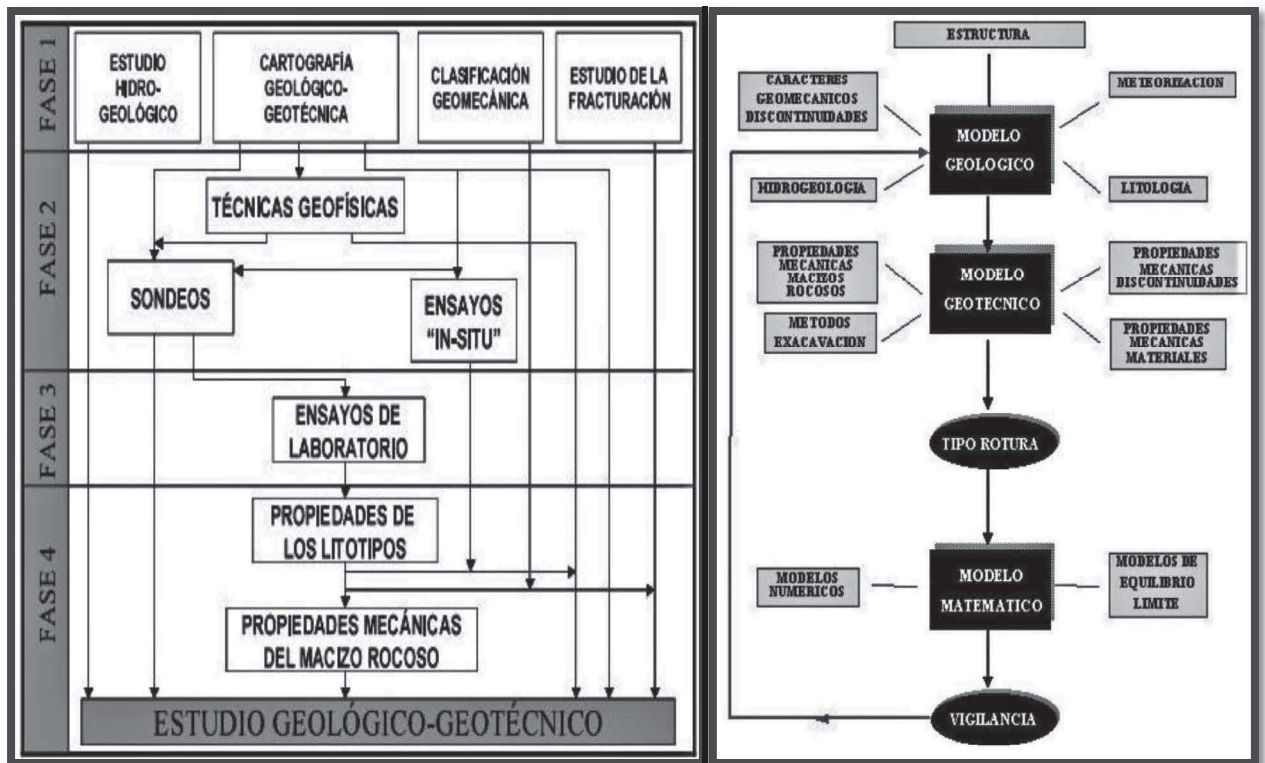


Figura .-5: Fases de un estudio geotécnico en un talud

Fuente: Ramírez, P. y Alejano, L. (2004). Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes.

2.2.4. Matriz rocosa

Es un material rocoso exento de discontinuidades o bloques que quedan entre ellas, es de “roca intacta” a pesar de que se le considera una estructura continua, presenta a nivel microscópico un comportamiento heterogéneo y anisótropo relacionado a la

fábrica estructural por la presencia de planos de laminación, micro fisuras, orientación preferente de minerales, foliación, etc.; pero bajo el punto de vista geotécnico, la mecánica de rocas de la matriz rocosa se considera continua e isótropa en relación con el macizo rocoso en su conjunto.

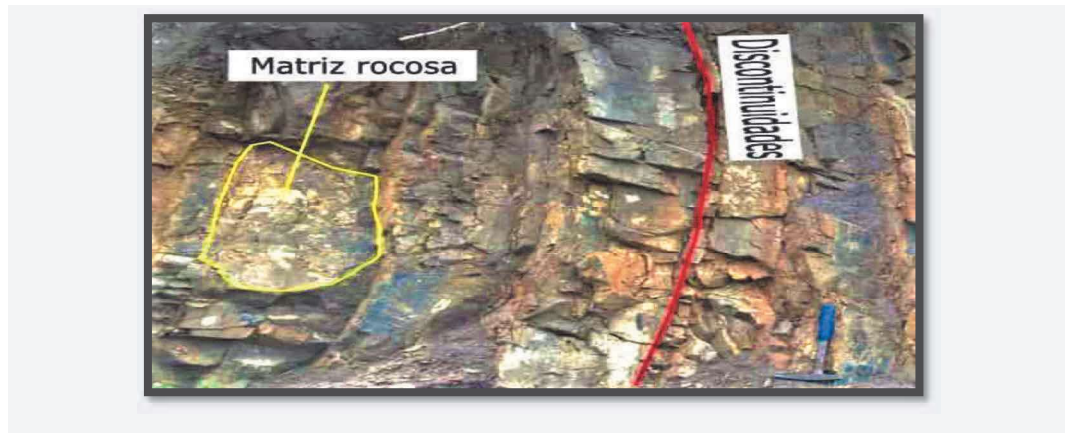


Figura. -6: Matriz rocosa, discontinuidades.

Fuente: Geología web.com /ingeniería geológica

Mecánicamente la matriz rocosa se caracteriza por su peso específico, resistencia y deformabilidad, para la descripción de la matriz rocosa se deben incluir aspectos tales como: a) Identificación litológica de la matriz rocosa b) Grado de meteorización de la matriz rocosa y c) Resistencia de la matriz rocosa. (ver cuadro 1)

Cuadro 1: Descripción de la matriz rocosa

Identificación litológica	MR, es la roca intacta o bloque de roca ubicado entre las discontinuidades, en la descripción de macizos rocosos es de vital importancia la identificación de la litología correspondiente a la matriz rocosa, puede estar representada por los tres tipos de rocas que se conocen en geología, es decir rocas ígneas, rocas sedimentarias o rocas metamórficas.	- Form y tamaño de los granos - Color y transparencia - Dureza
Grado de meteorización	En cuanto a la meteorización. esta, está condicionada por factores ambientales que generan procesos físicos-químicos que afectan al macizo rocoso en general mientras mayor sea la meteorización, ocurrirá un	- Fresca - Decolorada - Desintegrada - Descompuesta

	aumento de la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso al mismo tiempo que disminuye su resistencia.	
Resistencia	La resistencia de la matriz rocosa se puede estimar mediante ensayos de campo in situ como el ensayo de carga puntual (PLT) o el martillo Schmidt, que se pueden correlacionar con la resistencia a la compresión simple y esta a su vez define si el macizo rocoso es entre muy blando a extremadamente duro.	- Ensayos de laboratorio: Ensayo de Compresión simple (σ_c) - Ensayos de Campo: Índices de campo. - Ensayo de Carga Puntual. (PLT) - Martillo de Schmidt. (esclerómetro)

Fuente: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/Macizos_rocosos

2.2.5 Macizo rocoso

Los macizos rocosos son un medio discontinuo, de carácter anisótropo y heterogéneo, cuya composición deriva de la unión de diversas discontinuidades y por bloques de matriz rocosa; se encuentran en la naturaleza, en medio ambiente sedimentario. La caracterización de las propiedades resistentes busca calificar a los macizos rocosos en función de sus características geológicas, mediante alguno de los sistemas de clasificación geomecánica, como la Q de Barton; siendo su estudio y la caracterización misma bastante complejo de realizar debido a la gran variabilidad de características, propiedades que presentan y al elevado número de factores que las condicionan.

Cuando se habla de características, se hace referencia a los grados de fracturamiento, a las familias estructurales, la condición de agua, condición de esfuerzos, entre otros. Al calificar o caracterizar un macizo rocoso se obtendrá un análisis exhaustivo que permitirá determinar la condición de la maciza o mejor dicho la calidad del macizo, evitando y/o disminuyendo accidentes por caída de rocas, a fin de controlar la estabilidad de las rocas, estableciendo tipos de sostenimiento en las diferentes labores mineras y garantizando la estabilidad de la masa rocosa, con la finalidad de brindar una operación segura y de calidad. (ver figura 7)

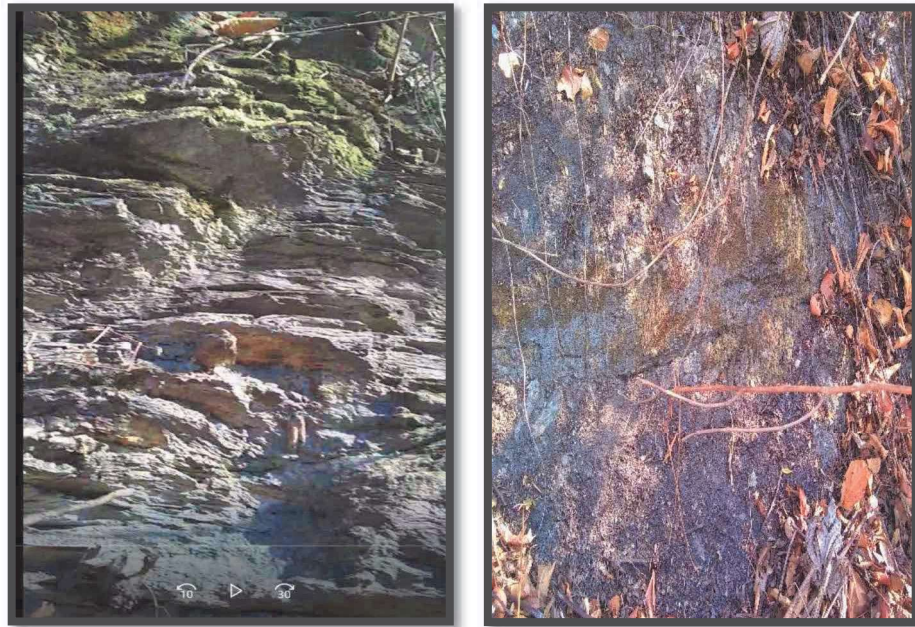


Figura. -7: Macizo rocoso del Cerro Sendero Colinas de Guataparo_Valencia

Fuente: Rojas L. (2022)

Por otro lado, es de suma importancia conocer las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos, para poder asegurar la estabilidad de una obra y disminuir posibles riesgos geológicos y esto se obtiene a través de las metodologías que cuantifican la calidad de los mismos. Es de mencionar que las propiedades de los macizos rocosos están determinadas por sus discontinuidades, y en geología según el índice de propiedades de las rocas, a excepción de los casos de: construcciones de gran profundidad, perforaciones y excavaciones, rocas blandas; como las salinas, yesos, argilitas, limolitas, depósitos terciarios que se comportan como suelos. (Ver Tabla 1)

Tabla. -1: Propiedades físicas y mecánicas de diversas rocas

ROCAS	DENSIDAD (kg/m ³)	MÓDULO DE YOUNG (GPa)	COEFICIENTE DE POISSON	POROSIDAD %	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)	RESISENCIA A TRACCIÓN (MPa)	RESISENCIA A FLEXIÓN (MPa)
Rocas batolíticas							
Granito granodiorita	2500-2750	30-70	0,12-0,25	0,1-2	120-280	4-7	10-20
Gabro	2920-3050	60-100	0,12-0,25	2-5	150-200	5-8	10-22
Rocas extrusivas							
Riolitas	2450-2600	10-20	0,1-0,2	0,4-4	80-160	5-9	10-22
Dacita	2500-2750	8-18	0,09-0,2	0,5-5	80-160	3-8	9-20
Andesita	2300-2750	12-35	0,11-0,2	0,2-8	40-320	5-11	13-25
Basalto	2750-3000	20-100	0,14-0,2	0,2-1,5	30-420	6-12	14-26
Diabasa	2900-3100	30-90	0,12-0,2	0,3-0,7	120-250	6-13	12-26
Tobas volcánicas	1300-2200	-----	0,1-0,2	8-35	5-60	0,5-4,5	3-8
Rocas sedimentarias							
Arenisca	2100-2500	15-17	0,07-0,12	1-8	10-120	1,5-6	4-16
Caliza de grano fino	2600-2850	50-80	0,1-0,2	0,1-0,8	50-200	4-7	5-15
Caliza de grano grueso	1550-2300	-----	0,12	2-16	4-60	1-3,5	2,5-7
Caliza	1550-2500	-----	0,07-0,12	1,5-6	49-200	1,5-5	3-9
Dolomita	2200-2700	20-30	0,08-0,2	0,2-4	15-200	2,5-6	4-16
Esquistos	2450-2750	-----	-----	0,2-0,4	-----	-----	20-30
Rocas metamórficas							
Mármol	2650-2750	60-90	0,11-0,2	0,1-0,5	50-180	5-8	8-12
Gneis	2600-2780	25-60	0,09-0,2	1-5	80-250	4-7	8-20

Fuente: Ramírez, P. y Alejano, L. (2004). Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes.

Por consiguiente, en la zona de estudio y sobre la base de su génesis, textura, litología, y mineralogías se determina que afloran rocas meta ígneas y meta sedimentarias, las cuales se agrupan en las siguientes unidades litodemicas, (ver figura 8).

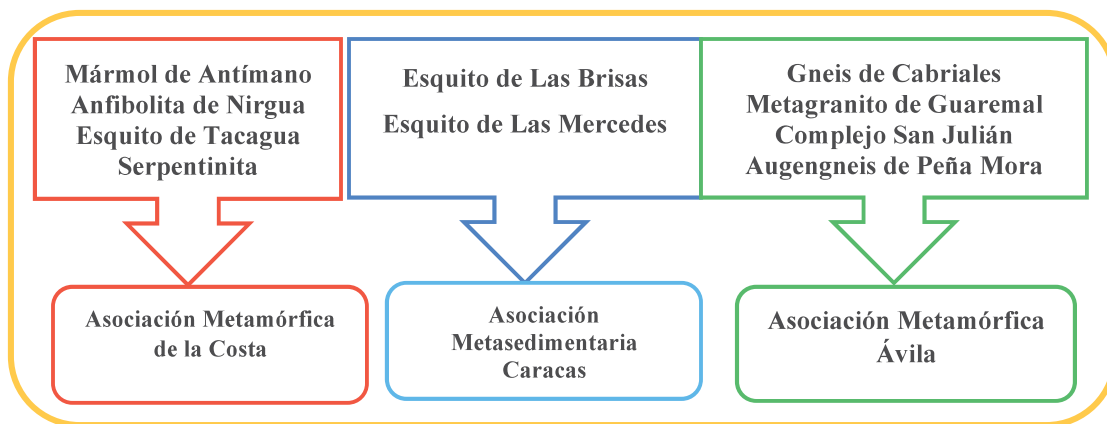


Grafico. -1: Agrupación de unidades litodémicas

Fuente: Omaña A.L. (2002) Integración de la geología de la zona de Moron_Valencia.

Se observa una intensidad de metamorfismo creciente a partir de los extremos norte y sureste convergentes hacia el centro de la zona comprendida entre Puerto Cabello - Valencia; las unidades Esquito de Tacagua (CT) y Serpentinita (Sp) fueron sometidas a metamorfismo en las facies de los esquistos verdes (grado bajo); la unidad Anfibolita de Nirgua (CNg) podría haber sido afectada por una primera fase de metamorfismo en las facies de los esquistos azules (baja temperatura, alta presión), seguido de otra de los esquistos verdes; mientras que las unidades de la parte central Complejo San Julián (ASJ), Gneis de Cabriales (AG), y Meta granito de Guaremal (AB) están afectadas por un metamorfismo en las facies de transición y zona del almandino (grado medio). Y las unidades ubicadas al sur, correspondientes a la Asociación Meta sedimentaria Caracas: Esquito de Las Brisas (CaB) y Esquito de Las Mercedes (CaM), fueron metamor fizadas a las facies de los esquistos verdes de la zona clorita y biotita de grado bajo. (Omaña, L. 2002)

2.2.6. Talud

Talud de gravedad, o "pedrero", es el término que se utiliza para designar a la acumulación de fragmentos de roca partida en la base de paredes de roca, acantilados de montañas o cuencas de valles; así mismo en un análisis de estabilidad de taludes se requiere contar con una información confiable sobre la topografía del sitio, la geología, la resistencia de los materiales y las cargas externas que actúan sobre el talud. En cuanto

que para los cálculos de la estabilidad de taludes se pueden emplear modelos de equilibrio límite o modelos numéricos. Los modelos de equilibrio límite se basan en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable.

Por consiguiente, para el estudio de la estabilidad de un talud se considera la determinación de un factor de seguridad al deslizamiento, para lo cual es necesario conocer los parámetros tanto geométricos del talud, como geotécnicos del material que compone el talud. Entre los factores que influyen en la estabilidad de un talud tenemos la combinación de los elementos estructurales con los parámetros geométricos del talud, altura e inclinación, y con su orientación, define los problemas de estabilidad que se pueden presentar. Estos factores son más influyentes en macizos rocosos que en materiales tipo suelo.

Pendiente

Los estudios en el área de la geotecnia indican que entre mayor sea el ángulo de inclinación de un talud, menor es su FS; en otras palabras, la inestabilidad de un talud también depende de que tan inclinado sea este. En general se recomienda un ángulo máximo de 45° para la estabilización, como calcular la $P = \cot \theta$

$$P = \text{Altura} / \text{base} = \text{Tang } \theta$$

$$100 / 400 = 0,25 = \text{Tang } 25 = 0.466 = 47$$

$$40/400 = 0.10 \text{ Tang } 10 = 0.176 = 18$$

Fallas en los taludes

Entre las principales causas se encuentran: el incremento de la inclinación del talud, la meteorización y las fuerzas de filtración; sus consecuencias no son catastróficas, a pesar de que el movimiento puede causar severos daños a estructuras que se encuentren en la masa deslizante o en sus alrededores.

Partes de un Talud

- Pie, pata o base el pie corresponde al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte inferior del talud.
- Cabeza, cresta, cima o escarpe, cabeza se refiere al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte superior del talud.
- Altura
- Altura de nivel freático
- Pendiente.

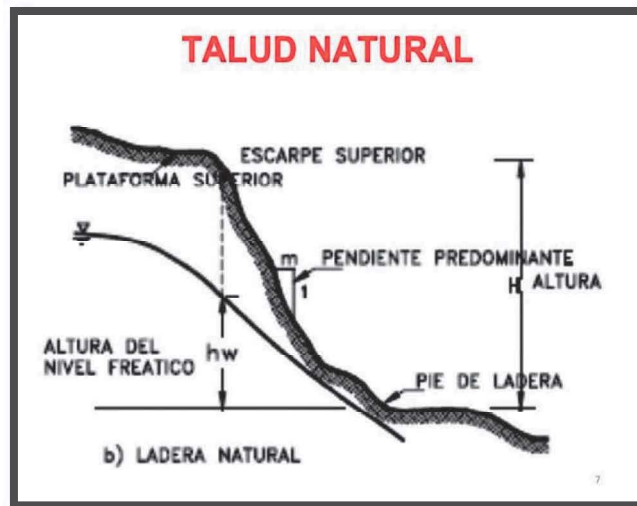


Grafico. -2: Partes de un talud o ladera natural

Fuente: Geomecánica y Mecánica de Rocas

2.2.7. Discontinuidades (diaclasas).

Las discontinuidades geológicas o de las rocas constituyen planos de debilidad (planos de estratificación, foliación, diaclasas, clivaje, orientación de minerales, etc) que controlan el comportamiento geo mecánico de los macizos rocosos, porque condicionan el mecanismo de deformación y rotura ante los esfuerzos; entre sus características más resaltantes se encuentran: la orientación, el espaciado o separación, la continuidad o persistencia, la rugosidad, la resistencia de las paredes, la abertura, el relleno y las filtraciones.(ver figura 8 y 9)

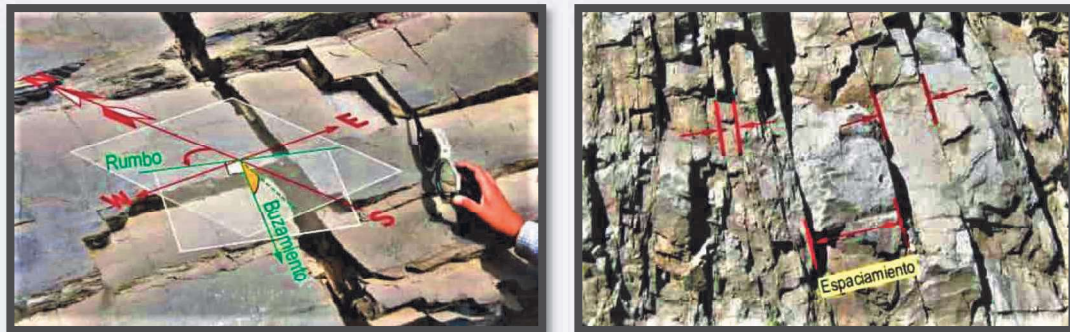


Figura. – 8: Orientación y espaciado de diaclasa o discontinuidad

Fuente: Geología web.com /ingeniería geológica

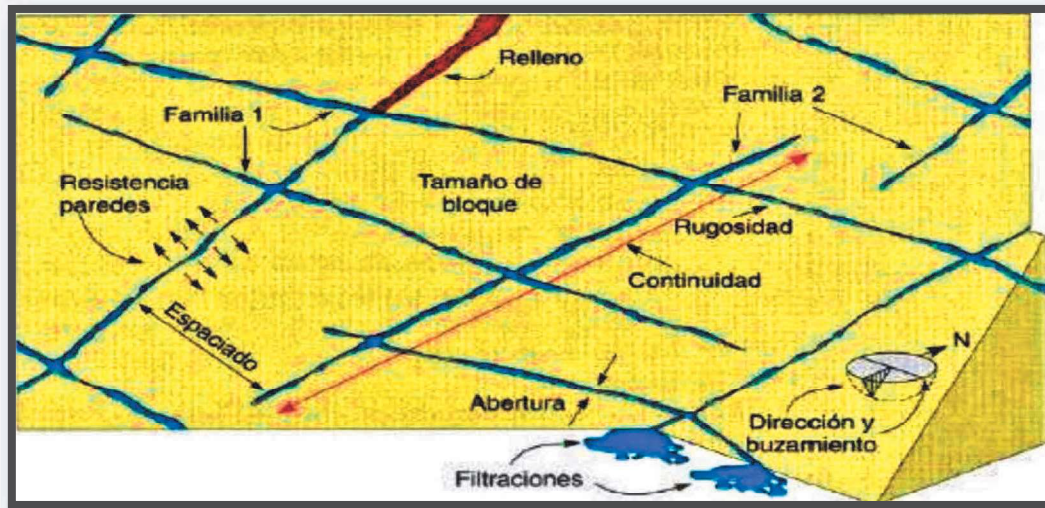


Figura. -9: Características de las discontinuidades.

Fuente: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/Macizos_rocosos

Clasificación

Estas se clasifican según su origen: mecánico o tectónico, diaclasas tectónicas; las sedimentarias o planos de estratificación; las de enfriamiento de rocas o diaclasas de enfriamiento y las metamórficas o foliación (ver cuadro 2).

Cuadro. – 2: Clasificación de las Discontinuidades o diaclasas

Mecánico o tectónico	Suelen estar asociadas al plegamiento de las rocas (sedimentarias principalmente) y a la acción de fallas geológicas sobre cualquier tipo de roca. Las asociadas a fallas suelen ser paralelas a las fallas, mientras que las diaclasas que se forman en plegamientos suelen ser perpendiculares a los esfuerzos tectónicos.
Sedimentarias	Son los planos relacionados a la depositación de los sedimentos en las rocas sedimentarias, suelen tener un espaciado sistemático que varía entre pocos centímetros a varios metros.
Enfriamiento	Se forman por el enfriamiento de los cuerpos ígneos, se forman antes o después del emplazamiento del cuerpo, suelen ser ortogonales entre sí, un ejemplo típico son las estructuras columnares de los flujos de lava.
Metamórficas	Ellas independizan los bloques de matriz rocosa siendo la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidad de muy baja o nula, es así que, su comportamiento mecánico es caracterizado por su resistencia al corte o, en su caso, por la del material de relleno.

Fuente: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/Macizos_rocosos

Tipos

Las diaclasas se pueden diferenciar por su conjunto, su apariencia en sets o en grupos:

- No sistemáticas son sin una orientación preferida.
- Sistemáticas, marcan una orientación preferida
- Ortogonales son conjuntos de diaclasas con intercesiones de alrededor de 90°
- Son conjugadas muestran una intersección cercana a los 45° (ver figura 10 y 11)

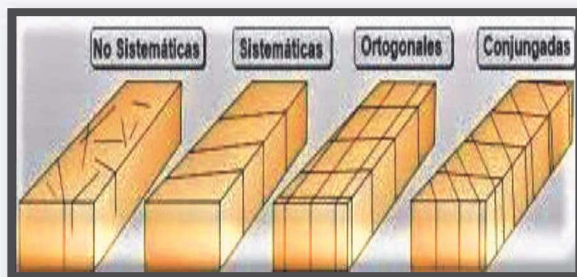


Figura. -10: Tipos de diaclasas

Fuente: Apuntes de geología estructural.geovirtual2.cl

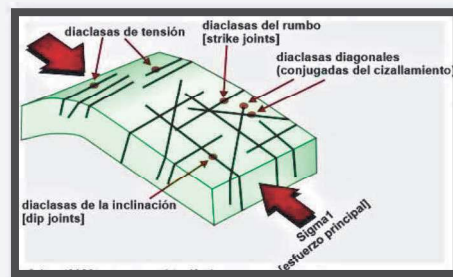


Figura. -11: Fisuras singenéticas

Fuente: Apuntes de geología estructural

2.2.8. Rotura y deslizamientos de macizos rocosos

Es la falla de un material isotrópico y el tipo de rotura en rocas está directamente condicionado por el grado de fracturación del macizo rocoso además por la orientación y distribución de las discontinuidades; siendo las más frecuentes: rotura plana, rotura en cuña, vuelco de estratos y rotura curva. Las roturas cuneiformes son un tipo de mecanismo de fallo de taludes en roca que se producen cuando una masa rocosa desliza a lo largo de dos discontinuidades que se interceptan y afloran en el talud de forma que se crea un bloque deslizante en forma de cuña; entre las más comunes tenemos, (ver figura 12 al 14).

Rotura plana

- **Rotura** por un plano paralelo a la cara del talud, por erosión o pérdida de resistencia de pie.
- **Rotura** por un plano que aflora en la cara o pie de talud, con o sin grieta de tracción.

Rotura en cuña

El **deslizamiento** del bloque ocurre a favor de una cuña que se forma por la intersección de dos planos de discontinuidad.

TIPOS DE MOVIMIENTOS			
1 - Deslizamientos	Traslacionales	Planos	Superficie de rotura singular
			Superficie de rotura poligonal
	Rotacionales	Cuñas	
		Bloques	
		Masas fracturadas	
2 – Extensiones laterales			
3 – Vuelcos			
4 – Pandeos			
5 – Desprendimientos			
6 – Movimientos complejos			

Figura. -12: Formas de desplazamientos de un macizo rocoso

Fuente: Ramírez, P. y Alejano, L. (2004). Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes

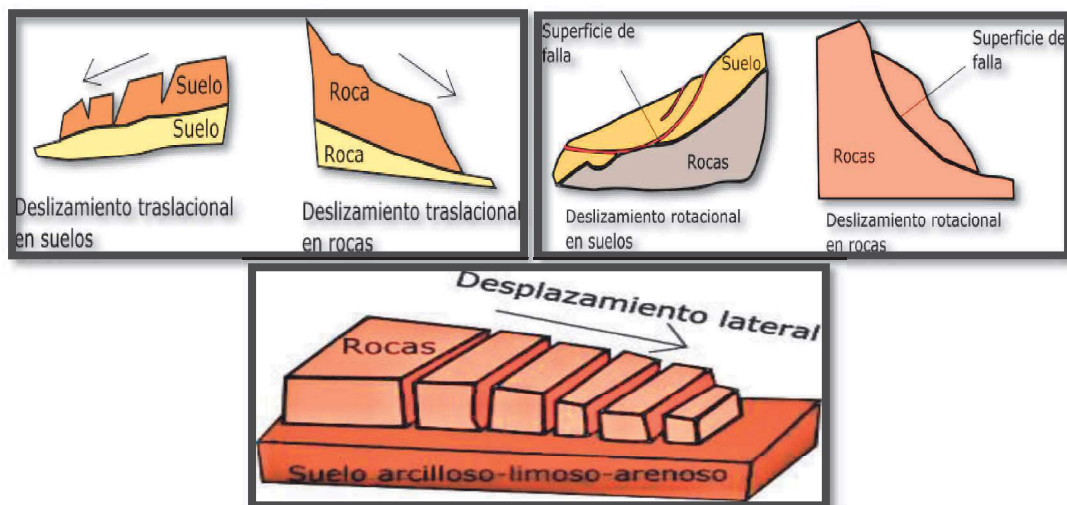


Figura. -13: Tipos de deslizamientos en suelos y rocas

Fuente: Google.com



Figura.14.- Inestabilidad de macizos rocosos

Fuente: Google.com

2.2.9. Factor de seguridad

Este al ser calculado para la estabilidad de taludes sin sobrecarga debe arrojar valores aproximados entre 1.2 y 1.5 llegando inclusive a este último valor; al ser un factor reductor de los parámetros resistentes para llegar a la rotura de un macizo rocoso.

En el análisis numérico de problemas de ingeniería geotécnica, existen diversas maneras para definir la rotura; de esta manera el criterio de falla o rotura de Hoek-Brown es el standard de la industria para calcular factores de seguridad de taludes y túneles en macizos rocosos con numerosas implementaciones de H-B como modelo elastoplástico que arrojan resultados no comparables. (ver gráfico 2)

$$F_{HB} = \sigma_3 - \sigma_1 - \sigma_c \left(s - m * \sigma_3 / \sigma_c \right)^a$$

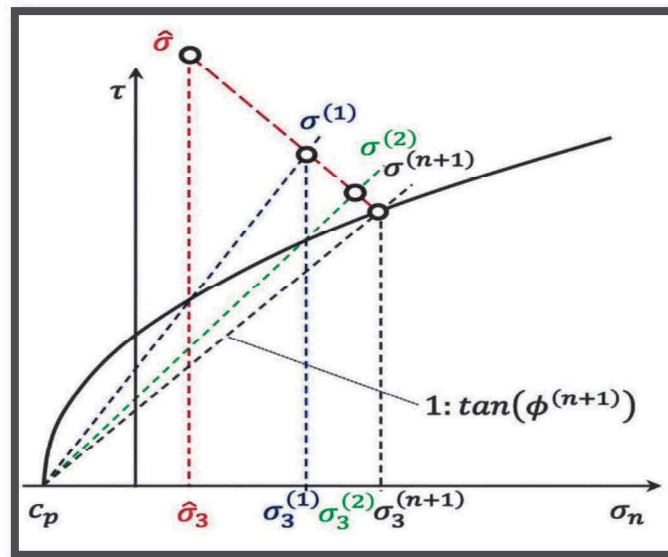


Gráfico. -3: Implementación numérica de Hoek & Brown; $\Phi(\sigma_3)$

Fuente: Ledesma, O. García, I. Sfriso, A.SRK. Consulting

2.2.10. Riesgo geológico

Un riesgo se refiere a las condiciones, procesos, fenómenos o eventos que debido a su localización y frecuencia pueden causar heridas, enfermedades o la muerte de seres humanos, y provocar daños al medio ambiente; el mismo es provocado por fenómenos naturales y son los que causan mayores catástrofes naturales. Con el fin de poder actuar de forma preventiva y minimizar el impacto de estos peligros tanto de las personas

como de bienes, es necesario conocer su comportamiento y su distribución en el territorio, siendo su clasificación la siguiente: los originados directamente por la dinámica de los procesos geológicos internos (volcanes, terremotos y tsunamis); los derivados directamente de la dinámica de los procesos geológicos externos (inundaciones y movimientos gravitacionales) y finalmente los riesgos geológicos inducidos provocados por la intervención y modificación directa del ser humano sobre el medio geológico o la dinámica de diversos procesos geológicos naturales.

Cada uno de los riesgos se estudia con el propósito de determinar sus causas, su alcance y evaluar su peligrosidad; herramientas que permitirán efectuar una ordenación adecuada de las actividades a realizar en territorios afectados por estos fenómenos, estableciendo medidas predictivas, preventivas o correctivas para evitar y/o minimizar el riesgo. (ver figura 15)



Figura. -15: Tipos de Riesgos Geológicos

Fuente: Google.com

2.2.11. La Cordillera de la Costa

Es una unidad orográfica, conjunto de elevaciones que constituyen el relieve de una región localizada en la región septentrional del país, cuyos límites son al norte: Mar Caribe; al sur: Región Llanera, al este el Océano Atlántico y al oeste: Depresión de Yaracuy; la misma representa un complejo sistema integrado por formaciones montañosas, colinas, valles y depresiones interiores; cuya extensión es de 53000 km.

En cuanto a su formación geológica es un bloque pirogénico, elevaciones que se forman por movimientos verticales, los cuales ocurren debido a las fallas longitudinales que se producen a cada lado de la Cordillera, es decir, fracturas geológicas recientes, a su vez está conformada por rocas ígneas y metamórficas.

Siendo la zona de estudio estructurada bajo un macizo rocoso del tipo esquito cretáceo, perteneciente a la formación Las Mercedes, K2 (ver figuras 16 al 19)

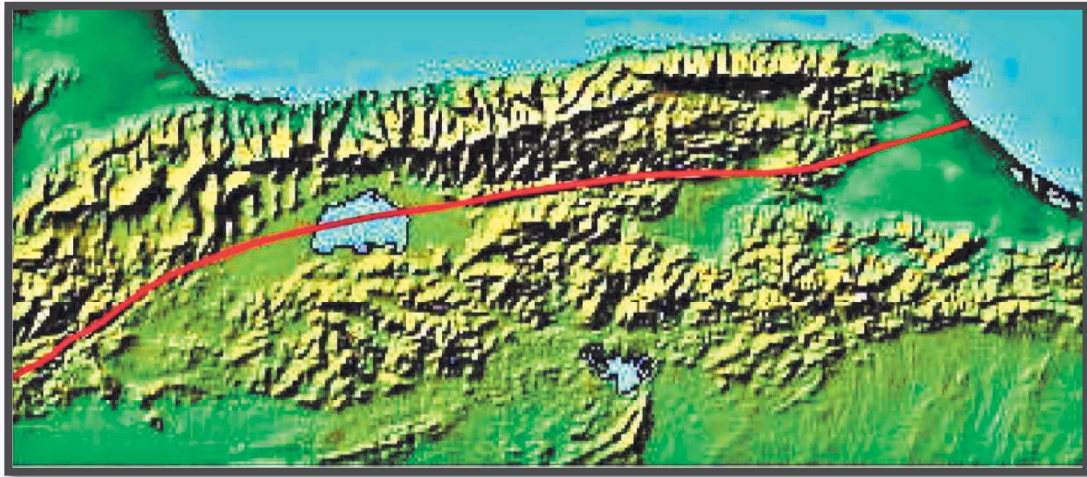


Figura. -16: Cordillera de la Costa y las unidades geológicas de la Serranía, NS
Fuente: Garrity et al 2004. SRTM-NASA, feb.2000

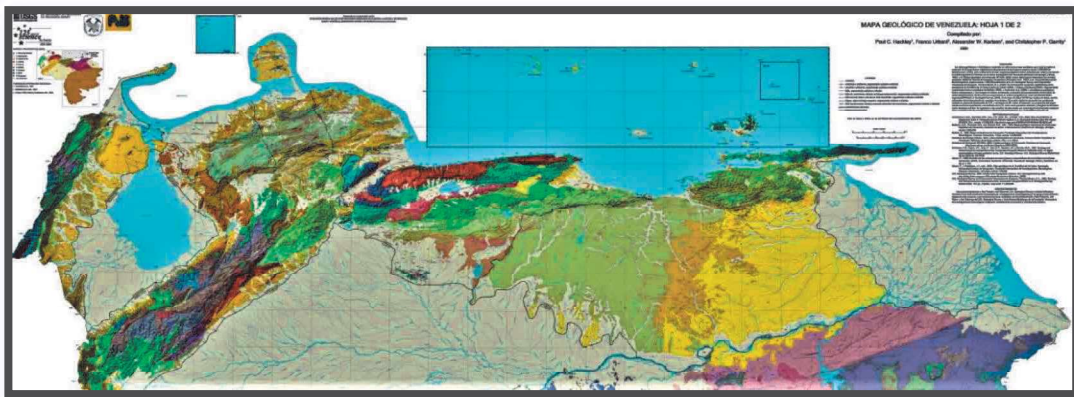


Figura. -17: Mapa Geológico de Venezuela
Fuente: UCV_Funvisis

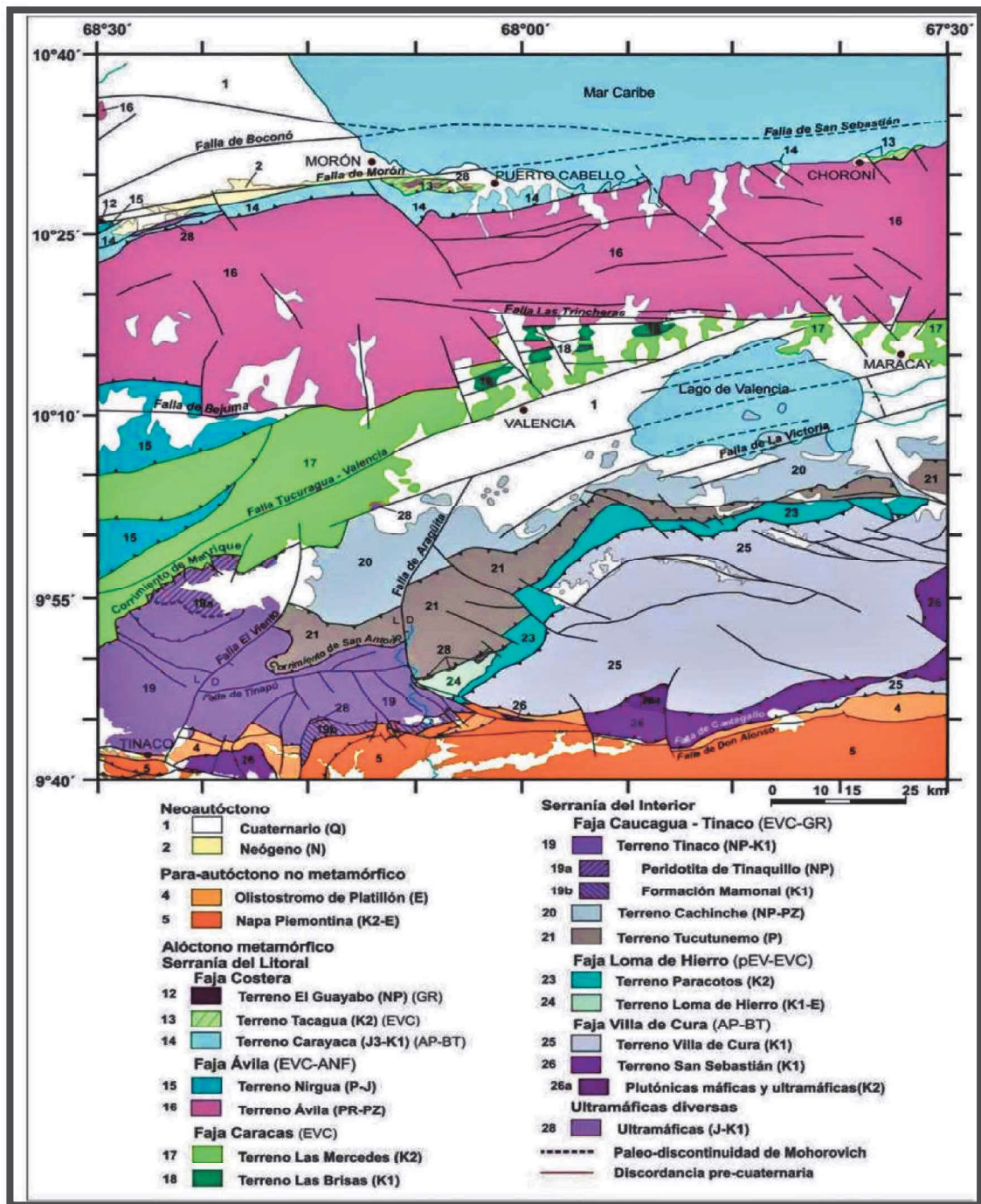


Figura 18.- Mapa geológico simplificado de la zona central de la Cd1C

Fuente: Boletín de geología Vol. XXIII N° 36 pag.124

2.2.12. Método de Hoek & Brown

Va dirigido a estimar la resistencia triaxial de los macizos rocosos, para el diseño de excavaciones subterráneas, siendo un criterio experimental que está definido por la siguiente expresión:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left[m * \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right]^{0.5}$$

Y que es válido para taludes en macizos rocosos homogéneos e isótropos, lo cual es imprescindible para poder aplicarlo, es decir, preferentemente es aplicable a macizos de muy baja calidad que se pueden clasificar casi como suelos duros o a macizos muy fracturados, en los cuales la estabilidad no está condicionada por defectos singulares del macizo en sí.

El criterio de rotura de Hoek-Brown es ampliamente aceptado y ha sido aplicado en un gran número de proyectos a nivel mundial; mientras que en general el criterio se considera satisfactorio, existen algunas incertidumbres e inexactitudes que ha creado inconvenientes en su implementación a modelos numéricos y a programas de computación de equilibrio límite. En particular, al presentarse la dificultad de encontrar un ángulo de fricción y resistencia cohesiva equivalentes para esta clase de macizos, ha sido un inconveniente desde la publicación original del criterio en 1980. Un programa de computación asociado, denominado “RockLab”, ha sido desarrollado con la finalidad de ser un medio conveniente de resolución y graficación de las ecuaciones presentadas.

Hoek y Brown, introdujeron su criterio de rotura en un intento de proporcionar los datos de partida para el análisis necesario en el diseño de excavaciones subterráneas en roca competente. El criterio se dedujo a partir de los resultados de las investigaciones de Hoek de roturas frágiles de rocas intactas y de un modelo de estudio del

comportamiento de macizos rocosos de Brown. El criterio partía de las propiedades de la roca intacta para luego introducir factores reductores de estas propiedades sobre la base de las características de un macizo rocoso diaclasado.

Los autores, intentaron relacionar el criterio empírico con las observaciones geológicas, por medio de uno de los sistemas de clasificación de los macizos rocosos, para lo cual eligieron el RMR (Rock Mass Rating) propuesto por Bieniawski. Debido a la ausencia de otras alternativas, el criterio fue pronto adoptado por la comunidad de la mecánica de rocas y su uso rápidamente se extendió más allá de los límites originales utilizados en la deducción de las relaciones de reducción de la resistencia.

Consecuentemente, llegó a ser necesario reexaminar estas relaciones e introducir nuevos elementos cada vez que dicho criterio era aplicado a un amplio rango de problemas prácticos; fruto de estos avances fue la introducción de la idea de macizos rocosos “inalterados” y “alterados” por Hoek y Brown, y la introducción de un criterio modificado para obligar a la resistencia a tracción del macizo rocoso a tender a cero para macizos de calidad muy mala (Hoek, Wood y Shah). Una de las primeras dificultades que aparecen en muchos problemas geotécnicos, particularmente en el ámbito de la estabilidad de taludes, es que es más conveniente tratar el criterio original de Hoek & Brown en términos de esfuerzos normales y al corte más que en términos de esfuerzos principales, según la ecuación original:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left[m * \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right]^{0.5} \quad \sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i * \sigma_3 * \sigma_{ci} + \sigma_{ci}^2} \quad (1)$$

donde

σ'_1 y σ'_3 = son los esfuerzos principales efectivos mayor y menor en el momento de rotura

σ_{ci} = es la resistencia a compresión simple o uniaxial del material intacto

m y $S =$ son las constantes del material, donde

$S = 1$ para roca intacta

Una relación exacta entre la ecuación 1 y los esfuerzos normales y al corte en la rotura fue deducida por J.W. Bray (recopilada por Hoek y últimamente por Ucar y por Londe1). Donde Hoek trató la derivación de las resistencias cohesivas y de los ángulos de fricción equivalentes para diferentes situaciones prácticas; y a su vez estas deducciones se basaron en las tangentes a la envolvente de Mohr obtenida por Bray. Para lo cual, Hoek sugirió que la resistencia cohesiva determinada al ajustar una tangente a la envolvente curvilínea de Mohr fuese un valor sobredimensionado y que pudiese dar unos resultados optimistas en los cálculos de estabilidad.

Consecuentemente, puede ser más apropiado un valor medio determinado al ajustar una relación lineal de Mohr-Coulomb por métodos de mínimos cuadrados. En ese sentido, Hoek también introdujo el concepto de criterio de Hoek-Brown Generalizado en el que la forma de la curva de la tensión principal o la envolvente de Mohr podría ajustarse por medio de un coeficiente variable, **a**, en lugar del término de la raíz cuadrada de la ecuación 1. Tanto Hoek como Brown intentaron consolidar todos los progresos anteriores en una presentación comprensiva del criterio de rotura y dieron numerosos ejemplos trabajados para ilustrar su aplicación práctica.

Además de los cambios en las ecuaciones, también se reconoció que el RMR de Bieniawski no era adecuado como vehículo para relacionar el criterio de rotura con las observaciones geológicas en campo, particularmente para macizos rocosos muy débiles. Ello condujo a la introducción del Índice de Resistencia Geológica, GSI (Geological Strength Index) por Hoek, Wood y Shah, Hoek y Hoek, Kaiser y Bawden. Este índice fue posteriormente extendido a macizos rocosos débiles a través de una serie de artículos de Hoek, Marinos y Benisi; Hoek y Marinos. (ver tabla 2)

Tabla de Resistencia a la compresión de algunas rocas metamórficas		
Tipo de Roca	Res. a la Compresión	Res. a la Tracción
Esquisto	500-600 Kg/cm2	20-50 Kg/cm2
Pizarra	1000-1800 Kg/cm2	70-200 Kg/cm2
Gneiss	1600/2000 Kg/cm2	50-200 Kg/cm2

Índices de Campo para <i>estimar</i> la Res. a la Compresión Simple			
Índice	Clasificación	Efecto visual	Res. en MPa
R-2	Roca Blanda	Deja una marca al golpear	5 a 25
R-3	Roca mod. Dura	Se fractura al golpear fuerte	25 a 50
R-4	Roca Dura	Más de un golpe para fracturarla	50 a 100
R-5	Roca muy Dura	Muchos golpes para fracturarla	100 a 250
R-6	Roca extrem. Dura	Al golpear suelta esquirlas	Más de 250

Valores típicos de Peso Específico y Porosidad		
Tipo de Roca	Peso Específico (gm/cm3)	Porosidad (%)
Esquisto	2.5 a 2.8	3%

Tabla. -2: Resistencia de algunas rocas metamórficas

Fuente: Brown, et. 1981. Rock characterization. Test and monitoring. ISRM methods Society for Rock

Criterio de Hoek-Brown generalizado

La secuencia de cálculos propuesta para la aplicación del criterio de Hoek y Brown Generalizado a macizos rocosos diaclasados se expresa de la manera siguiente:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left[m_b * \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + S \right]^a \quad (2)$$

Donde, m_b es un valor reducido de la constante del material m_i y está dado por:

$$m_b = m_i * \exp \left[\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right] \quad (3)$$

S y a son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

$$S = \exp \left[\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right] \quad (4)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[e^{-GSI / 15} - e^{-20/3} \right] \quad (5)$$

Donde,

D es un factor que depende sobre todo del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por los efectos de las voladuras o por la relajación de esfuerzos. Varía desde **0** para macizos rocosos in situ inalterados hasta **1** para macizos rocosos muy alterados. La resistencia a la compresión uniaxial se obtiene haciendo $\sigma'_3 = 0$ en la ecuación 2, dando así:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} * S^a \quad (6)$$

y siendo la resistencia a tracción:

$$\sigma_t = \frac{S \sigma_{ci}}{m_b} \quad (7)$$

La ecuación (7) se obtiene haciendo $\sigma'_1 = \sigma'_3 = \sigma_t$ en la ecuación (2); esto representa una condición de tensión biaxial. Hoek mostró que, para materiales frágiles, la resistencia a tracción uniaxial es igual a la resistencia a tracción biaxial.

Resistencia del macizo rocoso

En cuanto a la resistencia a compresión uniaxial del macizo rocoso está dada por la ecuación (6); la rotura se inicia en el contorno de una excavación cuando los esfuerzos introducidos en dicho contorno exceden el valor σ_c . La rotura se propaga desde este

punto inicial formando un campo de esfuerzos biaxial en rotura y eventualmente se estabiliza cuando la relación de esfuerzos de resistencia local, definida por la ecuación (2), resulta mayor a la combinación de esfuerzos inducidos σ'_1 y σ'_3 .

Muchos modelos numéricos pueden seguir este proceso de propagación de rotura, siendo muy importante este nivel de análisis detallado cuando se trata de determinar la estabilidad de excavaciones en roca y cuando se diseñan sistemas de sostenimiento para estas excavaciones, Sin embargo, hay ocasiones en las que es útil considerar el comportamiento global del macizo rocoso más que el proceso detallado de propagación de rotura escrito anteriormente; el valor del parámetro m_i para la ecuación (3) se puede estimar en primera aproximación a partir de la tabla siguiente, (ver tabla 3)

Tipo de roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Argilita 4
			Grauwaca (18)			
	No clásticas	Orgánicas	Creta(18) Carbón (8 21)			
		Carbonatadas	Brecha (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8	
		Evaporitas	Yeso 16		Anhidrita 13	
METAMÓRFICAS	No foliadas		Mármol 9	Corneanas (19)	Cuarcita 24	
	Ligeramente foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 31	Milota (6)	
	Foliadas*		Gneiss 33	Esquisto (10)	Filita (10)	Pizarra 9
IGNEAS	Claras		Granito 33		Riolita (16)	Obsidiana (19)
			Granodiorita (30)		Dacita (17)	
			Diorita (28)		Dacita 19	
			Gabro 27	Dolerita (19)	Basalto (17)	
			Norita 22			
	Extrusivas piroclásticas		Aglomerado (20)	Brecha (18)	Toba (15)	

Tabla. - 3: Estimación de la constante m_i del material intacto

Fuente: Ramírez, P. y Alejano, L. (2004). Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes.

Estimación del parámetro, D.

La experiencia en el diseño de taludes a grandes rasgos a cielo abierto ha mostrado que el criterio de Hoek-Brown para macizos rocosos *in situ* no alterados ($D = 0$) da

lugar a parámetros de resistencia del macizo rocoso consideradas optimistas. Los efectos de los intensos daños de las voladuras, así como de la relación de esfuerzos debido a la retirada del estéril de recubrimiento, provocan una alteración del macizo rocoso y para estos macizos rocosos es más apropiado considerar propiedades “alteradas” del macizo ecuación (6), es decir $D = 1$ en las ecuaciones 3 y 4. A continuación, se dan a conocer dos casos en los que el método Hoek & Brown no arrojaron los resultados esperados para el análisis de macizos rocosos.

Caso 1.

Lorig y Varona, muestran que factores tales como el confinamiento lateral producido por los diferentes radios de curvatura de los taludes (en planta) comparados con su altura también tienen su influencia sobre el grado de alteración. Sonmez y Ulusay, analizaron retrospectivamente cinco roturas de taludes en minas de carbón a cielo abierto en Turquía e intentaron asignar factores de alteración a cada macizo rocoso basándose fundamentalmente en la evaluación de las propiedades de los macizos rocosos deducidas con el criterio de Hoek-Brown. Sin embargo, uno de los taludes parece estar controlado estructuralmente mientras que el otro consiste en un depósito de estéril desplazado; lo que hace considerar a los autores que el criterio de Hoek-Brown no es aplicable a estos dos casos.

Caso 2.

Cheng y Liu, quienes recopilaron los resultados de análisis retrospectivos de medidas de deformación, a partir de extensómetros colocados antes del comienzo de la excavación, en la caverna de la central hidroeléctrica de Mingtan en Taiwán, encontrándose que la zona dañada por las voladuras se extendía a una distancia de unos 2 m alrededor de toda la excavación; tanto la resistencia como las propiedades de deformación del macizo rocoso dañado calculadas de manera retrospectiva dieron un factor de alteración equivalente $D = 0,7$.

A partir de estas referencias, quedo claro que sobre el grado de alteración en el macizo rocoso circundante a una excavación pueden influir un gran número de factores y que nunca es posible cuantificar estos factores de manera precisa. (ver tabla 4)

EXCAVACIÓN	Descripción del macizo rocoso	Valor de D (sugerido)
TÚNELES Y EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	Voladura con excelente control o excavación mecánica con TBM con una perturbación mínima del macizo rocoso que rodea al túnel.	D = 0
	Excavación mecánica o manual en macizos de mala calidad con una perturbación mínima del macizo rocoso que rodea al túnel.	D = 0
	Problemas de "squeezing" o flujo de roca que den lugar a la elevación de la solera. Si se coloca un sostenimiento temporal de la misma, se utiliza el D del caso anterior.	D = 0.5
	Voladuras poco cuidadosas en macizos rocosos duros, que den lugar a daños en el macizo que se extienden entre 2 y 3 metros hacia su interior	D = 0.8
TALUDES EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERA	Voladuras con excelente control en pequeños taludes (sobre todo si se utiliza precorte o recorte). La relajación de tensiones produce perturbación.	D = 0.7
	Voladuras poco cuidadosas en pequeños taludes en el ámbito de la ingeniería civil.	D = 1.0
	En cortas y grandes explotaciones mineras a cielo abierto se produce mucha perturbación por las grandes voladuras de producción y por la relajación de tensiones asociada a la retirada de material.	D = 1.0
	Excavación por arranque mecánico o "ripado" en rocas blandas.	D = 0.7

Tabla. - 4: Estimación del parámetro D en un macizo rocoso

Fuente: Ramírez, P. y Alejano, L. (2004). Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes.

Métodos simplificados, Ábacos.

Aunque es cierto que se utilizan en la actualidad muchos programas de cálculo, como herramientas de análisis novedosas aplicadas a la mecánica de rocas; también es cierto que los ábacos permiten comprobar el análisis en la estabilidad de taludes de una manera simple, aun, cuando es necesario adoptar aproximaciones y simplificaciones

para su aplicación y también se han utilizado en el tratamiento de cierto tipo de inestabilidad de taludes.

Hoek & Brown desarrollaron ábacos, adimensionalizando factores que influyen en: la geometría del talud, la profundidad de la grieta de tracción y la profundidad del agua en la grieta de tracción, para así determinar el F_s , factor de seguridad. Esta metodología grafica para el cálculo de la estabilidad de taludes con rotura plana tiene vigencia o validez por su sencillez o simplicidad.; así como para talud con rotura circular. (ver gráfico 4)

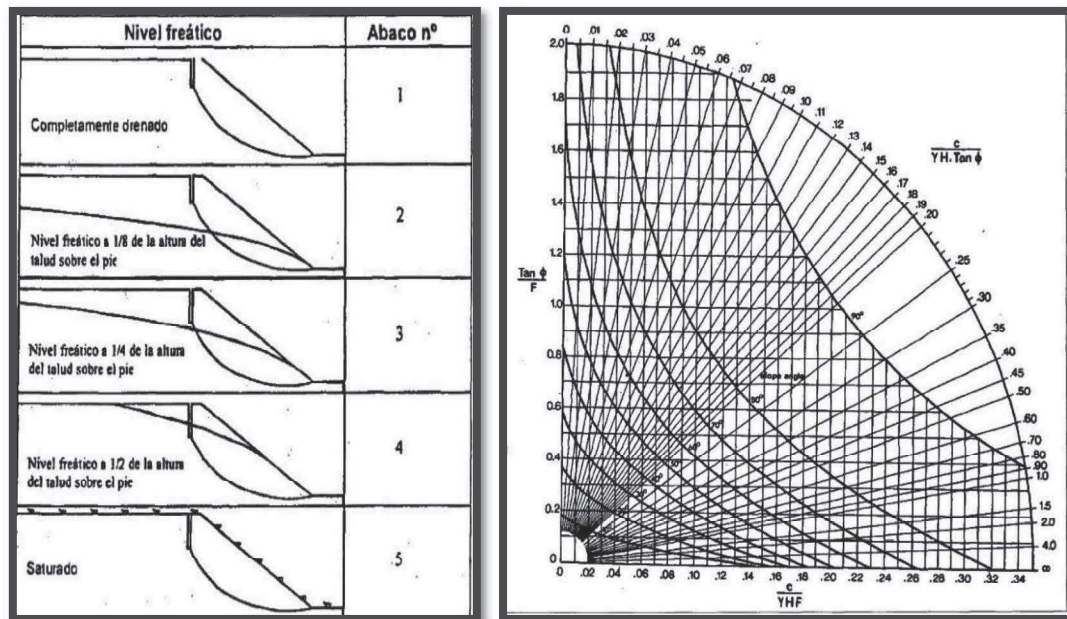


Gráfico. -4: Abaco, deslizamiento de rotura circular de talud seco, H&B (1981)

Fuente: Melentijevic, S. (2005)

Condiciones para la aplicabilidad del método de Hoek & Brown en macizos rocosos.

Este criterio solo es aplicable al material rocoso intacto o a los macizos rocosos fracturados que puedan ser considerados homogéneos e isótropos. El mismo funcionara bien en aquellos macizos rocosos cuya resistencia está controlada por bloques angulares de rocas duras bien encastradas. Así mismo, no se debe aplicar sobre aquellos macizos cuyas propiedades estén controladas por una sola familia de discontinuidades

como las estratificadas, para los cuales resultaría más adecuado utilizar criterios de juntas ubicuas.

Cabe destacar que cuando aparezcan dos familias muy marcadas de discontinuidades se debe utilizar este criterio de Hoek & Brown con cierta prudencia; así estaría bien aplicado en el caso de que ninguna de las dos familias tenga un efecto dominante sobre la otra. En caso contrario, por ejemplo, si una de las familias de juntas posee un relleno de arcilla y es manifiestamente más débil que la otra, no se debe usar este criterio. (ver gráfico 5)

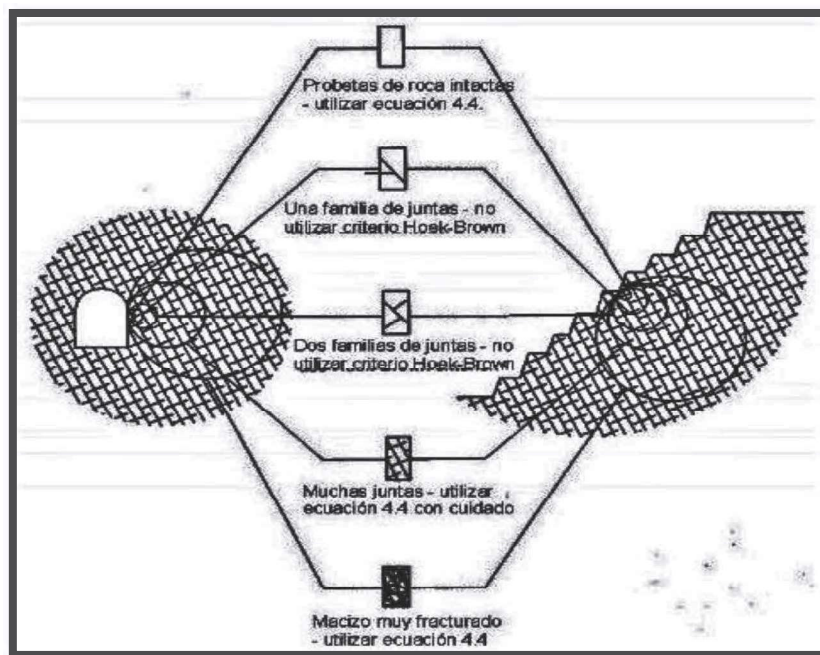
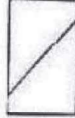


Grafico .-5: Condiciones a cumplirse para la aplicación met.H&B en el macizo

Fuente: Ramírez, P. y Alejano, L. (2004). Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes.

Cuadro. -3: Guía de aplicabilidad del método o de Hoek & Brown en macizos

	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS RESISTENTES	ENSAYOS DE RESISTENCIA	CONSIDERACIONES TEÓRICAS
	Roca intacta	Consistencia frágil, elástico e isótropo	Ensayos triaxiales de testigos relativamente simples, baratos y confiables	El comportamiento de las rocas elásticas e isótropas es suficientemente conocido para la mayoría de las aplicaciones prácticas
	Roca intacta con una discontinuidad inclinada	Comportamiento muy anisótropo, dependiente de la resistencia al corte y de la inclinación de la discontinuidad.	Ensayos triaxiales difíciles y caros; preferibles los ensayos de corte directo. Los ensayos deben estudiarse detenidamente.	El comportamiento de las discontinuidades es suficientemente conocido para la mayoría de las aplicaciones prácticas.
	Roca masiva con pocas familias de discontinuidades.	Comportamiento anisótropo, dependiente del número, orientación y resistencia al corte de las discontinuidades	Los ensayos de laboratorio son muy difíciles debido a problemas de alteración de las muestras y tamaño de equipos.	La compleja interacción entre bloques no es suficientemente conocida.
	Macizos rocosos muy triturados.	Comportamiento razonablemente isótropo, gran dilatación para tensiones bajas y rotura de partículas a tensiones altas.	Los ensayos triaxiales de muestras representativas son muy difíciles debido a la alteración de éstas.	El comportamiento de los trozos angulares unestrados es poco conocido.
	Rellenos compactados de roca o conglomerados poco cementados	Comportamiento razonablemente isótropo, menos dilatación y resistencia que los macizos in situ debido a la destrucción de la fábrica.	Los ensayos triaxiales son sencillos pero caros debido al gran tamaño de los equipos necesarios.	Comportamiento razonablemente bien conocido a partir de los estudios de la mecánica del suelo sobre materiales granulares.
	Escombros de roca flojos o gravas	Su pequeña compactación y heterogeneidad permite que las partículas se muevan y que su resistencia sea pequeña.	Los ensayos triaxiales o de corte directo son sencillos pero caros debido al gran tamaño de los equipos.	El comportamiento de estos materiales es suficientemente conocido para la mayoría de las aplicaciones.

Fuente: Ramírez, P. y Alejano, L. (2004). Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes.

Cuando no es posible realizar pruebas de laboratorio, se pueden utilizar las tablas 3 y 5 para estimar los valores de σ_{ci} y m_i . Estas estimaciones se pueden usar para los propósitos de un diseño preliminar, pero para diseños de detalle se deberían de desarrollar ensayos de laboratorio que permitan obtener valores más confiables. De igual manera, cuando se ensayan rocas muy duras y frágiles, valdría la pena considerar

el hecho que las pruebas de laboratorio, de corta duración, tienden a sobrestimar la resistencia in situ del macizo rocoso.

Es de vital importancia recalcar que las rocas anisotrópicas y foliadas como las pizarras, esquistos y filitas, cuyo comportamiento es dominado por planos de debilidad, clivaje o esquistosidad, los cuales están muy poco espaciados, presentan especiales dificultades para la determinación de su resistencia en compresión no confinada.

Clase (a)	Calificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial (MPa)	Índice de carga puntual (MPa)	Estimación en terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
R5	Muy Resistente	100 – 250	4 – 10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita, toba.
R4	Resistente	50 – 100	2 – 4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquistos, pizarras.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	1 – 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe del martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillolita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
R2	Débil	5 – 25	(b)	Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con una cortaplumas pero con dificultad.	Creta, sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1 – 5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0,25 – 1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

(a) Clases según Brown [2].
(b) Para rocas con una resistencia en compresión uniaxial menor que 25 MPa los resultados del ensayo de carga puntual son poco

Tabla. - 5: Estimación de la resistencia en compresión simple o uniaxial

Fuente: U-Cursos.cl/ingeniería. Paper Hoek (2007)

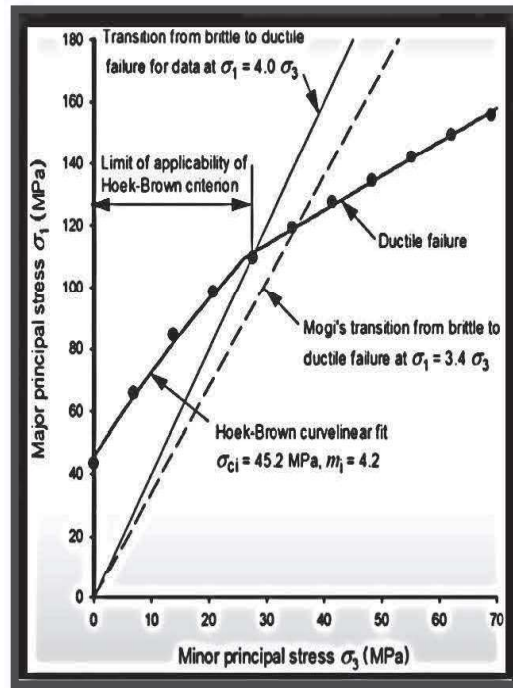


Grafico. -6: Limites para la aplicación del Criterio Hoek y Brown (2018)

Fuente: Geotadi. Criterio de rotura 2/6

NO

Para los esfuerzos traccionales, (izq.)
Rotura dúctil, (der.)

SI

**Rotura frágil
** Con gran número de discontinuidades
los bloques de roca solo rotan entre sí en cualquier ➡

2.2.13. Método GSI

Método del índice de resistencia geológica, el cual se basa en la estimación de la resistencia a la deformación y la deformabilidad de la masa rocosa para diferentes condiciones geológicas (ver cuadro 4)

Cuadro 4.- Parámetros fundamentales en base al GSI por las descripciones de campo

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGUN GSI MODIFICADO Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidas in situ con una wincha. La resistencia se determina golpeando o indentando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de las paredes y relleno de las discontinuidades.					
ESTRUCTURA		CONDICIÓN SUPERFICIAL			
		MUY BUENA (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades (muy rugosa) se resaca al intentar mover la roca (se astilla con golpes de picota)	BUENA (muy resistente, levemente alterada) discontinuidades levemente rugosas y con poca alteración, las juntas (Rc: 100 a 200 MPa) (se rompen con varios golpes de picota)	REGULAR (resistente, levemente alterada) discontinuidades con poca rugosidad y poca alteración, las juntas (Rc: 80 a 100 MPa) (se rompen con uno o dos golpes de picota)	MUY REGULAR (poco resistente, muy alterada) discontinuidades con poca rugosidad y mucha alteración, las juntas (Rc: 25 a 50 MPa) (se rompen con golpes de picota)
	LEVEMENTE FRACTURADA Tres o menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fracturas por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)	LFMB	LFIB	LFIR	LFIP
	MODERADAMENTE FRACTURADA Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)	FMB	FIB	FIR	FIP
	MUY FRACTURADA Mediamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)	MFMB	MFIB	MFIR	MFIP
	INTENSAMENTE FRACTURADA Pigamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0-25%) (Más de 20 fracturas por metro)	IFMB	IFIB	IFIR	IFIP
	TRITURADA O BRECHADA Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente desintegrables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)	TMB	TIB	TIR	TIP

Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.		CONDICIONES DE SUPERFICIE	
		MUY BUENA Superficie muy rugosa, no meteorizada, fresca	BUENA Superficie rugosa, ligeramente meteorizada, manchada con hierro
		REGULAR Superficie lisa, moderadamente meteorizada y alterada	MUY REGULAR Superficie con espesor de falla, alto grado de meteorización y relleno con arcilla
		MUY REGULAR Superficie con espesor de falla, alto grado de meteorización y relleno con arcilla	MUY REGULAR Superficie con espesor de falla, alto grado de meteorización y relleno con arcilla

ESTRUCTURA	DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE
	INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas
	FRACTURADA Macizo rocoso con bloques enclavados, bloques cúbicos formados por tres intersecciones de sistemas de discontinuidades
	MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entrelazados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas
	FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificación
	DISREGGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados
	LAMINADA/RELIADA Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistosidad y cizalla

Fuente: <https://es.scribd.com/>

Como calcular y medir el GSI,

$$m = m_i \cdot \exp ((GSI-100) / 28)$$

Los valores de s y α se obtienen de distintas expresiones, dependiendo de si el valor de **GSI** es mayor o menor que 25 (valor arbitrario) donde los valores mayores a 25 representan macizos rocosos de media a buena calidad y los menores a 25 de mala a muy mala calidad. La determinación del **GSI** se hace a partir de la tabla 3 y cuadro 4 en los que se ingresa desde dos (2) puntos diferentes, uno horizontal: referente al tamaño y entramamiento de bloques, composición y estructura; el ingreso vertical es referente a las condiciones de las discontinuidades, se converge posteriormente en el valor.

Índice RQD

Rock Quality Designation, fue desarrollado por Deere en 1967 y es el índice más usado para medir el grado de fracturación de un macizo rocoso. Nos da idea del número y condiciones de las fracturas que afectan a los materiales.

Índice RMR

El sistema Rock Mass Rating, RMR, propuesto inicialmente por Bieniawski en 1973, ha sido revisado posteriormente en 1974,1975, 1976,1979 y 1989. Se trata de un índice que evalúa la competencia del macizo rocoso basándose en 6 parámetros: Resistencia de la roca intacta; se obtiene como suma de unas puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros y oscila entre 0 y 100, y que es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. (ver tabla 5)

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO																		
Clasificación RMR de Bieniawski (1989)																		
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORACIONES												VALORACIÓN				
RESIST. COMP. UNIAIAL (MPa)		> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	< 25	2	< 5	1	< 1	0	1	> 250	▼
RQD %		90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	< 25					3	2	90 - 100	▼
ESPACIAMIENTO (m.)		> 2	20	0.6 - 2	15	0.2 - 0.6	10	0.06 - 0.2	8	< 0.06					5	3	> 2	▼
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m.	6	1 - 3m.	4	3 - 10mm.	2	10 - 20m.	1	> 20mm.					0	4A	< 1m.	▼
	APERTURA	Cerrada	6	< 0.1mm.	5	0.1 - 1.0mm.	4	1 - 5mm.	1	> 5mm.					0	4B	Cerrada	▼
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla					0	4C	Muy rugosa	▼
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm.	4	Dura > 5mm.	2	Suave < 5mm.	1	Suave > 5mm.					0	4D	Limpia	▼
ALTERACIÓN		Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. Alterada	3	Muy Alterada	2	Descompuesta					0	4E	Sana	▼
AGUA SUBTERRÁNEA		Seco	15	Húmedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo					0	5	Seco	▼
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 100																		
CLASE DE MACIZO ROCOSO																		
RMR		100 - 81	80 - 61			60 - 41			40 - 21			20 - 0			I			
DESCRIPCIÓN		I MUY BUENA			II BUENA			III REGULAR			IV MALA			V MUY MALA			MUY BUENA	

Edison Jesús
Rosas Quiroga

PARÁMETRO PARA CALCULAR EL RMR SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES
TÚNELES Y MINERÍA
(Rumbo y Buzamiento)

Rumbo Perpendicular al EjeDirección contra Buzamiento 45-90°▼

Rango RMR

Regular

-5

VALOR RMR (Corregido) = 95																		
CLASE DE MACIZO ROCOSO																		
RMR		100 - 81	80 - 61			60 - 41			40 - 21			20 - 0			I			
DESCRIPCIÓN		I MUY BUENA			II BUENA			III REGULAR			IV MALA			V MUY MALA			MUY BUENA	

Tabla. – 6: Bieniawski, tipos o clases de roca según el valor del RMR

Fuente: Édison, J.R.Q (2012)

Objetivo de este sistema de clasificación geomecánica

La clasificación geomecánica RMR tiene como objetivo definir la calidad de los macizos rocosos, este índice se calcula teniendo en cuenta la resistencia de la matriz

rocosa, el índice RQD, condición de las discontinuidades y parámetros hidrogeológicos.

2.2.14 Software RocLab de Rocscience

RocLab es un programa de computación que permite determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso de acuerdo al criterio de rotura Generalizado de Hoek-Brown; siendo un producto de libre distribución desarrollado por Rocscience Inc. Con este programa se pueden realizar las siguientes tareas:

1.- Determinar los parámetros de resistencia, generalizados de Hoek-Brown (m_b , s y a), basados en la introducción de los siguientes datos:

- ✓ La resistencia a la compresión no confinada de la roca intacta **σ_{ci}**
- ✓ El parámetro de la roca intacta **m_i**
- ✓ El índice de resistencia geológica GSI
- ✓ El parámetro de perturbación, D

2.- Proyectar Envoltentes de Rotura

Proyectar la envolvente de rotura de Hoek-Brown en el espacio de tensiones principales y/o en el espacio de tensiones de cizalla y normales.

- ✓ Variación interactiva de los parámetros **σ_{ci} , GSI, m_i , D** , para observar cómo cambia la envolvente de rotura con cada parámetro.

3.- Estimación de Parámetros de Entrada

Cada uno de los cuatro (4) parámetros anteriores (**σ_{ci} , m_i , GSI y D**), pueden ser convenientemente estimados mediante ábacos y tablas de datos integrados, a partir del tipo de roca, condiciones geológicas, etc.

4.- Resultados de Ensayos Triaxiales.

Los resultados de ensayos triaxiales de roca intacta se pueden utilizar para determinar los valores de **σ_{ci}** y **m_i** mediante la técnica de ajuste de Marquardt-Levenberg.

- ✓ Los resultados triaxiales se pueden importar desde Microsoft Excel, utilizando el portapapeles (clipboard), o desde ficheros de datos tipo texto (ASCII) separados por comas, ficheros tipo RocDat o desde otros ficheros tipo RocLab.
- ✓ Los datos también se pueden introducir utilizando una hoja de cálculo incluida en el programa RocLab mismo.

5.- Otros Parámetros del Macizo Rocosos

El programa calcula otros parámetros tales como la resistencia a tracción, la resistencia a la compresión uniaxial y el módulo de deformación.

6.- Muestreador de Tensiones

Se puede muestrear gráficamente las envolventes de Hoek-Brown o de Mohr-Coulomb para determinar la resistencia de cualquier valor concreto de las tensiones (principal, cizalla o normal).

7.- Unidades

El análisis en RocLab se puede realizar en unidades Métricas o Imperiales, en el sistema métrico las unidades de tensión son los Mega pascuales (MPa), en el Imperial, las tensiones pueden ser las Kilo libras por pie cuadrado (ksf) o las Kilo libras por pulgada cuadrada (ksi), el sistema de unidades se selecciona en el diálogo de preparación del Proyecto (Project Settings) en el Menú de Análisis (Analysis).

8.-Exportar Datos e Imágenes

Se pueden exportar datos para un análisis posterior o para inclusión en informes escritos:

- ✓ Copiar los datos y/o proyectarlos al portapapeles para una fácil importación a Microsoft Word o a otro procesador de textos o programa de edición de imágenes.
- ✓ Copiar los datos y/o proyectarlos directamente a Microsoft Excel.
- ✓ Salvar los gráficos como ficheros de imágenes JPEG o BMP.
- ✓ Imprimir y/o visualizar la impresión.

9.-Opciones de Presentación

Posee numerosas opciones para la personalización de los gráficos y entre las disponibles están: a) Cambiar colores, fuentes, grosor de línea. b) La superposición de retículos. c) Añadir título al gráfico y mostrar la introducción de los datos directamente sobre las proyecciones d) Seleccionar efectos zoom., entre otras más.

Rocsciencie

Es una empresa privada creada en el año 1996, con su sede principal ubicada en el centro de Toronto, Canadá; es el desarrollador líder en la industria de software geotécnicos que se especializan en el modelado y análisis 2D y 3D de rocas y suelos, sus programas se utilizan ampliamente en aplicaciones civiles y mineras para ayudar a mejorar la seguridad y reducir los costos al analizar estructuras rocosas superficiales y subterráneas.

Siendo sus softwares muy recomendados por expertos en el campo, puesto que sus soluciones son amigables con el usuario, pueden acelerar y mejorar la precisión de proyectos de diseño como centrales eléctricas subterráneas, túneles, escalones de minas, taludes de roca y de suelo. (ver figura 20)

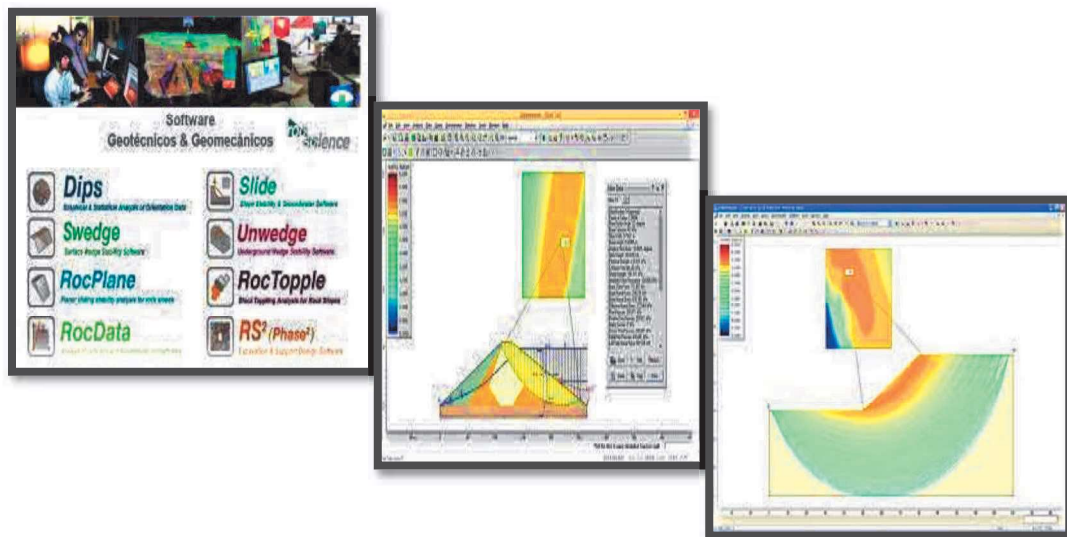


Figura. -20: Modelado de taludes en macizos con Rocklab de Rocksciencie

Fuente: MLYC biblioteca virtual

2.2.15. Sistema de contención rígidos

Es una estructura en concreto proyectado armado o no, que va a servir para dar equilibrio a un terreno en declive que no es capaz de sostenerse por sí mismo con la pendiente natural que posee o la que físicamente se le ha dado; la respuesta dinámica de las estructuras de retención de tierra es un problema complejo que ha recibido la atención de varios investigadores en los últimos años (Kramer,1996).

El comportamiento del muro depende de su tipo y de la relación entre este y el material sostenido; con relación al material los muros pueden ser cedentes o no cedentes; los primeros son aquellos cuyo movimiento les permite alejarse del material sostenido, con lo cual la cuña de suelo movilizada desarrolla la presión activa sobre el muro; en los segundos el movimiento está impedido, por lo que el empuje sobre el muro es mayor que en el caso activo, pudiendo llegar a ser igual al pasivo cuando se trate de muros adecuadamente anclados o atirantados.(ver figura 21)

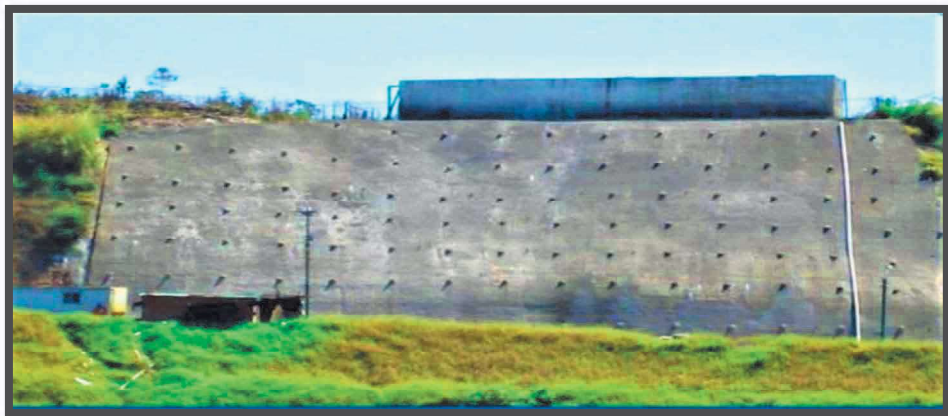


Figura.21.- Pantallas atirantadas: maciza y reticular

Fuente: ECOGREEN Construcciones (2018)

2.2.15.1. Muros anclados o pantallas atirantadas.

Este tipo de muro incluye los pernos metálicos para cumplir la función de sostenimiento de los bloques de roca que se encuentre en situación de inestabilidad; el detalle común de las tecnologías de pernos es que minimizan la relajación o desprendimiento de los bloques de rocas (Hoek, 1983). Una vez que los bloques se

encuentren en estado suelto es muy difícil recobrar la estabilidad completa del macizo, por eso la colocación de anclajes es muy útil que se realice, previamente a la excavación (Wyllie y Norrish, 1996).

Este pre-refuerzo se puede lograr instalando anclajes a medida que se avanza con la excavación o instalando pernos a la cresta del corte, antes de la excavación; estos anclajes en roca pueden realizarse de muchas formas, sin embargo, hay dos técnicas que son las más utilizadas: con pernos individuales no tensionados, también conocidos como anclajes pasivos y los tensionados o también llamados anclajes activos.

Los muros anclados no tensionados o con anclajes pasivos, están constituidos por pernos estructurales mejor conocidos como varillas o cabillas de acero, las cuales se colocan dentro de una perforación, que posteriormente es inyectada con cemento para unir la cabilla al macizo de roca; esto significa que el macizo de roca se refuerza por intermedio de la cabilla de acero, debido a esto se puede evitar las caídas de roca y en ocasiones los deslizamientos de macizos de rocas fracturadas con discontinuidades muy espaciadas. (ver figura 22 y 23)



Figura. -22: Armado de pantalla atirantada

Fuente: ECOGREEN Construcciones (2018)

El diseño de los pernos generalmente es empírico basado en un análisis de discontinuidades en el macizo y de la estabilidad de los bloques; siendo la parte más importante del diseño el determinar donde estará ubicado, con que inclinación y que longitud debe tener cada perno.

Los muros anclados tensionados o también llamados con anclajes activos, son una técnica que consiste en la colocación dentro del macizo de roca y muy por debajo de la superficie de falla potencial, de una serie de tirantes de acero anclados en su punta y tensados por medio de gatos colocados en la superficie; estos anclajes producen fuerzas de compresión que aumentan la fricción y contrarrestan la acción de las fuerzas desestabilizadoras.

Los anclajes pretensados se colocan atravesando posibles superficies de falla, anclando los bloques a la roca sana que se encuentra por detrás de esta superficie; el tensionamiento de los pernos transmite una fuerza a la roca, produciendo una compresión y modificando los esfuerzos normales sobre la superficie de falla, si las fuerzas de anclaje se instalan a un ángulo menor que al normal de la superficie potencial de falla, se crea adicionalmente, una fuerza resistente que se opone al movimiento.

La fuerza requerida para el anclaje, se minimiza cuando la suma del ángulo de buzamiento del ancla y el de la fractura es igual al ángulo de fricción. Finalmente, en la cabeza exterior del anclaje se coloca una lámina o pletina metálica para fijar el anclaje y permitir su tensado. Este tipo de metodología también es conocida como pantalla atirantada.



Figura. -23: Proyección del concreto en pantalla

Fuente: ECOGREEN Construcciones (2018)

2.2.15.2. Geo mantas verdes

Son un sistema flexible para la estabilización de taludes fabricados a base de geomallas de poliéster de alto modulo y en muchos casos se presenta en combinación con mallas de alambre fuertemente galvanizados en combinación con anclajes pasivos. (ver figura 24).



Figura. -24: Geo mantas

Fuente: ECOGREEN Construcciones (2018)

2.2.15.3 Estabilización de taludes con geo mantas

En geotecnia es indispensable analizar la estabilidad o la posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto o una obra de construcción; las razones para dicha inestabilidad se pueden producir por razones geológicas, como laderas inestables, relieve, estratificación, meteorización, entre otros. La variación del nivel freático, producida por situaciones estacionales u obras realizadas por el hombre, es otra de las razones de inestabilidad, así como también los movimientos de tierra y obras de ingeniería donde se hace necesario realizar cortes y relleno.

La geo manta puede llegar a solucionar el problema de las inestabilidades superficiales generalmente con comportamientos paralelos al talud, puesto que en muchos casos esta zona tiene el mismo espesor que la capa vegetal o forma parte de la misma. Adicionalmente, vienen a ser una solución dentro de la ingeniería moderna, debido a que posee la ventaja ecológica de presentar una cobertura vegetal en su acabado final que armoniza con el medio ambiente y fomenta la infraestructura verde.

Este sistema se ha usado ampliamente en la práctica para estabilizar taludes en suelos y rocas, y se ha demostrado su eficacia en numerosos casos; el mismo constituye una solución económica y es considerado una buena alternativa en comparación con otras medidas basadas en estructuras rígidas de concreto.

Se utilizan con mucha recurrencia en taludes empinados con suelos más o menos homogéneos o en roca suelta fuertemente meteorizada; así como también en rocas fisuradas y estratificadas, en las cuales los cuerpos propensos a deslizarse están definidos por las superficies de las fracturas de las estratificaciones; además su diseño permite estabilizar taludes escarpados de suelos, sedimentos y rocas. (ver figura 34)

Para el ciclo de instalación de las geos mantas se debe limpiar, nivelar y perfilar la superficie a tratar, luego se coloca y se tensa la geo manta con una fuerza definida mediante la instalación de anclajes junto con planchas de fijación que garantizan la óptima transmisión de carga de los anclajes al sistema de geo mantas; se adaptan a la topografía del terreno y de esa forma evita no solamente los deslizamientos y las deformaciones, sino también los desprendimientos. Los anclajes principales sujetan firmemente el sistema de geo mantas: sin embargo, existen algunos casos donde se requiere de anclajes adicionales cortos y ganchos para fijar el sistema sobre superficies irregulares o cerca de los extremos.

Para la instalación de los anclajes se deben realizar perforaciones en tal forma que se garanticen una superficie rugosa entre el suelo y el cemento a todo lo largo de la perforación; es importante garantizar que no haya colapso de las paredes de la excavación para garantizar que la adherencia de la mezcla se haga con el suelo natural intacto, las perforaciones deben limpiarse adecuadamente y el anclaje debe colocarse

lo más rápidamente posible después de terminada la perforación y en ningún caso la demora debe ser superior a 24 horas (ver figura 25)



Figura. -25: Instalación de anclajes

Fuente: Blogs de geotecnia. Desdeelmurete. (2015)

El cemento utilizado para fijar los anclajes es cemento Pórtland ordinario y agua, la relación agua cemento varia de 0.40 a 0.45; dicha relación produce una lechada que puede ser bombeada por el orificio de la perforación y al mismo tiempo producir una alta resistencia, con un mínimo de exudación de agua de la mezcla. Para reducir esta exudación se debe agregar productos químicos especiales que también producen la reducción de la contracción e incrementa la viscosidad.

La inyección debe realizarse lo más rápidamente posible después de colocado el anclaje en la perforación dicho procedimiento de inyección debe garantizar que no quede aire o agua dentro de la zona inyectada.



Figura.26- Muros mixtos con geo manta y pantallas atirantadas
Fuente: ECOGREEN Construcciones (2018)

2.3. Bases Legales

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (2000).

El Marco legal que sustenta este trabajo de investigación está fundamentado tomando como referencia las citas legales procedentes de la Constitución en el aparte de los Derechos Civiles capítulo III que establece lo siguiente:

Art.55 Toda persona tiene derecho a la protección por parte del Estado a través de los órganos de seguridad ciudadana regulados por ley, frente a situaciones que constituyan amenaza, vulnerabilidad o riesgo para la integridad física de las personas, sus propiedades, el disfrute de sus derechos y el cumplimiento de sus deberes. Y la participación de los ciudadanos y ciudadanas en los programas destinados a la prevención, seguridad ciudadana y administración de emergencias será regulada por una ley especial.

De igual manera en el Título IV, capítulo II, art.156 literal 19 establece que el establecimiento, coordinación y unificación de normas y procedimientos técnicos para obras de ingeniería, de arquitectura y de urbanismo, y la legislación sobre ordenación urbanística es de la competencia del Poder Público Nacional.

Normas COVENIN 1756-2020, sección 13 y la 1756-2-2001, capítulo C-11.

Estas incluyen los requisitos mínimos o los análisis necesarios que deben cumplirse para el diseño sismorresistente en los terrenos inclinados que incluyen pendientes suaves, taludes naturales o producto de terraceo movimiento de tierras, cortes y rellenos; así mismo tanto para el análisis de muros como para la estabilidad de terrenos en pendiente se establece lo siguiente en dicha normativa:

Art.13.8.2 El diseño de los muros de contención incluirá los efectos del sismo sobre el muro y el material sostenido. Cuando se utilicen métodos basados en equilibrio de fuerzas, el empuje dinámico deberá calcularse considerando la interacción entre el muro y el material sostenido. Adicionalmente, si el material detrás del muro está saturado durante las condiciones, se incluirá el efecto hidrodinámico en el análisis.

Art.13.8.4 Para la estabilidad sísmica de los muros se evaluará; la estabilidad global, la capacidad de soporte y el deslizamiento, cualquiera que sea el tipo de muro, anclados y/o de tierra reforzada, además se verificará la estabilidad interna y los elementos de sujeción.

Art.13.9.C del 1 al 6 La estabilidad de terrenos en pendiente se verificara obligatoriamente en los siguientes casos: a) cuando las condiciones geológicas regionales y locales indiquen inestabilidad potencial de la zona; b) cuando el área este afectada por modificaciones en su topografía original, incluyendo terraceo, en especial donde existan zonas con líneas de drenaje alta y cuerpo de rellenos no confinados en bordes de laderas; c) lugares en condiciones geotécnicas desfavorables como: altas presiones de poros o suelos cuyas resistencia se degrade durante la acción sísmica d) cuando la superficie de falla pueda estar controlada por discontinuidades geológicas, en cuyo caso deben considerarse superficies potenciales de falla a lo largo de dichas discontinuidades; e) terrenos con pendientes $> 18^\circ$ (3 horizontal a 1 vertical) y f) si en

un estudio de microzonificación sísmica el área esta identificada de alto o muy alto peligro de deslizamientos.

Ley de Reforma de Ley Orgánica del Ambiente (2016).

Dentro del marco legal para el desarrollo de esta investigación habría que decir también que en los siguientes artículos se establece muy claramente lo concerniente a la preservación del entorno:

Art.1: La presente Ley tiene por objeto establecer las disposiciones y desarrollar los principios rectores para la conservación del ambiente en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la Sociedad, para el logro del bienestar social, contribuyendo al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad. De igual forma, establece las normas que desarrollan las garantías y derechos constitucionales a un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado.

Art. 2. A los efectos de la presente Ley, se entiende por gestión del ambiente el proceso constituido por un conjunto de acciones o medidas orientadas a diagnosticar, inventariar, restablecer, restaurar, mejorar, preservar, proteger, controlar, vigilar y aprovechar los ecosistemas, la diversidad biológica y demás recursos naturales y elementos del ambiente, en garantía del desarrollo sustentable.

2.4 Definición de Términos Básicos

Angulo de fricción, rozamiento o reposo: Es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, siendo una propiedad de los materiales granulares el cual tiene una interpretación física sencilla, al estar relacionado con el ángulo de reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de dicho material granular.

Amenaza: Probabilidad de ocurrencia de un evento que cause daños materiales o pérdidas de vidas en un lugar y en un lapso determinados.

Agua de infiltración: Porción del agua de precipitación que fluye en el suelo hacia la zona de saturación.

Anclaje: Sistema de estabilización de masas de roca o de suelo mediante la introducción de barras o anclas en el terreno. Las barras anclaje puede ser tensionadas después de su introducción.

Brújula Brunton: Instrumento de medición para geólogos el cual sirve para conocer alturas, rumbos y azimut.

Deslizamiento: Término genérico que comprende una amplia variedad de procesos de erosión en masa que incluye el transporte pendiente abajo de masas de suelo y de roca.

Desprendimiento: Llamado también derrumbe; movimiento de masa caracterizado por la caída de una masa de roca o suelo controlada principalmente por la gravedad, con mínima influencia del agua como factor de desestabilización.

Dilatancia: Es el cambio de volumen observado en los materiales granulares cuando se someten a deformaciones por corte.

Discontinuidad o diaclasa: Separación entre dos partes de una masa de material; las discontinuidades en masas de suelo y roca incluyen fallas, planos de estratificación, planos de foliación, fracturas y grietas y el material de relleno.

Erosión antrópica: La desencadenada por, o asociada con, la acción humana; los cultivos limpios, la construcción de vías, y los asentamientos humanos en terrenos inadecuados.

Erosión en masa: Término genérico que incluye todos los procesos en los que los materiales de los suelos y rocas fallan y se mueven en masa pendiente abajo por efecto de la atracción gravitacional.

Esquistosidad o foliación: Son planos o discontinuidades que se forman por tectonismo intenso y se asocian a las rocas metamórficas (Gneis, esquistos).

Estructura de contención: Es la que ha sido diseñada y construida para resistir los esfuerzos horizontales de los materiales que se encuentran detrás suyo; muros de contención, tablestacados, entibados y membranas ancladas son estructuras de contención típicas

Escorrentía superficial: Porción del agua de precipitación que corre libremente sobre la superficie del terreno, o en la parte superior del suelo, hasta llegar a los cauces de las corrientes.

GSI: El índice de resistencia geológica GSI o método de clasificación GSI es un sistema de caracterización de las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos, a

través de la fácil identificación por evaluación visual de las propiedades geológicas en el campo.

Geomecánica: Es el estudio de cómo se deforman los suelos y las rocas, hasta terminar a veces en su falla, en respuesta a los cambios de esfuerzos, presión, temperatura y otros parámetros ambientales.

Matriz rocosa: Es el material rocoso exento de discontinuidades o bloques de roca intacta que quedan entre ellas, 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.

Martillo Schmidt: Instrumento que permite estimar de forma aproximada la resistencia a compresión simple de una roca, ya sea en un talud, túnel, testigo de roca o discontinuidad, mediante el rebote que produce el muelle que se aloja en su interior después de un impacto sobre una superficie rocosa.

Movimiento de masa: Término genérico para designar todos los procesos en los que los suelos y las rocas fallan y son transportados en masa, pendiente abajo por efecto de la atracción gravitacional.

Periodo cretáceo: Es el período de la escala temporal geológica en la que culmina la Era Mesozoica (que empezó hace 252.2 millones de años y culminó hace 66 millones de años). Es el tercero después de los períodos Triásico (período inicial) y Jurásico (período intermedio).

Plano de estratificación: Son los relacionados a la depositación de los sedimentos en las rocas sedimentarias, suelen tener un espacio sistemático que varía entre pocos cm o varios metros.

Roca metamórfica: Son las formadas a partir de otras rocas (protolitos) que han experimentado cambios de textura y/o composición; estos a su vez pueden ser rocas ígneas, sedimentarias o incluso rocas metamórficas con diferente grado de metamorfismo.

Talud: Masa de suelo con una superficie externa inclinada con respecto a la horizontal.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Según Arias (2012) “La metodología del proyecto incluye el tipo o tipos de investigación, las técnicas y los procedimientos que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el "cómo" se realizará el estudio para responder al problema planteado”.

3.1 Tipo de Investigación

El Manual de Trabajos de Grado de Especialización, Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, UPEL (2006), define el proyecto factible como: “Un estudio que consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales”. De lo anteriormente expuesto se puede ubicar el presente trabajo de grado dentro de un proyecto factible; debido a que se presentara una Propuesta de Estudio Geotécnico de un Macizo Rocoso y su Talud Frontal para el Diseño de un Sistema de Contención en el Cerro Sendero Colinas de Guataparo en la Av. Cuatricentenaria Valencia _Edo. Carabobo para solventar una problemática existente.

3.2 Diseño de la Investigación

De acuerdo a Hernández, Fernández y Baptista, (2014) la investigación de campo, busca especificar propiedades, características y rasgos importantes” (p. 103). Es decir; conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes mediante la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. El diseño de esta investigación es de campo del tipo mixta: cuantitativa y cualitativa, debido a que se combinara la recolección de los datos con el análisis de los mismos, los cuales serán obtenidos en el campo, así como también datos documentales y bibliográficos; estos provienen de una fuente primaria a través de la captación visual de la información en el sitio. (Manual de Normas para Trabajos de Grado de la UJAP, pag.11)

3.3 Nivel de la Investigación

El nivel de la presente investigación también es mixto; es decir, correlacional y analítico; porque primero se busca medir o estimar el grado de relación o asociación que existe entre las variables existentes que ocasionan el evento y por lo cual, tiene un valor explicativo parcial y cuanto más variables se correlacionen la fuerza de las relaciones será mayor. Y el segundo aspecto referido a que es de nivel analítico, por cuanto se pretende realizar la interpretación de lo analizado; se intenta entender la situación, el evento o fenómeno en términos de sus componentes y las interconexiones que explican su integración, (Manual de Normas para Trabajos de Grado de la UJAP, pag.12).

Para este trabajo de grado se captarán inicialmente los derrumbes, movimientos de masas rocosas que de forma constante ocurren en el sector y que van a depositarse en la acera y en la vialidad, aun, cuando existe abundante vegetación en su pendiente y muros rígidos de mediana altura que deberían contener dichos desplazamientos.

3.4 Población y Muestra

En esta sección se describirá la población, así como el tamaño y forma de selección de la muestra, es decir, el tipo de muestreo. Hernández, Fernández y Baptista (2014) “Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones”. Una población es “un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. (Arias, 2012, p. 81). En este caso la población es el Cerro Sendero Colinas de Guataparo en la Av. Cuatricentenaria.

Según Hernández, Fernández y Baptista, (2014) “En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador”. Cabe destacar que salvo en situaciones muy concretas, en la que los errores cometidos no son grandes, debido a la homogeneidad de la

población, en general no es un tipo de muestreo riguroso y científico, dado que no todos los elementos de la población pueden formar parte de la muestra. En este tipo, el procedimiento no es mecánico, no se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores. Arias (2012), define la muestra no probabilística e intencional como la “selección de los elementos con base en criterios o juicios del investigador”. Para efectos del estudio, se dispuso de una muestra no probabilística, en su modalidad intencional, siendo las formaciones rocosas que conforman el macizo y su talud frontal del tramo de estudio a lo largo de 400 m comprendidos entre las coordenadas 10°11'17" N y 68°02'01" W.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtener la información, ejemplos de técnicas: la observación directa, el análisis documental, análisis de contenido, entre otros. (Castro,F.2016); las técnicas de investigación a utilizar son: la revisión documental, la revisión bibliográfica y la observación directa.

Siendo la revisión documental según (Arias, F.2012) un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

En cuanto a la revisión bibliográfica consiste en detectar, obtener y consultar la bibliografía y otros materiales que pueden ser útiles para los propósitos del estudio, así como en extraer y recopilar la información relevante y necesaria que atañe a nuestro problema de investigación disponible en distintos tipos de documentos (H. Sampieri)

Finalmente, la observación directa para: los autores Hernández, Fernández y Baptista (2006: 316), consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos o conducta manifiesta”. A través de esta técnica el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación.

Así mismo, Arias (2012) define los instrumentos de recolección de datos como “los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información”. La recolección de datos con base en la medición numérica y el análisis normativo, con el fin establecer pautas de comportamiento, es decir, análisis de las muestras; revisión de la literatura y artículos que pueden ser útiles para la investigación. Los instrumentos de recolección de datos a usar serán: la brújula tipo Brunton para geólogos, una lupa, regla metálica, estacas de madera para las estaciones, martillo Schmidt o esclerómetro, marcadores, cintas de colores, lista de chequeo, computador y unidad de almacenaje.

Según los autores Arboleda, y otros, (2014) el Checklist o lista de chequeo de calidad está definido como: “Un instrumento que revisa de forma ordenada el cumplimiento de un procedimiento que se lleva a cabo, mediante el cual se constata el cumplimiento de un conjunto de controladores de seguridad” (pág. 33).

3.6 Técnicas de Análisis de Datos

Arias (2012) “En este punto se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuere el caso”. Luego de la primera inspección, se procederá a posteriori a realizar los análisis respectivos para medir la magnitud de disposición de la problemática en estudio, con la aplicación de los instrumentos que se requieran. Los datos obtenidos se deben organizar para posteriormente producir la revisión crítica de la información.

Las técnicas que se utilizarán serán el Diagrama de Pareto y el Diagrama de Ishikawa por cuanto con el primero se podrá “Determinar a través de una gráfica en forma ordenada la importancia o magnitud, la frecuencia de la ocurrencia de las distintas causas del problema”, (Gándara, 2014); “Reconociendo así qué problemas se deben resolver y cuál es la prioridad para establecer metas numéricas viables para ser alcanzadas”, (Coletti et al., 2010). Este primer diagrama será para la incidencia pluviométrica en la zona de estudio.

En el segundo, el diagrama causa - efecto o Ishikawa permitirá la identificación, orden y visualización de las posibles causas de un problema” (Ishikawa, 1986, citado en Zapata & Isaza, 2004) para este segundo diagrama se presentarán las múltiples variables que se relacionan entre sí y que inciden directa o indirectamente causando el evento o problema planteado.

3.7 Fases Metodológicas

FASE I. Diagnostico las condiciones geotécnicas actuales del tramo en estudio

Se expondrá con la mayor exactitud posible la caracterización de la formación o afloramiento que conforman al macizo rocoso y su estado actual a una altura de 20 m.

FASE II. Análisis de los factores que están ocasionando la inestabilidad en la zona.

Abarca todas las posibles causas, el desglose de los factores sobre todo el pluviométrico y/o los que están incidiendo o trayendo como consecuencia los deslizamientos e inestabilidad en la zona.

FASE III. Evaluación del Riesgo Geológico

Referida al análisis del riesgo en la zona de estudio con soporte en los factores que pudieran estar afectando el espacio físico y el indispensable FS, factor de seguridad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

FASE I: Diagnostico de las condiciones geotécnicas actuales del tramo en estudio

Ubicación:

El macizo rocoso y su talud frontal objeto de este estudio pertenecen a la Cordillera Andina de donde se repliega hacia Venezuela en la Cordillera de la Costa; ubicándose geográficamente en el Estado Carabobo, Municipio Valencia, Parroquia San José y sobre la Av. Cuatricentenaria dicha avenida corresponde a una vialidad colectora según el PDUL de la zona y cuya zonificación es AR-1 / V.U.A por conectar el Valle de Guataparó con los sectores del Bosque, Los Nísperos, Los Colorados, Los Mangos, entre otros; siendo las coordenadas de dicho macizo rocoso las siguientes: latitud norte 10°11'17" N y longitud oeste 68°02'01" W (ver figura 27).



Figura. – 27: Ubicación geográfica del macizo rocoso y su talud frontal
Fuente: @Cienciaymas_ Wikipedia (2022)

Limites:

Sus límites son: norte cerro Guataparo; por la oeste comunidad de La Manguita; por el este el Hotel La Colina y por el sur la avenida Cuatricentenaria junto a las residencias Mirador Country.

Superficie:

El mismo posee un área total de 24762 m² de afectación de los cuales 12400 m² corresponden a la propuesta planteada, siendo más específicos posee una longitud total de 400 metros lineales entre el vivero el rincón de la orquídea y los linderos de las residencias privadas Los Establos; siendo su altura máxima de 230 msnm desde el nivel avenida hasta la cima (ver gráfico 6).

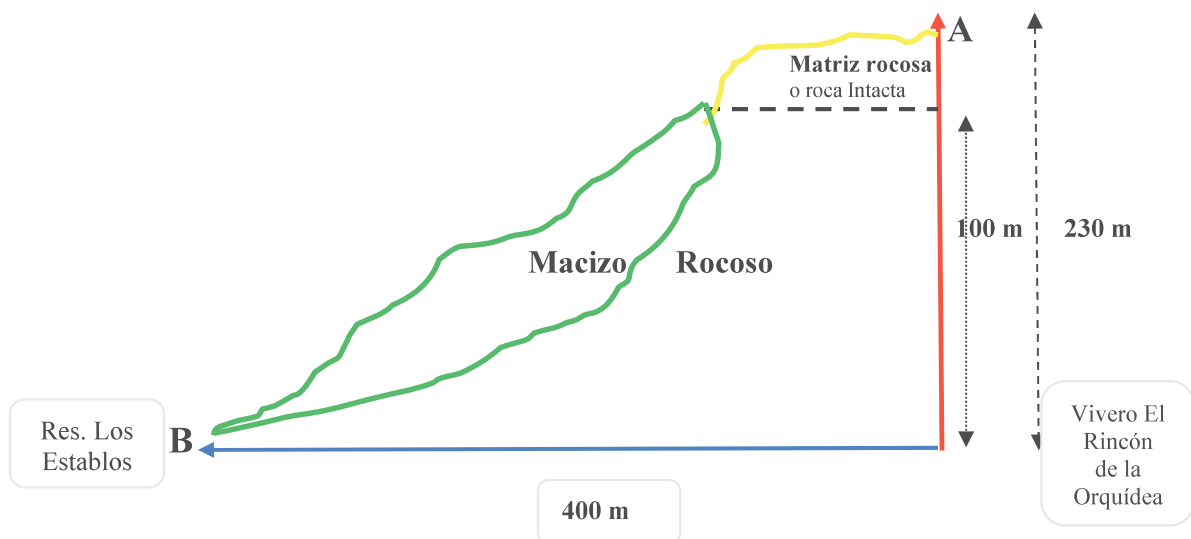


Grafico. – 7: Vista de perfil del área de estudio

Fuente: Rojas L. (2022)

Topografía:

La zona de estudio se caracteriza por sus elevadas pendientes llegando a 700 msnm en sus puntos más altos, comprendida entre las curvas de nivel 580 y 620; no hay presencia de caños, quebradas, ríos o riachuelos en la misma; así como es de vital importancia mencionar que presenta una topografía muy esbelta y de difícil ascenso

sobre todo en la época de lluvia; en las siguientes imágenes del perfil de elevación de la zona de estudio se aprecia mejor lo dicho anteriormente (ver figura 28)

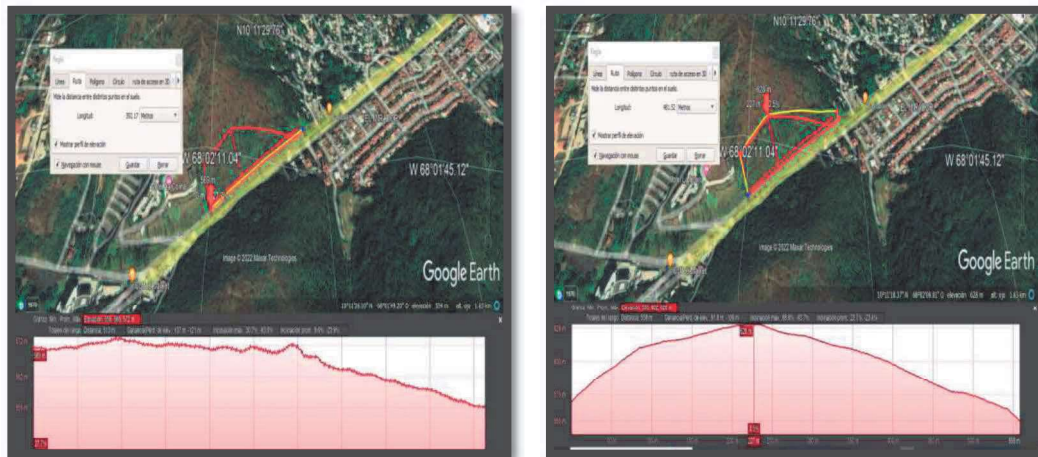


Figura. - 28: Perfil de elevación del tramo de estudio

Fuente: Google Earth.Pro.

Litología:

Esta formación fue originalmente mencionada por los geólogos Aguerrevere y Zuloaga en 1937. Sus rocas de origen metamórfico afloran a todo lo largo de la Cordillera de la Costa. Ha sido estudiada por diferentes autores; Dengo (1949), Smith (1952), MachLacklan (1960), Feo Codecido (1962), Menéndez (1965), Bellizzia y Rodríguez (1968), Urbani y Quesada (1972), Wehrmann (1972), De la Cruz, Wehrmann y Palma (1975), De la Cruz, Franco-Dao y Wehrman (1984). Todas las rocas aflorantes en el macizo rocoso estudiado pertenecen a la Formación Las Mercedes, siendo su composición mineralógica de cuarzo, calcita, mica moscovita, albita, grafito y dos minerales verdes (clorita y epidoto) que le dan su coloración (esquistos verdes) a la formación.

Desde el punto de vista petrológico, las rocas del macizo, sufrieron metamorfismo de bajo grado, de la fase de los esquistos verdes, zona de las cloritas; localmente, el talud sur, se presenta con una superficie muy: diaclasada, meteorizada y descompuesta, de color beige-marrón, medianamente denso donde el espesor de los detritos aumenta

en proporción inversa a la altura (entre 5m. y 15m); lo que indica que este esquistos constituye la roca basamento en toda la zona. (ver figura 29)

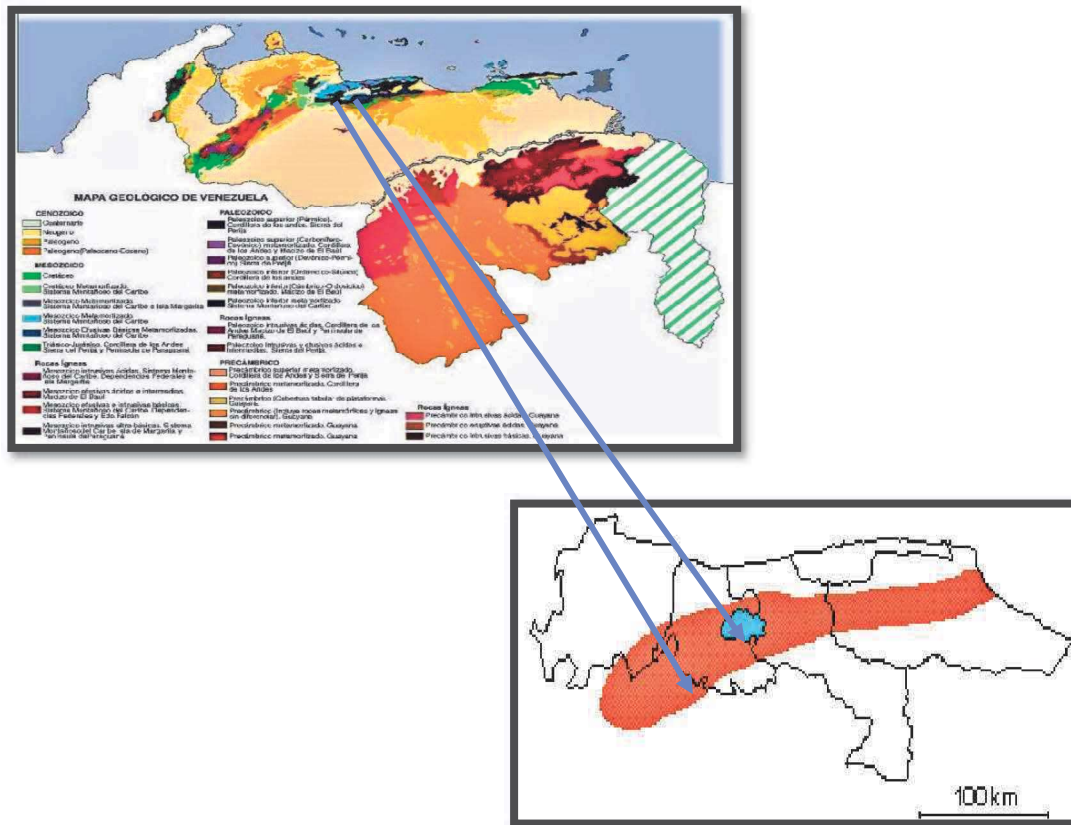


Figura. – 29: Las Mercedes formación geológica de la cual forma parte el macizo
Fuente: Léxico estratigráfico de Venezuela

En cuanto a la matriz rocosa para este estudio se encuentra ubicada a una altura estimada de 230 msnm, y la línea de falla a unos 100 msnm siendo la misma de forma circular; constatado con la ayuda de Google Earth Pro, dicha matriz rocosa no fue posible escalarla para una mayor descripción y caracterización de la misma, por el difícil acceso a la zona. Sin embargo, cabe destacar que estudios geotécnicos realizados por la firma Ingeroca CA al Hotel La Colina en el año 1998 para la estabilización del Talud Este del mismo cerro objeto de esta investigación, indican entre sus conclusiones presentadas en su página 8 que la matriz rocosa en esa zona del

lado Este presenta una baja calidad geomecánica, la cual está muy meteorizada y descompuesta (ver figura 30).

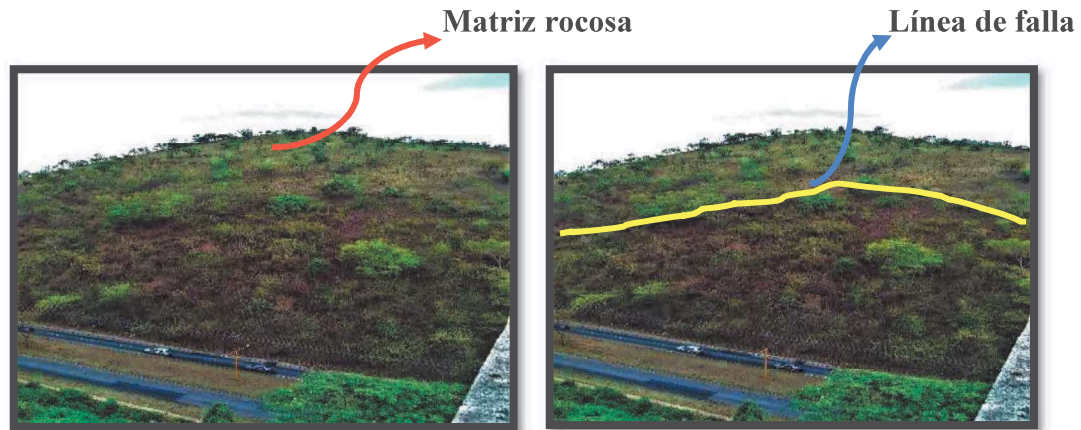


Figura. - 30: Vista frontal del macizo rocoso y su talud frontal.
Fuente: Rojas L. (2022)

Vegetación:

El talud frontal o sur presenta abundante vegetación del tipo arbustos, plantas enredaderas y muy espinosas las mismas emergen de la propia roca, llegando a presentar ángulos entre los 35° y 45° con respecto al talud que los sustenta, lo cual es evidencia que el talud ha estado en movimiento, así como también de raíces poco profundas o adheridas al macizo; siendo toda esta vegetación propia de la zona del noroeste de la ciudad (ver figura 31).



Figura. - 31: Vegetación del talud sur, tramo de estudio.
Fuente: Rojas L. (2022)

FASE II. Análisis de los factores que están ocasionando la inestabilidad en la zona.

En el siguiente diagrama de Ishikawa se reflejan todos los factores que se consideran importantes y que inciden de una u otra forma en el movimiento de masas o deslizamiento de bloques y material meteorizado que se desprenden pendiente abajo desde la parte alta del macizo rocoso; adicionalmente se amplía los conceptos de cada factor para una mayor comprensión del lector. (ver grafico 8)

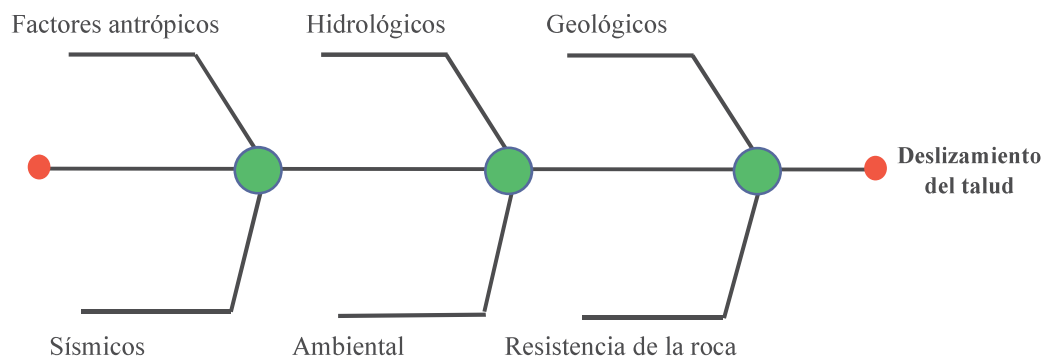


Gráfico 8.- Diagrama de Ishikawa

Fuente: Google.com y Rojas, L. (2022)

1. Factor antrópico:

Esta referido al accionar del ser humano a las actividades propias de este; en el tramo de estudio los indicios de que exista este factor están presente en la contaminación del aire producto del gran conglomerado vehicular que transita hacia el Valle de Guataparo, adicionalmente la ausencia de drenajes y el mal estado en que se encuentra el único elemento existente visto hasta el momento de esta investigación. (ver figura 32)



Figura. -32: Único canal para A. Pluviales deteriorado en el tramo de estudio.
Fuente: Rojas L. (2022)

2. Factor hidrológico:

Puesto que el comportamiento de una roca se puede determinar por su ambiente geo- hidrológico superficial en este macizo hay evidencia significativa de la permeabilidad que poseen o presentan las rocas que lo componen por la conexión del sistema de fisuras de dicho macizo para almacenar el agua, por cuanto se encuentran infinidad de fracturas o foliaciones contenidas de agua, producto principalmente de la estación lluviosa lo cual origina que la presencia del agua acelere el proceso de aflojamiento, especialmente en rocas intensamente fracturadas. Este aspecto hidrológico de vital importancia nos conduce a la conclusión de que la comunidad a objeto de este estudio tiene un promedio anual de precipitación de 108 mm³ de lluvia entre los meses de marzo a diciembre teniendo el máximo entre los meses de julio y agosto, lo que estaría incidiendo de manera significativa en el proceso de rotura y posterior deslizamiento de las capas del macizo afectando el talud del mismo.

Cabe mencionar que se observó en época reciente el deslizamiento o afloramiento de agua por escorrentía superficial proveniente del macizo rocoso. (ver figuras 33 y 34)

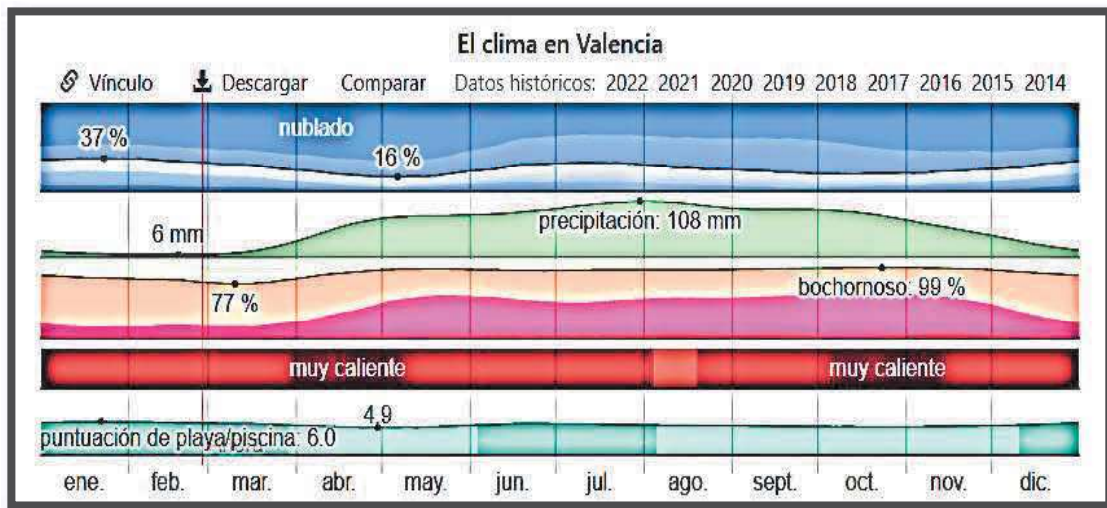


Figura. -33: Pluviometría anual de la región de Valencia_Cbobo.

Fuente: Weather Spark



Figura. -34: Esgurrimiento de agua desde el macizo rocoso después de días de lluvias

Fuente: Rojas L. (2022)



Figura. -35: La misma zona fig.34 una semana después sin haber llovido

Fuente: Rojas L. (2022)

3. Factor geológico.

Para la caracterización del macizo rocoso se procedió a colocar dos estaciones de trabajo de las cuatro que se debían colocar, (por lo difícil y complejo que era ascender para colocar las dos restantes) con separaciones de 100 m entre ellas, a lo largo de sus 400 m de longitud y a una altura promedio entre los 15 y 20 m desde el nivel avenida donde se observó gran cantidad de material fracturado, tipo lajas de $e = 0.02$ a 0.04 mm de color grisáceo y verdoso con presencia de bloques unos más meteorizados que otros, siendo el material meteorizado o suelto de color rojizo ligado con verde grisáceo. (ver figura 36)



Figura. – 36: Estaciones de trabajo #1 y #2
Fuente: Rojas L. (2022)

Así mismo, también se evidencio la existencia de estratos con foliaciones pronunciadas, dichos bloques, aún, se encuentran fijos al talud, los mismos presentan alturas menores a los 3.00 m; este sector está conformado en su totalidad por rocas clasificadas como esquistos, cruzadas a su vez con vetas de cuarzo, calcitas y ankeritas (ver figura 37)



Figura .- 37: Bloques de macizo rocoso y material meteorizado.
Fuente: Rojas L. (2022)

En cuanto a las diaclasas presentes en el talud frontal, macizo rocoso, encontramos las del tipo sistemáticas, que marcan una orientación preferida en este caso entre los SW 40° y 35°, según la clasificación perteneciente a las metamórficas o foliadas y de familias donde son todas paralelas entre sí, sin formar ángulo alguno. (ver figura 38).



Figura .- 38: Familia de Diaclasas o discontinuidades en el macizo rocoso.
Fuente: Rojas L. (2022)

Para la identificación de la dirección máxima de inclinación en los planos de foliación se obtuvieron los siguientes resultados; buzamiento: SW 50°; 35°; 40° tomando siempre como guía la posición que indica la flecha en el extremo de la aguja, la punta más coloreada, el clinómetro y el nivel cilíndrico de la brújula tipo Brunton, en tanto que para los rumbos se leen en el sentido de las agujas del reloj, en línea horizontal igualmente los grados que indica la aguja a través de la flecha de uno de sus extremos y con el nivel circular de la misma brújula de donde se obtuvieron los siguientes datos: SE 35°; 30° ;28° respectivamente. (ver figura 39 y 40)



Figura. - 39: Ubicación de buzamiento en las foliaciones del macizo rocoso
Fuente: Rojas L. (2022)



Figura. - 40: Ubicación del rumbo en afloramientos del macizo rocoso

Fuente: Rojas L. (2022)

4. Sísmico:

La sismicidad en Venezuela y en particular la del Estado Carabobo, específicamente su capital, Valencia están relacionadas con la actividad de fallas que abarcan la región andina y la costa - montañosa del norte del país, formándose así un cinturón sin interrupción desde la frontera de Colombia con el Estado Táchira hasta la Isla de Trinidad. Este cinturón a su vez lo conforman tres fallas principales como son: Bocono, San Sebastián y El Pilar quienes constituyen los límites entre la Placa del Caribe y la Placa Suramericana, destacando que las mismas presentan un desplazamiento entre sí de 1.8 a 2 cm por año, (la primera se mueve en sentido este y la segunda en sentido oeste) y que son causantes de los sismos más severos ocurridos en el territorio nacional.

Todo lo anteriormente expuesto nos indica que la zona de estudio no escapa a la probabilidad de ocurrencia de constantes movimientos sísmicos por pertenecer al sistema de fallas secundarias de La Victoria y estando catalogada dentro de una zonificación entre 4 y 5 del país, (Fratelli,M.pag.25) lo cual es alta, adicionalmente según el espectro de respuesta del sitio y los valores que posean las rocas; así como también la calidad del subsuelo, el basamento rocoso y su situación topográfica, (López, O. et.al 2017) (ver figura 41)

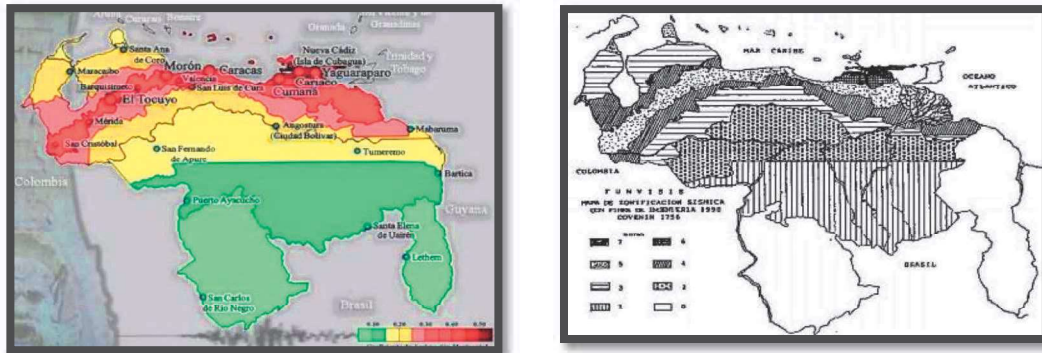


Figura. - 41: Zonificación sísmica integral
Fuente: Orta – Diego (2008)

5. Ambiental

La meteorización o intemperismo causada por el viento, el agua, las plantas, la gravedad, entre otros; es uno de los elementos que está influyendo en la desestabilización del macizo rocoso; por cuanto, produce cambios en la composición mineralógica del material al reducir sus propiedades resistentes, dando lugar a una alteración y degradación intensa del mismo, destacando también que la reducción o pérdida de la resistencia puede estar dando lugar a la caída del material superficial y, si estas afectan las zonas críticas del talud pueden generar roturas generales sobre todo en condiciones de presencia de agua.

Cabe destacar la presencia de una variedad de insectos diversos y microorganismos adheridos a las rocas lo que origina una alteración química, lo cual conduce a que la unión de todos estos elementos incida como desestabilizadores del talud. (ver figura 42)



Figura .- 42: Presencia de la meteorización en el macizo rocoso
Fuente: Rojas L. (2022)

6. Resistencia de la roca:

Por ser el macizo rocoso de una estructura perteneciente a la familia de las rocas metamórficas – esquistos -cretáceo, la cual presenta una resistencia a la compresión simple menor a los 25 MPA, cuyo índice esta entre el R-2 y R1, así mismo visualmente se observó y se comprobó con el martillo que al aplicársele una fuerza entre 2500 y 3000 Newton el macizo se fractura fácilmente al golpearlo; siendo todos estos valores determinados a través de la inspección realizada *in situ*, además de la descripción dada en el informe de la firma Ingeroca, CA para el Talud Este del Hotel La Colina (ver tabla 7 y 8) y (figura 43)

Buzamiento	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°
Condición	Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable

Estado general	Seco	Lig. húm	Húmedo	Goteando	Fluyendo
Valoración	15	10	7	4	0

Tabla. – 7: Valores arrojados in situ para Ingeroca

Fuente: Ingeroca 1998 (Hotel La Colina)

Buzamiento, S	40°	50°	35°
Rumbos, SE	45°	30°	28°

Estado general	Seco	Lig. húm	Húmedo	Goteando	Fluyendo
Valoración	X		X		X

Tabla. – 8: Valores arrojados in situ para los afloramientos del macizo rocoso

Fuente: Rojas L. (2022)



Figura. - 43: Fuerza aplicada con el martillo al macizo para su rotura

Fuente: Rojas L. (2022)

Estrato	GSI	m_i	S	D	RQD	RMR	Lab/Rcorte - Rsidual
1 Macizo	50 – 40 FP/P	10-33	0	0.70 – 1.0	25-50%	40-20 M/MM	
2 R. Intacta			1		0		1.5 k/cm ² – 0.5 k/cm ²

Tabla. – 10: Características geomecánicas del tramo de estudio

Fuente: Rojas, L. (2022) _ Ingeroca (1998)

Dirección del golpe						
No. de golpes	4	7	8	10	12	15
Fractura leve	X		X			
Fractura completa		X		X	X	

Tabla. – 9: Valores arrojados in situ para prueba con el Martillo sobre el macizo

Fuente: Rojas L. (2022)

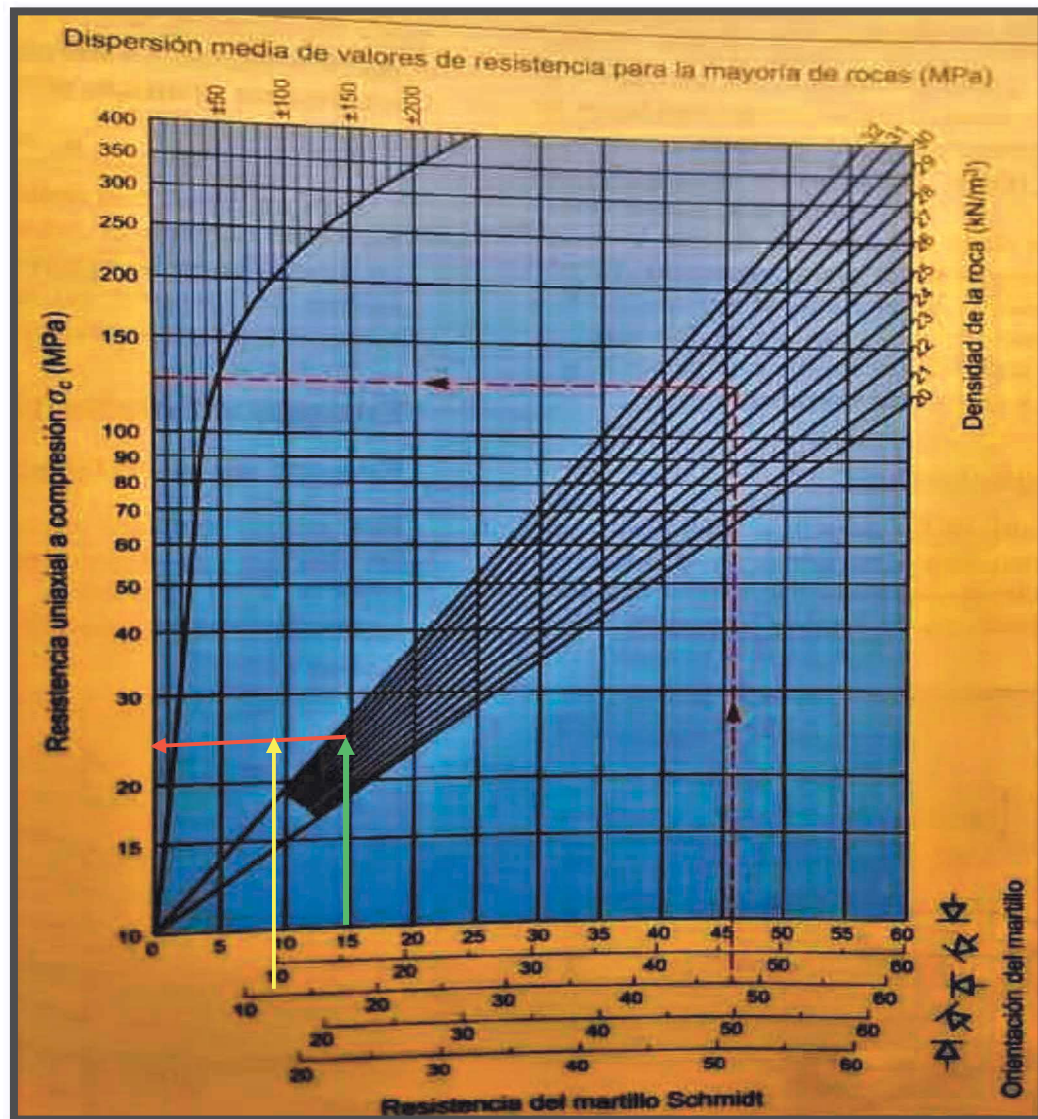


Figura. -44: Uso del ábaco para la dispersión media de valores de resistencia.
Fuente: De la Cruz (2022)

Comprobándose *in situ* con todo lo anteriormente expuesto que la resistencia del macizo rocoso es muy baja; aun cuando faltaría comprobar en el laboratorio con los respectivos ensayos de: corte, carga puntual, entre otros; y así corroborar lo ya indicado por la Firma Ingeroca CA en su informe técnico.

CLASIFICACION GEOMECANICA DE BIENIAWSKI (1.989)

TALUD: HOTEL LA COLINA FECHA: 25-09-98 GEÓLOGO: ING. JESÚS ESPAÑA

Parámetros de clasificación

Resistencia de la roca	Ensayo de carga puntual	Ensayo de comp. simple	> 81 Kg/cm ²	41 - 80 Kg/cm ²	21 - 40 Kg/cm ²	10 - 20 Kg/cm ²	Com. Simp.	Valores
VALORACION	15	12	7	4	2	1	0	0
RQD	91 - 100%	76 - 90%	51 - 75%	26 - 50%	< 25%			3
VALORACION	20	17	13	8	3			8
Separación entre diaclasas	> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m			5
VALORACION	20	15	10	8	5			9

Estado de las Diaclasas	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno	Meteorización	Valores			
< 1 m	6	Cerrada	6	Muy rugosa	6	Sin relleno	6	Bordes sanos	6
1 - 3 m	5	< 0.1 mm	5	Rugosa	5	Duro < 5 mm	5	Lig. meteorizada	5
3 - 10 m	4	0.1 - 1.0 mm	4	Lig. Rugosa	4	Duro > 5 mm	4	Mod. meteorizada	4
> 10	3	1 - 5 mm	3	Planar	3	Blando < 5 mm	3	Muy meteorizada	3
	2	> 5 mm	2	Exp. de falla	2	Blando > 5 mm	2	Descompuesta	2
	1		1		1		1		1
	0		0		0		0		0
									9

Agua freática	Caudal por 10 m	Relación entre la presión de agua y la tensión principal mayor	Est. General	Valores
	Nulo	0	Seco	15
	< 10 Lts/in	0.0 - 0.1	Lig. Húmedo	10
	10 - 25 Lts/in	0.1 - 0.2	Húmedo	7
	26 - 125 Lts/in	0.2 - 0.5	Goteando	4
	> 125 Lts/in	> 0.5	Fluyendo	0
				10

Corrección por la Orientación de las Diaclasas

Dirección perpendicular al Talud		Dirección paralela al Talud		Buzamiento 0° - 20° cualquier dirección	
Excavación con el buzamiento	Excavación contra buzamiento	Excavación con el buzamiento	Excavación contra buzamiento	Excavación con el buzamiento	Excavación contra buzamiento
Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 45°	Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 45°	Buz. 45° - 90°	Buz. 20° - 45°
Muy favorab.	Favorable	Muy favorab.	Favorable	Muy favorab.	Favorable
0	-2	-5	-10	-12	-5
					-5
					-9

clasificación		IV	
CLASE	I	II	III
CALIDAD	MUY BUENA	BUENA	MEDIA
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41
			IV
			MALA
			21

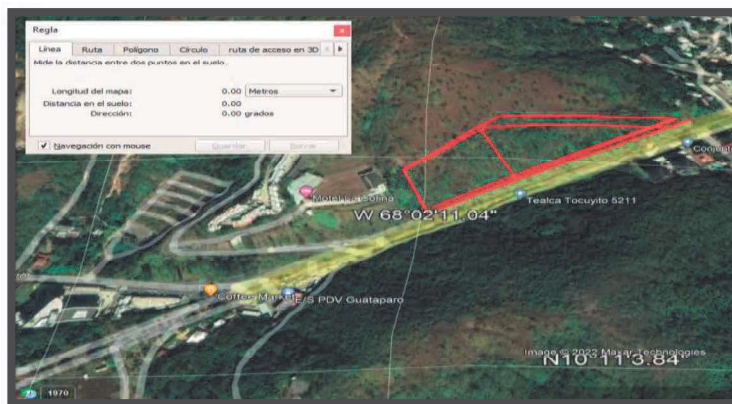
Figura 45.-Resultados de los ensayos al Talud Este, Hotel La Colina
Fuente: Ingeroca, CA

σ_1 = Resistencia principal mayor; σ_3 = Resistencia principal menor; σ_c = Resistencia a la compresión uniaxial; σ_{ci} = Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta
 σ_{mr} = Resistencia a la compresión uniaxial del macizo rocoso; m = Constante de H&B depende del tipo de roca; m_i = Constante de H&B de la roca intacta; m_b = Constante de H&B para macizos rocosos; s y a = Constantes del macizo rocoso según las condiciones de sus discontinuidades; E_{rm} = Modulo de deformación.

Parámetro	Resultado	Und	Div.
σ_1	55	Mpa	
σ_3	5	Mpa	
σ_{mr}	25	Mpa	
s	1		
a	0.5		
m_{i_g}	33		
m_{i_e}	10		
m_{b_1}	0.454		gneis
m_{b_2}	0.138		esquisto
E_{rm}	212.93		

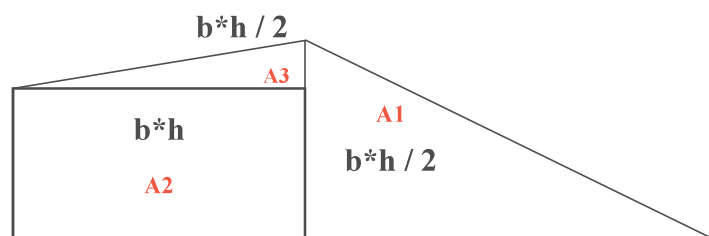
Tabla 11. - Resumen de los parámetros del macizo rocoso.
Fuente: Rojas L. (2022)

Cálculos:



Área afectada
estimada:

**Total, m2 =
24761.50 m2**



$$A1 = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{255 \text{ m} \cdot 95 \text{ m}}{2} = 12112,50 \text{ m}^2$$

Área de la propuesta

Total, m2 =

$$310 \text{ m} \cdot 40 \text{ m} = 12400 \text{ m}^2$$

$$A2 = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{154 \text{ m} \cdot 23 \text{ m}}{2} = 1771 \text{ m}^2$$

$$A3 = b \cdot h = 147 \cdot 74 = 10878 \text{ m}^2$$

$$\text{Pend: } \frac{\text{Diferencia de alturas}}{\text{Longitud}} \cdot 100$$

Pendiente que debería tener el talud sur

$$\frac{620 - 580}{400 \text{ m}} \cdot 100 = 10 \%$$

$$P = \text{Altura} / \text{base} = \text{Tang } \emptyset$$

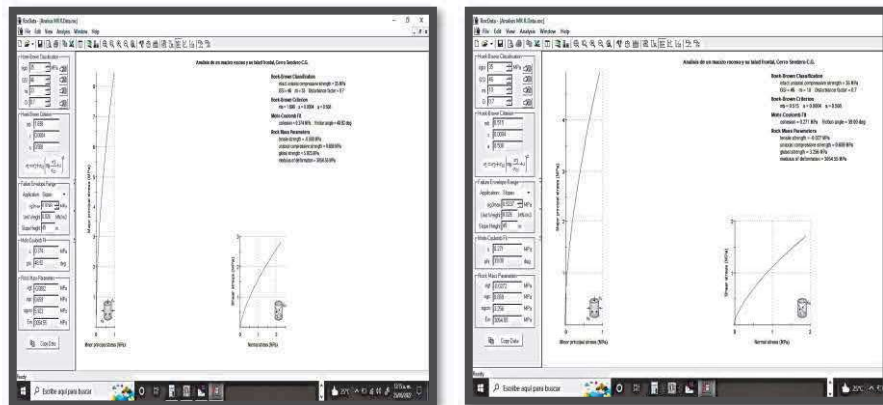
$$100 / 400 = 0,25 = \text{Tang } 25 = 0.466 = 47$$

$$40/400 = 0.10 \text{ Tang } 10 = 0.176 = 18$$

Uso del programa RockLab con los parámetros calculados

Este programa es uno de los utilizado por los proyectistas una vez se han calculado los parámetros anteriormente expuestos para el modelado de la falla; siendo el uso del mismo a través de fases o etapas:

RockData



Slide

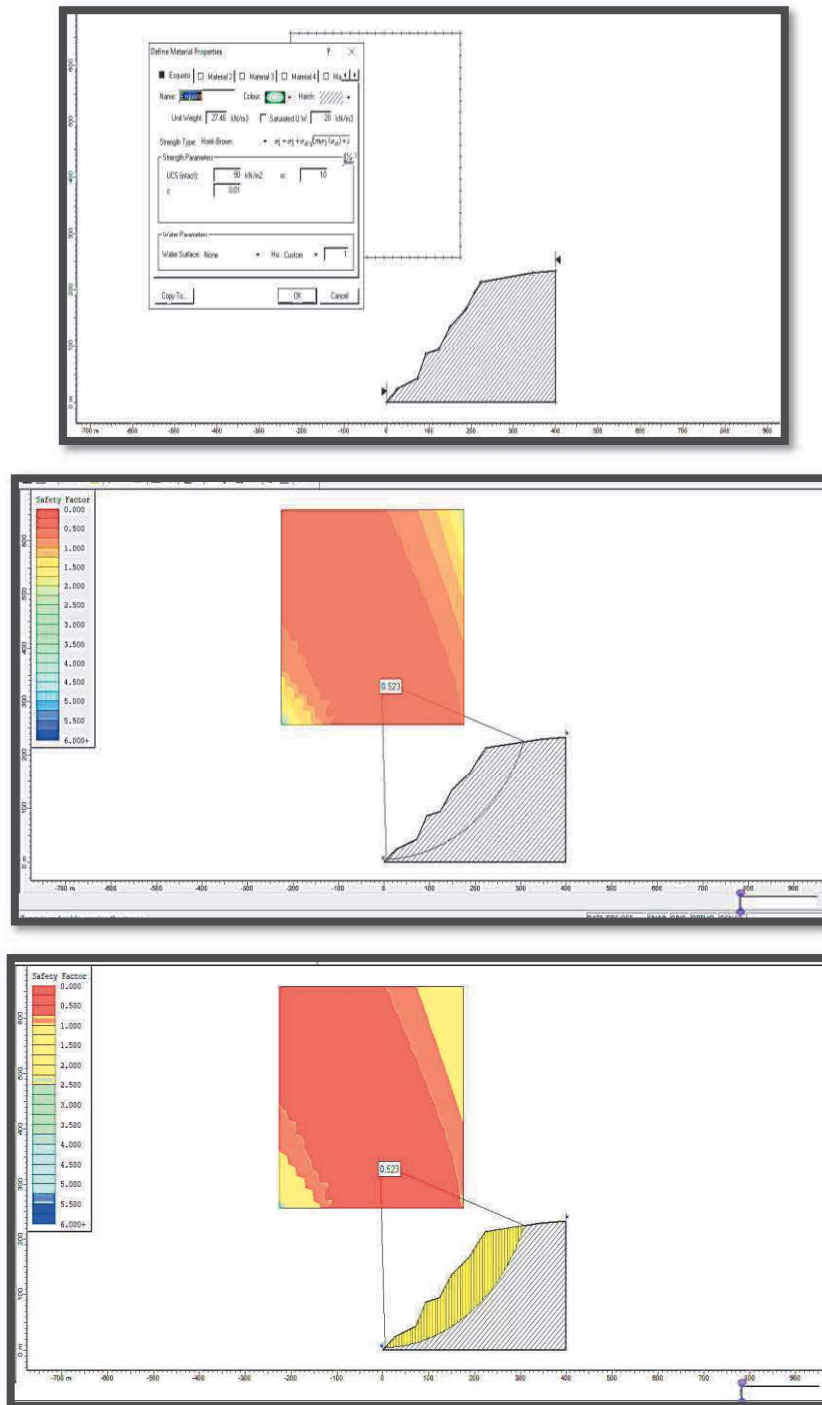


Figura. -46: Parametrización del macizo con la data obtenida
Fuente: Rojas L. (2022)

Factor de seguridad

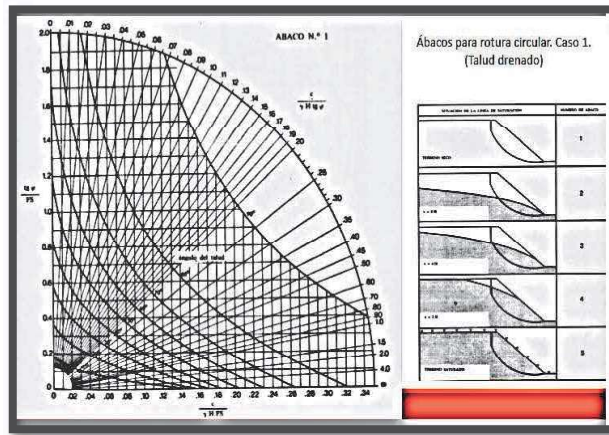
Al aplicar la fórmula correspondiente al cálculo del Factor de Seguridad, esta nos arrojó un valor no aplicable; ósea algo anormal; sin embargo, al revisar los valores de los parámetros involucrados en el cálculo y repetir el procedimiento matemático, dio como resultado siempre el mismo valor. Esta eventualidad numérica iterativa, de la cual dependía la determinación final, del cálculo de estabilidad (Fs), hizo que se investigara más a fondo la metodología empleada y resultó que, para macizos rocosos del tipo estudiado, el investigador Hoek había determinado que algunos de estos macizos, se comportan mecánicamente, en forma parecida a los deslizamientos de taludes en suelos.

Por lo que estos macizos muy particulares son identificados en el campo, porque presentan una cicatriz de falla diferente (en forma y profundidad: circulares y cóncavas) a los deslizamientos planares. Por consiguiente, ellos resolvieron Hoek, E. y Bray, j. (1981) una familia de cinco ábacos, en los cuales se consideran los distintos tipos de deslizamientos particulares, en macizos rocosos que mecánicamente se comportan como deslizamientos de suelos, ir al grafico 4.

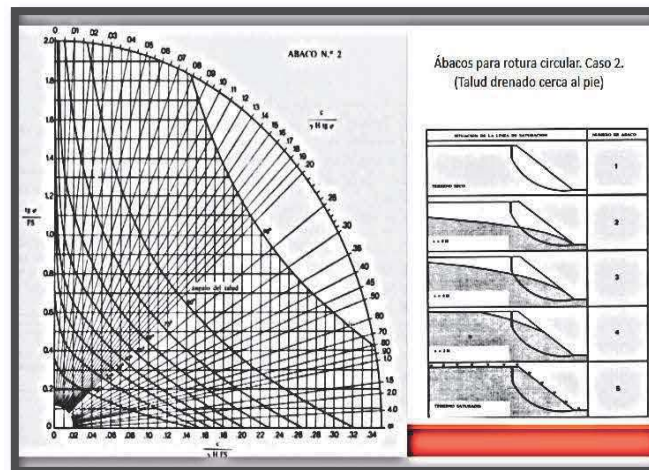
Lo que nos conduce que al aplicar las fórmulas normales para el cálculo de Fs, el **valor encontrado no corresponda**, puesto que solo es una respuesta matemática, sin consideración a las propiedades geotécnicas particulares, del macizo rocoso investigado, ejemplo:

$$F_s = \frac{\sigma_3 - \sigma_1 - \sigma_c \left[s - m * \sigma_3 / \sigma_c \right]^a}{\sigma_c} = 0.38$$

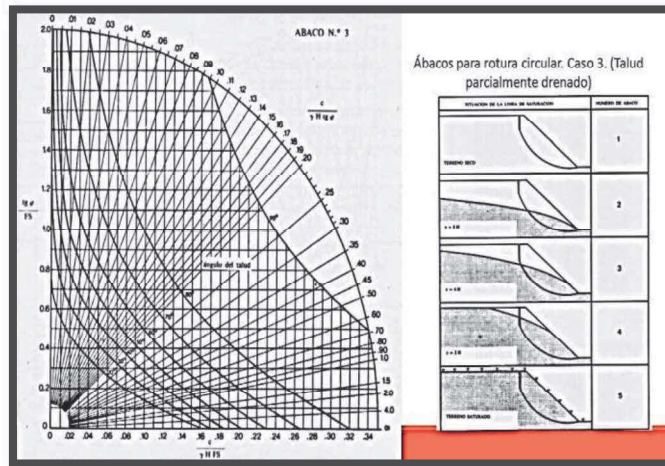
$\sigma_3 = 5; \sigma_1 = 30; \sigma_c = 25$
 $s = 1; m = 10; a = 0.5$



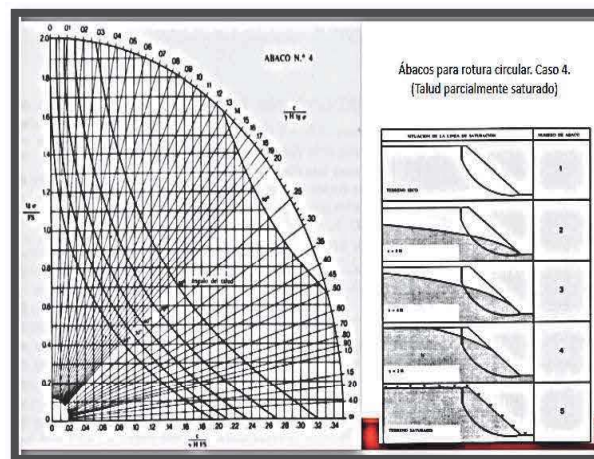
Abaco #1 Para una pendiente 100% drenada, sin nada de agua



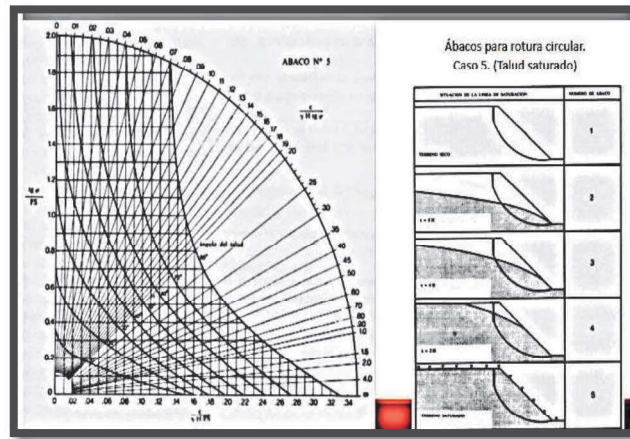
Abaco #2 Para un agua superficial de 8/h



Abaco #3 Para un agua superficial de $4/h$



Abaco # 4 Para un agua superficial de $2/h$



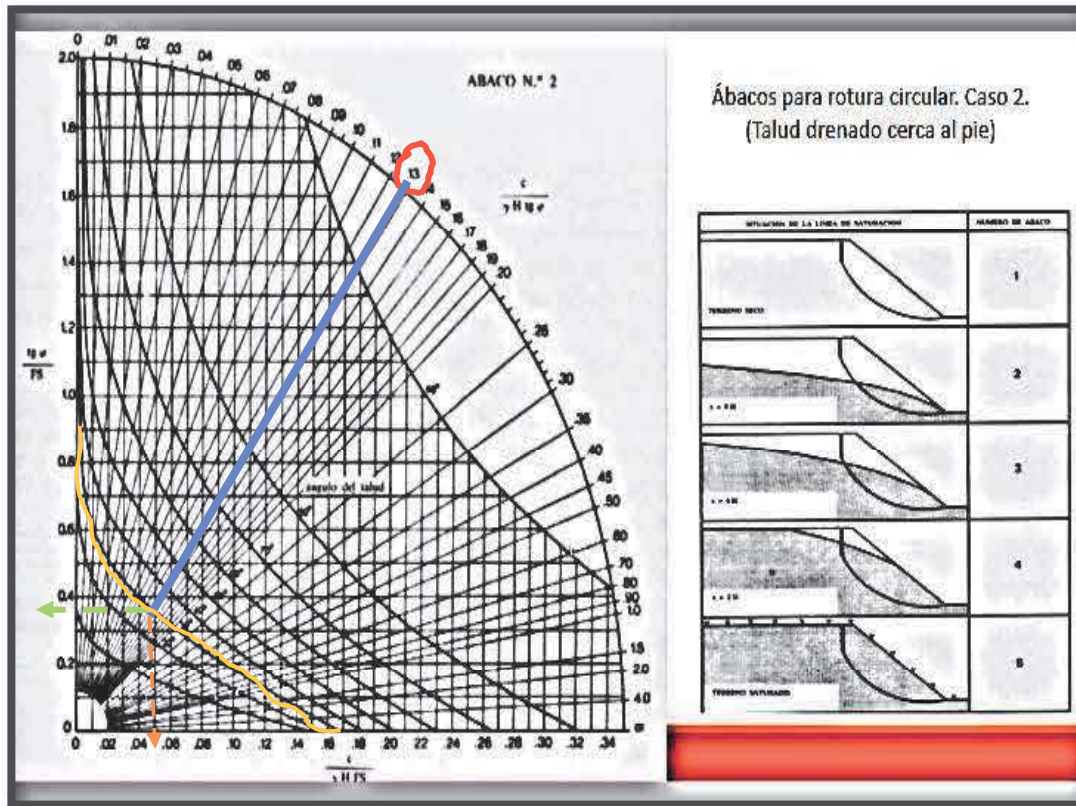
Abaco # 5 Para un Talud saturado

Grafico. -9: Los cinco ábacos de Hoek & Bray para falla circular en macizos

Fuente: slideplayer.es

A continuación, se detalla el uso de los ábacos de Hoek & Bray para macizos con falla circular y el que concierne a esta investigación que es el # 2 con el Fs, definitivo:

- ✓ Se calcula el valor de la expresión $\frac{C'}{HFs}$ y se entra en el ábaco con el valor resultante y $H \tan \Phi$
- ✓ El punto de corte de la recta correspondiente al valor anterior con la curva correspondiente al ángulo del talud, permite leer en los ejes de ordenadas y abscisas los valores de las expresiones $= \frac{\tan \Phi}{Fs}$ y $\frac{C'}{HFs}$
- ✓ Finalmente, se despeja el valor de Fs



$$\frac{C'}{\gamma H \tan \Phi} = \frac{1.6}{1.8 \cdot 15 \cdot 0.466} = 0.13$$

γ = Densidad del esquisto verdoso_ grisáceo = 1.8
H, Altura = 15 m

$$\frac{\tan(30^\circ)}{F_s} = 0.577(\gamma)$$

Angulo del talud:
 $\tan(30^\circ) = 0.577$

Angulo de fricción o rozamiento del esquisto:
 $\tan(25^\circ) = 0.466$; $\tan(35^\circ) = 0.70$

$$F_s = \frac{0.577}{0.39} = 1.48$$

Figura. -47: Propiedades típicas de rocas y suelos

Fuente: Dr. Borselli, L. Geotecnia I

TABLE 5.2. Typical soil and rock properties (a)

Type and material	Unit weight (kN/m ³)	Friction angle (°)	Cohesion (kPa)
COHESIONLESS			
<i>Sand</i>			
Loose sand, uniform grain size	19/14	28-34	
Dense sand, uniform grain size	21/17	32-40	
Loose sand, mixed grain size	20/16	34-40	
Dense sand, mixed grain size	21/18	36-46	
<i>Gravel</i>			
Gravel, uniform grain size	22/20	34-37	
Sand and gravel, mixed grain size	19/17	38-45	
<i>Compacted broken rock</i>			
Basalt	22/17	40-50	
Clayite	15/19	30-40	
Granite	24/17	45-50	
Limestone	19/16	35-40	
Sandstone	17/15	31-45	
Shale	20/16	30-35	
COHESIVE			
<i>Clay</i>			
Soft bentonite	13/8	7-13	10-20
Very soft organic clay	14/8	12-16	10-20
Soft, slightly organic clay	16/10	22-27	20-50
Soft glacial clay	17/12	27-32	30-70
Stiff glacial clay	20/17	30-32	70-150
Glacial till, mixed grain size	23/20	32-35	150-250
<i>Rock</i>			
Hard igneous rocks: granite, basalt, porphyry	25 to 30	35-45	35 000-55 000
Metamorphic rocks: quartzite, gneiss, shale	25 to 28	30-40	20 000-40 000
Hard sedimentary rocks: limestone, dolomite, sandstone	23 to 28	35-45	10 000-30 000
Soft sedimentary rocks: sandstone, coal, chalk, shale	17 to 23	25-35	1 000-20 000

FASE III. Evaluación del riesgo geológico

Los riesgos geológicos son originados por los procesos geodinámicos de la corteza terrestre los cuales se traducen en diversos movimientos del terreno que varían en magnitud y su cuantificación requiere del uso de cálculos probabilísticos, los cuales se hace preciso puntualizar en resultados de acuerdo a las pérdidas materiales y pérdida de vidas. Por lo que son muy variadas las causas que pueden originar los diversos riesgos, como son: terremotos, precipitaciones pluviométricas, erupciones volcánicas, desprendimiento de laderas o deslizamientos como en el caso que se presenta.

Sin embargo, también pueden ocurrir por cambios realizados en la naturaleza por el hombre; dependiendo de la magnitud del fenómeno natural, variarán las cifras de víctimas y de pérdidas económicas. Cabe destacar que la geotecnia siendo una rama auxiliar de la ingeniería civil y metodológica de la ingeniería geológica, tiene una de sus principales aplicaciones en la evaluación, prevención mitigación de los riesgos geológicos; según (Smith, K.2011), como ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas producidos por la interacción entre el medio geológico y la actividad humana.

Por tanto, al definir el riesgo como la probabilidad de que ocurra un siniestro y cause pérdidas; siendo la evaluación del riesgo un tanto compleja, pues es también difícil la evaluación de los términos que lo definen. El riesgo se evalúa a partir de la peligrosidad correspondiente a una causa y de los efectos de la misma sobre los elementos expuestos al peligro que serían las consecuencias. El riesgo entonces esta referido, como la peligrosidad, en un periodo de tiempo determinado y se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$\mathbf{R = P \times V \times C}$$

Donde,

P = es la peligrosidad del proceso considerado,

V = es la vulnerabilidad de los elementos expuestos a la acción del proceso y

C = es el valor o costos de los mismos.

En la expresión expuesta, las unidades corresponden a “C”, ya que el riesgo se expresa en pérdidas (económicas y humanas). P es una probabilidad y se determina casuísticamente y V es un parámetro adimensional. Si cualquiera de los factores es nulo, el riesgo será nulo, es así, como en una zona de peligrosidad muy elevada, el riesgo será nulo si no existen elementos expuestos o si la vulnerabilidad de los mismos es nula.

Quedando claro que el hombre puede incrementar el riesgo al ocupar zonas peligrosas, al incidir en la intensidad de los procesos o provocarlos y al construir estructuras vulnerables. El riesgo puede reducirse disminuyendo la peligrosidad, actuando sobre los elementos expuestos al riesgo. O como en el caso presente, construyendo obras civiles de contención. La determinación cuantitativa del Riesgo Geológico en el presente trabajo de investigación, no se ha realizado, por cuanto al intervenir el cálculo de probabilidades, donde se debe contar con una repetición de índole estadística y dilatada en el tiempo con data precisa de ocurrencia del fenómeno, su duración, sus pérdidas y sus consecuencias, lo cual no es el caso.

CONCLUSIONES

Con base a la data geológica y geotécnica obtenida durante el estudio y caracterización del Macizo Rocosó ubicado en la Av. Cuatricentenaria al noroeste de la ciudad de Valencia, Edo. Carabobo se logró concluir que:

Con la utilización del Método de Hoek & Brown y posteriormente Brown & Bray, para determinar la inestabilidad manifiesta del Talud Sur, el cual es el causante de los derrumbes que obstruyen la vía que conecta la comunidad del Valle de Guataparó con el noroeste de la ciudad de Valencia; así como también habiendo obtenido todos los parámetros necesarios y suficientes de la tabla 11 se procedió al cálculo de la estabilidad, (Factor de Seguridad), mediante la fórmula que se presentan en la página N°83 de este informe.

Observándose que el valor correspondiente a dicho F_s , estaba por debajo de 1, lo cual, amerito una investigación, revisión más profunda y exhaustiva de la metodología seguida en el uso del criterio de rotura de Hoek y Brown para macizos rocosos. Dicha revisión nos llevó a que Brown en el año (2002) encontró la misma dificultad en macizos rocosos profundamente fracturados y meteorizados, como el objeto de nuestro estudio y decidió entonces estudiarlos más a fondo y realizó con Bray en ese mismo año, una familia de cinco (5) ábacos, donde dependiendo de sus condiciones de fracturamiento, meteorización y su hidrogeología, podía calcularse el valor de F_s , racionalmente semejantes a los taludes de suelo.

Así mismo, ellos observaron que este tipo de derrumbes originan una cicatriz del tipo circular cóncava, lo cual es típico de los deslizamientos en suelos; (como la observada en la fig. 30) para este estudio se utilizó el Ábaco Nro. 2 de Brown y Bray y se calculó el valor del Factor de Seguridad, obteniéndose un valor de 1,48 lo cual confirma matemáticamente la inestabilidad observada geotécnicamente.

. Es de señalar que se ubicaron estaciones en la parte medianamente alta del talud, se hicieron en ellas, observaciones geotécnicas de campo como la identificación de las

discontinuidades más importantes (familias de diaclasas), determinaciones de resistencia puntual en cada afloramiento, por intermedio del martillo y se realizaron mediciones de Rumbo y Buzamientos de las foliaciones y las diaclasas por medio del uso de la Brújula Brunton, tomándose muestras para la descripción litológica y la determinación del estado de meteorización del macizo en cada estación; estos estudios de campo, permitieron determinar que el Macizo Rocosó estudiado es del tipo IV con un índice RMR muy malo, según la clasificación del GSI.

Y para finalizar, se hicieron consideraciones cualitativas sobre el Riesgo Geológico, pero, no se cuantificó el mismo, pues es un parámetro de índole casuístico y requiere una data estadística pormenorizada para efectuar dicho cálculo

RECOMENDACIONES

- ✓ Probada la inestabilidad del talud estudiado a la luz de la investigación geotécnica realizada, se recomienda el diseño de un sistema de contención, que tome en cuenta las condiciones de intenso fracturamiento de la cara frontal del talud sur y la circunstancia negativa de existir dos familias de diaclasas; una de las cuales presenta buzamientos pronunciados y paralelos a los presentados por las alineaciones del esquistos en la cara sur del talud.
- ✓ Dadas las condiciones de alta pluviometría de la zona, se hace necesario introducir obras subsidiarias a la solución de contención que se decida construir, como canales de coronación, drenajes laterales, fosas de drenaje de aguas de escorrentía, y lógicamente barbacanas que aseguren el drenaje interno del talud.
- ✓ Independientemente de la solución de contención que se adopte, es necesario e indispensable considerar el tratamiento con geo mantas para que la solución no impacte de manera negativa al ambiente, al paisajismo del entorno.
- ✓ Completar el estudio geotécnico del macizo rocoso con los ensayos de laboratorio respectivos como las pruebas triaxiales y de corte, entre otras; así como también la caracterización de la roca intacta o matriz rocosa.
- ✓ Finalmente a título personal considero que se debe incluir la cátedra de mecánica de rocas en el pensum de estudios de la carrera de ingeniería civil como complemento a la cátedra de mecánica de suelos.

RERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguerrevere y Zuloaga (1937) **Notas Sobre Los Esquistos De Las Mercedes y Chuspita, Estado Miranda, Venezuela**
- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación**. Episteme. Caracas.
- ABC Geomechanical **Macizo Rocoso y Clasificación Geomecánica**
Consulting. Consultado (may.22)
<https://geomecanicaymecanarocas.com/macizo-rocoso/>
- Bellizzia y Rodríguez (1968), **Integración de la geología de la zona de Choroni- Puerto Maya y Maracay, estados Aragua y Carabobo.**
- Braja Das. (2013). **Fundamentos de Ingeniería Geotécnica**. México.
- Coletti B; et al., (2010). **Innovación y Aprendizaje Organizacional**. Italia.
- Constitución Nacional de la República de Venezuela, (1999)
- Carranza T. Carlos (2001) **Método de Hoek & Brown**. Canadá
Articulo_CCT_1.dvi.Colombia. file:///C:/Users/sopor/Desktop/hoet%20&%
- Dengo, G. (1949), Ing. Geólogo.**Formación las Mercedes**
- De la Cruz, Luis (1975) Ing. Geólogo. **Formación Las Mercedes**
- Dorrio R. José M. (2017) **Caracterización geomecánica de taludes en roca ubicados en la carretera panamericana en el tramo Caracas - San Antonio de los Altos**
- Escartí, A. (2017) **Comparativa ambiental y económica de pantallas de contención de tierras para edificación mediante el análisis del ciclo de vida**. España
- ECOGREEN, Construcciones **Muros de contención**. Consultada (nov-2021)
<http://tumuro.com/estabilizacion-de-taludes.html>
- Feo, C. (1962) **Contribution to the geology of north-central Venezuela**
- Franco, De la Cruz, Dao y Wehrman (1984). **Formación Las Mercedes**

Gándara G, (2014). **Herramientas de Calidad y el Trabajo en Equipo**. México

GEODI, (2022) Alcántara, E. **Criterio de rotura 2/6 según Hoek & Brown**. YouTube

González de V, Luis. (2002) **Ingeniería Geológica**. Editorial PEARSON. Educación

Hernandez, S. (1991) **Metodología de la investigación**. México.

Hernández, Fernández y Baptista, (2014) **Metodología de la investigación**. México

Hoyos, F. (2001) **Geotecnia Diccionario Básico**. Colombia.

Hoek. (1983). **Resistencia de las masas rocosas articuladas**. Canadá
<https://www.roscience.com/assets/resources/learning/hoek/Strength-of-Jointed-Rock-Masses>

Ingeroca, CA (1998) **Informe técnico para caracterización de macizo rocoso**. Hotel La Colina -Guataparo.

Kramer (1996) **Ingeniería geotécnica de terremotos**. EEUU.

Laboratorio Heredia y Asociados. CA Ing. Heredia, J. (2022)

López, O. et al (2017). **XI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica**, XI CONVESIS. Trabajo N° CONV- 090

MachLacklan (1960), **Geology of the La Victoria área, Aragua Venezuela**.

Menéndez (1965), Ing. Geólogo, **Formación Las Mercedes**

Meneses, S; Ramírez. (2007). **Guía práctica simplificada para la construcción y seguimiento de obras relacionadas con pantallas atirantadas**. Caracas.

Moreno, H; Vélez, M. (2006). **La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: Análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, interanual y diaria**. Revista de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, EIA. Colombia.

Normas COVENIN (2001). **Edificaciones Sismorresistentes**.

Normas COVENIN (2019). **Construcciones sismorresistentes**.

Omaña A., L. (2002) **Integración de la Geología de la zona de Morón – Valencia - Ocumare de la Costa, Edo. Carabobo y Aragua**. Caracas, U.C.V.

Palma, De la Cruz, Wehrmann (1975), **Formación Las Mercedes**

Pérez S, J. (2019). GEOQuantics

Plan de Desarrollo Urbano Local, PDUL. Valencia Municipio San José

- Pombo, A. (2009) **Caracterización del histórico sísmico del Estado Carabobo.**
Revista de Ingeniería. UC
- Ramírez P. y Alejano L. (2004) **Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes.**
- Smith (1952), Ing. Geólogo. **Formación Las Mercedes**
- Smith, K. (2011). **Environmental hazards. Assessing risk and Reducing disaster,**
Edit. Routledge, Londres. UK.
- Solorzano, N. y Zurita, P. (2010) **Estudio Geologico-Geotecnico de los taludes de la Urb. La Quinta, Los Teques, Municipio Guaicaipuro Edo. Miranda.** UCV
- Suarez. J. (1998). **Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales.**
- Tirado, S. (2020). **Evaluación del riesgo asociado a la vulnerabilidad física por laderas inestables en el tramo de carretera Cajamarca-Gavilán.** Perú.
- Topographic. **Mapas Topográficos.** Consultado en (feb.22). <https://es-cr.topographic-map.com/maps/qbz4/Parroquia-Urbana-San-Jos%C3%A9/>
- Tambara.org, **El diagrama de Ishikawa como herramienta de calidad en la educación.** Consultado en (feb.22) http://wp-content/uploads/2021/04/DIAGRAMA-ISHIKAWA_FINAL
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2016). **Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales.** Caracas: Fedupel.
- Wehrmann (1972), **Formación Las Mercedes**
- Wyllie, D. y Norrish, N. I. (1996). **Deslizamientos de tierra: investigación y mitigación cap. 18 estabilización de pendientes rocosas.** EEUU.
- Yepes, V. (2021) **Clasificaciones de las técnicas de mejora y refuerzo del terreno**
Consultado (nov-2021) <https://blogs.upv.es/2019/11/20/victoryepes.blogs.upv.es/>
- Yepes, V. (2019). **La magia de las tensiones efectivas en geotecnia.** Consultado (nov-2021) <https://victoryepes.blogs.upv.es/la-magia-de-las-tensiones-efectivas-en-geotecnia/victoryepes.blogs.upv.es/>
- Yomineria Chile. (2022) <https://yomineria.jimdofree.com/mineria/matriz-rocosa/#:~:text=Es%20el%20material%20rocoso%20exento,estructura%20mineral.>

ANEXOS

Álbum Fotográfico

24-05-22



Toma de ángulos, alturas y distancias del talud con los instrumentos de medición: cinta topográfica y brújula tipo Brunton.



Accesos y áreas que se lograron ascender del macizo rocoso.

13-05-22



Bloques del macizo y colocación de dos estaciones.

27 y 8-04-22



Dimensionamiento de las afloraciones y vista de frente del macizo a una altura 30 m





UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE ESTUDIO GEOTÉCNICO EN UN MACIZO ROCOSO Y SU TALUD
FRONTAL PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTENCIÓN EN EL CERRO
SENDERO COLINAS DE GUATAPARO AL NOROESTE DE LA AV.
CUATRICENTENARIA EN VALENCIA_ EDO. CARABOBO**

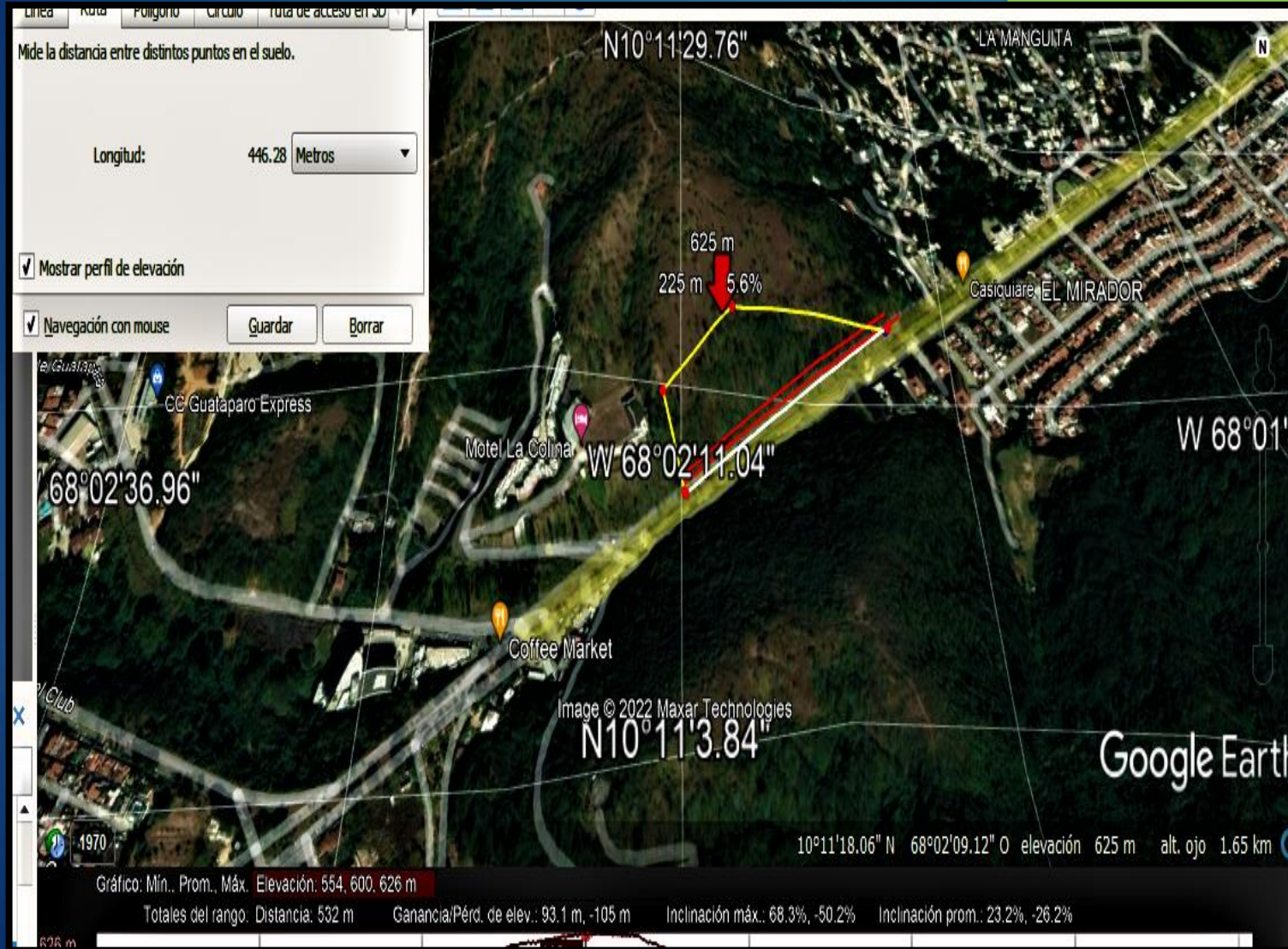
**Proyecto de Trabajo de Grado presentado para optar al Título de
INGENIERO CIVIL**

Autora:
Luisa
Rojas A.

Julio 2022

Tutor:
Ing. José
Rodríguez

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



- ✓ Amenaza
- ✓ Inestabilidad del talud frontal
- ✓ Topografía de pendientes elevadas
- ✓ Restricción de acceso

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



- ✓ Amenaza
- ✓ Inestabilidad del talud frontal
- ✓ Topografía de pendientes elevadas
- ✓ Restricción de acceso

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



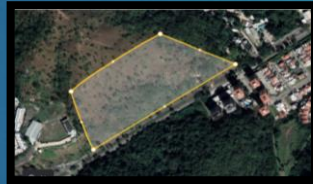
- ✓ Amenaza
- ✓ Inestabilidad del talud frontal
- ✓ Topografía de pendientes elevadas
- ✓ Restricción de acceso

OBJETIVOS

GENERAL

Proponer un estudio geotécnico de un macizo rocoso en su talud frontal para el diseño de un sistema de contención en el Cerro Sendero Colinas de Guataparo en la Av. Cuatricentenaria -Valencia Edo. Carabobo

ESPECÍFICOS



- ❖ Diagnosticar las condiciones geotécnicas actuales del tramo en estudio.

- ❖ Analizar los factores que están ocasionando los deslizamientos e inestabilidad del talud.



- ❖ Evaluar el riesgo geológico

MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES

Nacional e Internacional

- ✓ Dorrio (2017)
- ✓ Escartí (20117)

Dorrio: “Caracterización geomecánica de taludes en roca ubicados en la carretera panamericana en el tramo Caracas - San Antonio de los Altos, estudió y analizó la geología de la zona, la cual se basa en dos formaciones: Las Brisas y Las Mercedes”.

Escartí: “Comparativa ambiental y económica de pantallas de contención de tierras para edificación mediante el análisis del ciclo de vida, ACV. Realizó un análisis comparativo que sirviera de herramienta en la etapa de diseño y la toma de decisiones.

Base Legal

- ✓ Artículo 55 y art.13.9 C

“Toda persona tiene derecho a la protección por parte del Estado a través de los órganos de seguridad ciudadana regulados por ley, frente a situaciones que constituyan amenaza, vulnerabilidad o riesgo para la integridad física de las personas, sus propiedades, el disfrute de sus derechos y el cumplimiento de sus deberes”.

“La estabilidad de terrenos en pendiente se verificara obligatoriamente en los siguientes casos: a) cuando las condiciones geológicas regionales y locales indiquen inestabilidad potencial de la zona; b) cuando el área este afectada por modificaciones en su topografía original, incluyendo terraceo c) lugares en condiciones geotécnicas desfavorables “.

MARCO TEÓRICO

Base Teórica

- ✓ La Cordillera de la Costa, su geología y el tramo de estudio
- ✓ Esquisto roca de formación metamórfica



MARCO TEÓRICO

Base Teórica

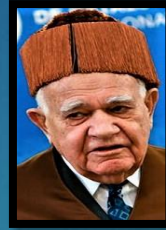
- Macizo rocoso y roca intacta (DIANE & CHILE)



- ✓ Diaclasas, pliegues, fallas, juntas
- ✓ Discontinuo, Isótropo e inelástico
- ✓ Buzamiento y rumbos de las foliaciones

Base Teórica

-Criterio de rotura de Hoek y Brown



Ing. Geólogo Hoek

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left[m * \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right]^{0.5}$$

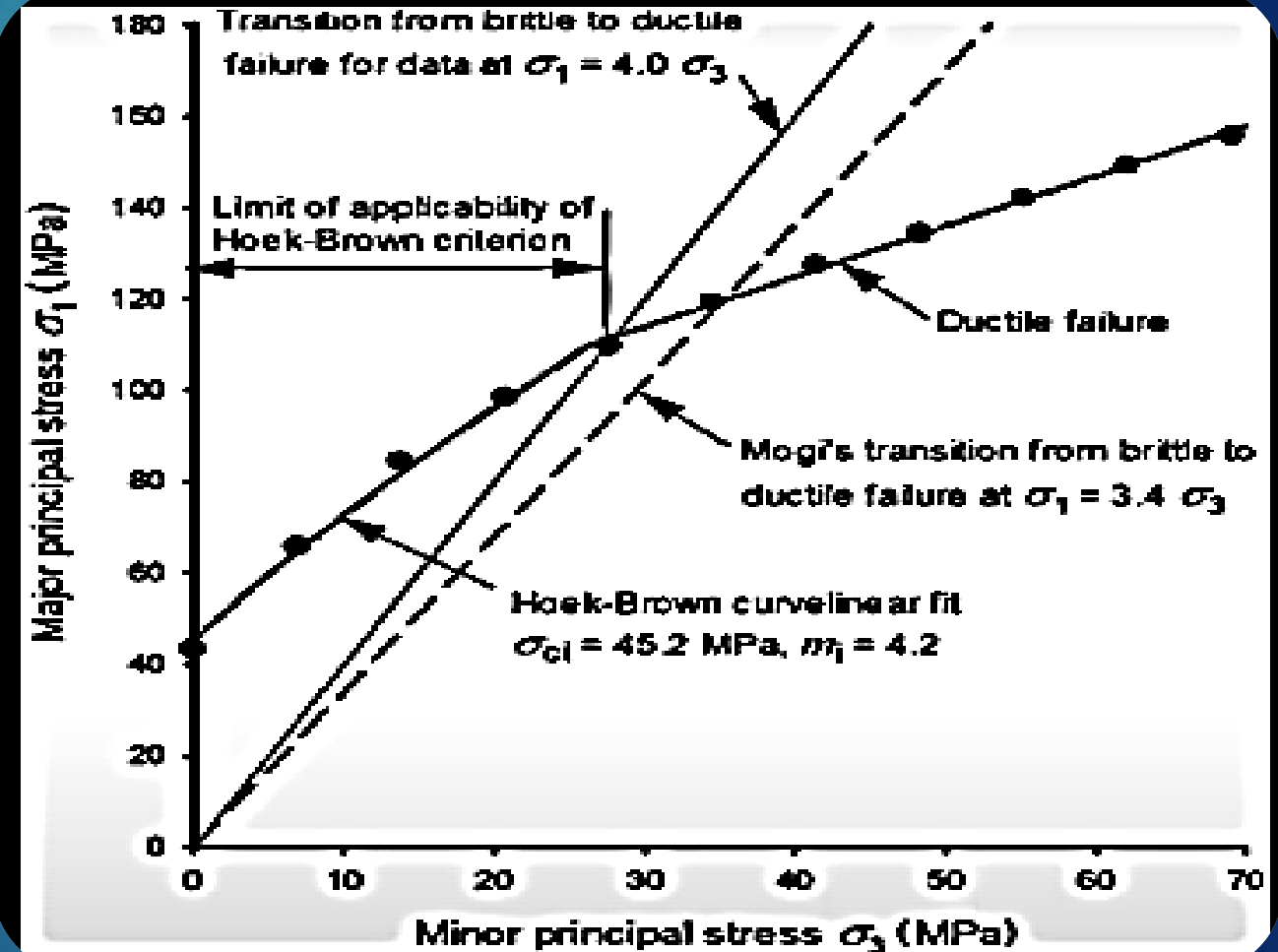
σ'_1 y σ'_3

Esfuerzos efectivos principales mayor y menor en el momento de la rotura

σ_{ci} Resistencia a compresión simple o uniaxial del material intacto

m y s = son las constantes del material, donde s = 1 para roca intacta

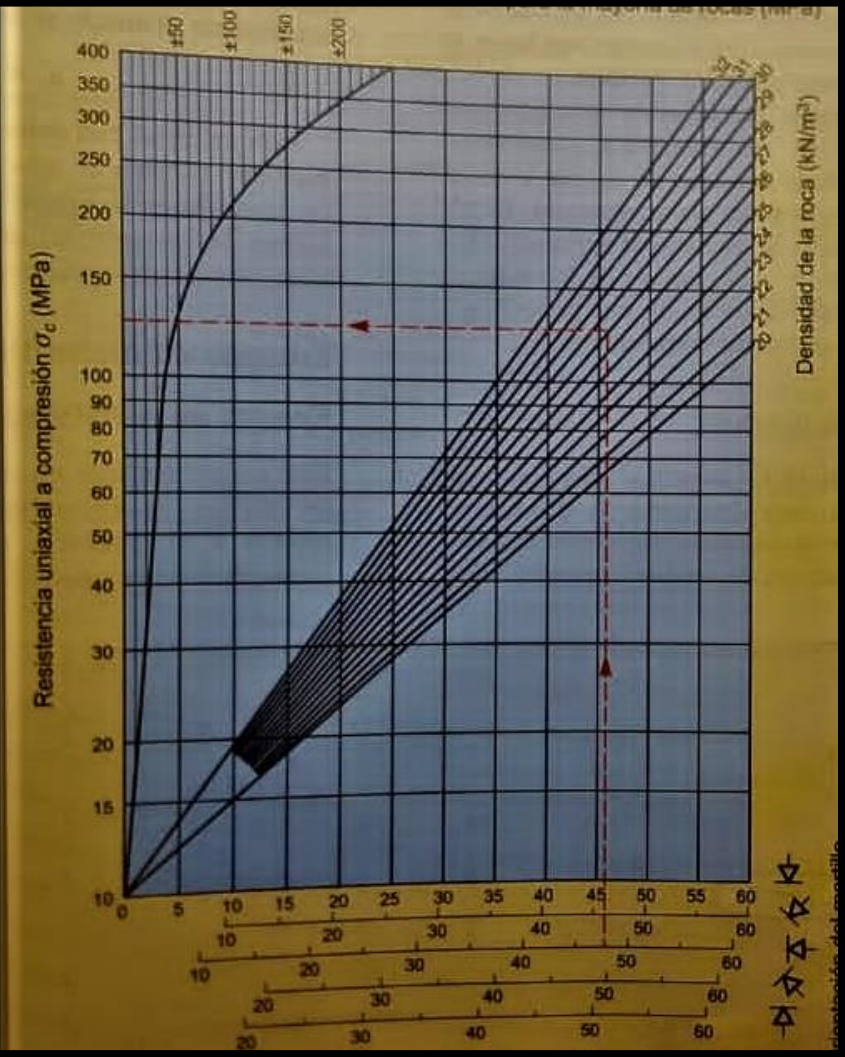
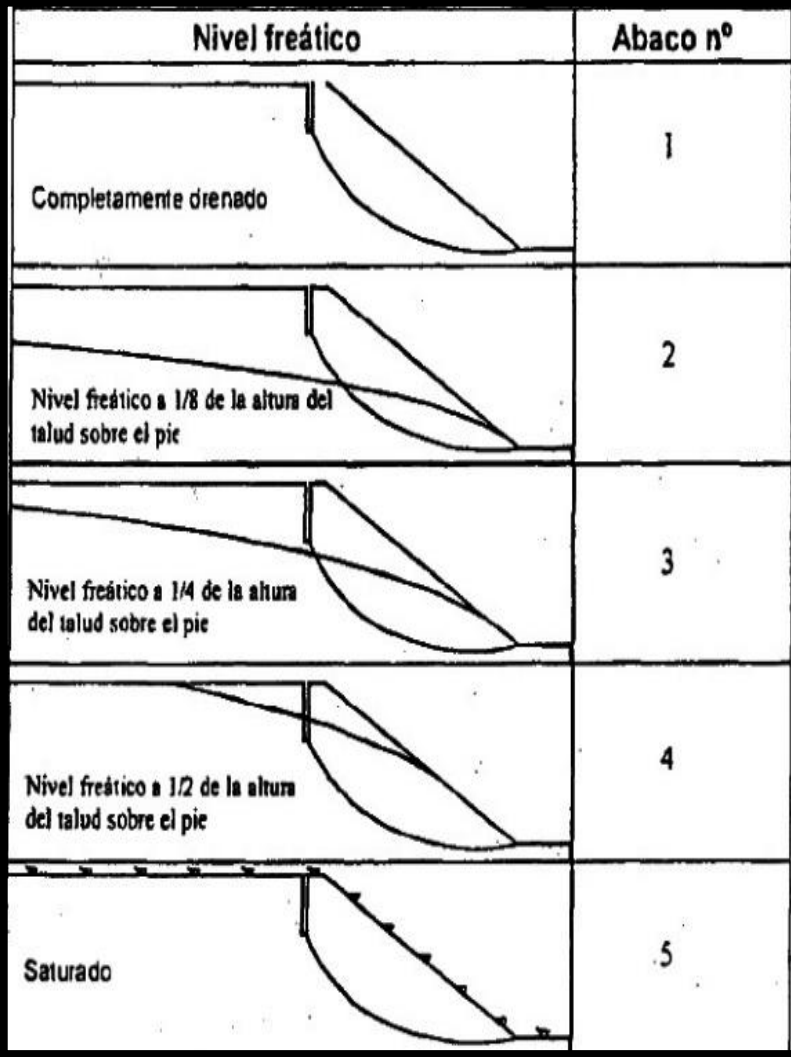
MARCO TEÓRICO



MARCO TEÓRICO

Base Teórica

- ✓ Criterio de rotura de Hoek y Brown
- ✓ Uso de los ábacos
- ✓ Macizos con falla circular y con comportamiento similar al de suelos duros.



MARCO TEÓRICO

Base Teórica

- Estimación de los parámetros D y M

EXCAVACIÓN	Descripción del macizo rocoso	Valor de D (sugerido)
TÚNELES Y EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS	Voladura con excelente control o excavación mecánica con TBM con una perturbación mínima del macizo rocoso que rodea al túnel.	D = 0
	Excavación mecánica o manual en macizos de mala calidad con una perturbación mínima del macizo rocoso que rodea al túnel.	D = 0
	Problemas de "squeezing" o flujo de roca que den lugar a la elevación de la solera. Si se coloca un sostenimiento temporal de la misma, se utiliza el D del caso anterior.	D = 0.5
	Voladuras poco cuidadosas en macizos rocosos duros, que den lugar a daños en el macizo que se extienden entre 2 y 3 metros hacia su interior	D = 0.8
TALUDES EN INGENIERÍA CIVIL Y MINERA	Voladuras con excelente control en pequeños taludes (sobre todo si se utiliza precorte o recorte). La relajación de tensiones produce perturbación.	D = 0.7
	Voladuras poco cuidadosas en pequeños taludes en el ámbito de la ingeniería civil.	D = 1.0
	En cortas y grandes explotaciones mineras a cielo abierto se produce mucha perturbación por las grandes voladuras de producción y por la relajación de tensiones asociada a la retirada de material.	D = 1.0
	Excavación por arranque mecánico o "ripado" en rocas blandas.	D = 0.7

Tipo de roca	Clase	Grupo	Textura			
			Gruesa	Media	Fina	Muy fina
SEDIMENTARIAS	Clásticas		Conglomerado (22)	Arenisca 19	Limolita 9	Argilita 4
			← Grauwaca (18) →			
	No clásticas	Orgánicas	← Creta(18) → ← Carbón (8-21) →			
		Carbonatadas	Brecha (20)	Caliza Esparítica (10)	Caliza Micrítica 8	
		Evaporitas	Yeso 16		Anhidrita 13	
METAMÓRFICAS	No foliadas		Mármol 9	Corneanas (19)	Cuarcita 24	
	Ligeramente foliadas		Migmatita (30)	Anfibolita 31	Milota (6)	
	Foliadas*		Gneiss 33	Esquisto (10)	Filita (10)	Pizarra 9
IGNEAS	Claras	Granito 33			Riolita (16)	Obsidiana (19)
		Granodiorita (30)			Dacita (17)	
		Diorita (28)			Dacita 19	
	Oscuras	Gabro 27	Dolerita (19)	Basalto (17)		
		Norita 22				
	Extrusivas piroclásticas		Aglomerado (20)	Brecha (18)	Toba (15)	

Base Teórica

-.Método de GSI.

Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.

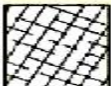
CONDICIONES DE SUPERFICIE		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		Superficie muy rugosa, no meteorizada, fresca	Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro	Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorización y relleno compactos.	Superficie con espejos de falla, alto grado de meteorización y relleno arcillas suaves.
ESTRUCTURA		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE				
		DECRECE EL ENCLAVAMIENTO DE LOS BLOQUES				
	INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas	90			N/A	N/A
	FRACTURADA Macizo rocoso con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de discontinuidades	80	70			
	MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entrabados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas		60	50		
	FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion			40	30	
	DISGREGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados				20	
	LAMINADA/FOLIADA Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistocidad y cizalla	N/A	N/A			10

MARCO TEÓRICO

CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGUN GSI MODIFICADO

Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidas insitu con una wincha. La resistencia se determina golpeando o indentando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de las paredes y relleno de las discontinuidades.

ESTRUCTURA

	LEVEMENTE FRACTURADA Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fracturas por metro) (RQD = $115 - 3.3 J_n$)	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/P	LF/MP
	MODERADAMENTE FRACTURADA Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)	F/MB	F/B	F/R	F/P	F/MP
	MUY FRACTURADA Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP
	INTENSAMENTE FRACTURADA Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 - 25%) (Más de 20 fracturas por metro)	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/P	IF/MP
	TRITURADA O BRECHADA Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)	T/MB	T/B	T/R	T/P	T/MP

MARCO TEÓRICO

Base Teórica

-Índices: RQD – RMR

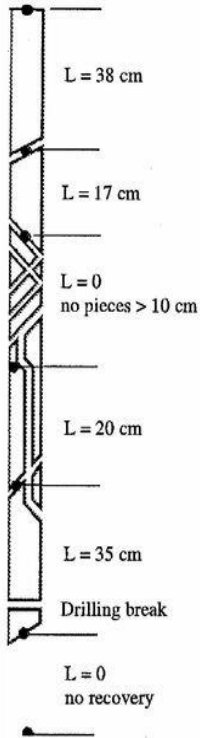
RQD Índice de calidad de la roca (Deere 1967)

• Estimación de calidad del macizo rocoso, a partir de perforaciones rotativas con extracción de testigos. (NW 54mm).

“% de piezas de roca intacta mayores a 10 cm recuperadas por corrida”

- S/perf.: $RQD=115-3.3 J_v$
- $RQD = V_{e^2} / V_L 100$
- $RQD = f$ (orientación perf.)
- No considerar fisuras generadas por perforación.

•DATO DE LAS OTRAS CLASIFICACIONES



Total length of core run = 200 cms

$$RQD = \frac{\sum \text{Length of core pieces} > 10 \text{ cm length}}{\text{Total length of core run}} \times 100\%$$
$$RQD = \frac{38+17+20+35}{200} \times 100\% = 55\%$$

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO																		
Clasificación RMR de Bieniawski (1989)																		
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORACIONES														VALORACIÓN		
RESIST. COMP. UNIAXIAL (MPa)		> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	< 25	2	< 5	1	< 1	0	1	> 250	▼
RQD %		90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	< 25					3	2	90 - 100	▼
ESPACIAMIENTO (m.)		> 2	20	0.6 - 2	15	0.2 - 0.6	10	0.06 - 0.2	8	< 0.06					5	3	> 2	▼
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m.	6	1 - 3m.	4	3 - 10mm.	2	10 - 20m.	1	> 20mm.					0	4A	< 1m.	▼
	APERTURA	Cerrada	6	< 0.1mm.	5	0.1 - 1.0mm.	4	1 - 5mm.	1	> 5mm.					0	4B	Cerrada	▼
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla					0	4C	Muy rugosa	▼
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm.	4	Dura > 5mm.	2	Suave < 5mm.	1	Suave > 5mm.					0	4D	Limpia	▼
	ALTERACIÓN	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. Alterada	3	Muy Alterada	2	Descompuesta					0	4E	Sana	▼
AGUA SUBTERRÁNEA		Seco	15	Húmedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo					0	5	Seco	▼
VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5) =																100		
CLASE DE MACIZO ROCOSO																		
RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	I											
DESCRIPCIÓN		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	MUY BUENA											
Edison Jesús Rosas Quirope																		
PARÁMETRO PARA CALCULAR EL RMR SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES TÚNELES Y MINERÍA (Rumbo y Buzamiento)																		
Rumbo Perpendicular al Eje/Dirección contra Buzamiento 45°-90°																Rango RMR		
Regular																-5		
VALOR RMR (Corregido) =																95		
CLASE DE MACIZO ROCOSO																		
RMR		100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	I											
DESCRIPCIÓN		I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	MUY BUENA											

MARCO METODOLÓGICO

Tipo de Investigación ↔ P. Factible

Diseño de la Investigación ↔ Campo-T.Mixta: C y C

Nivel de la Investigación ↔ Descriptivo

Población y Muestra ↔ CSCG-FR.M y TF

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de Análisis de Datos

Revisión bibliográfica, documental, la observación directa e instrumentos varios

Diagrama de Ishikawa



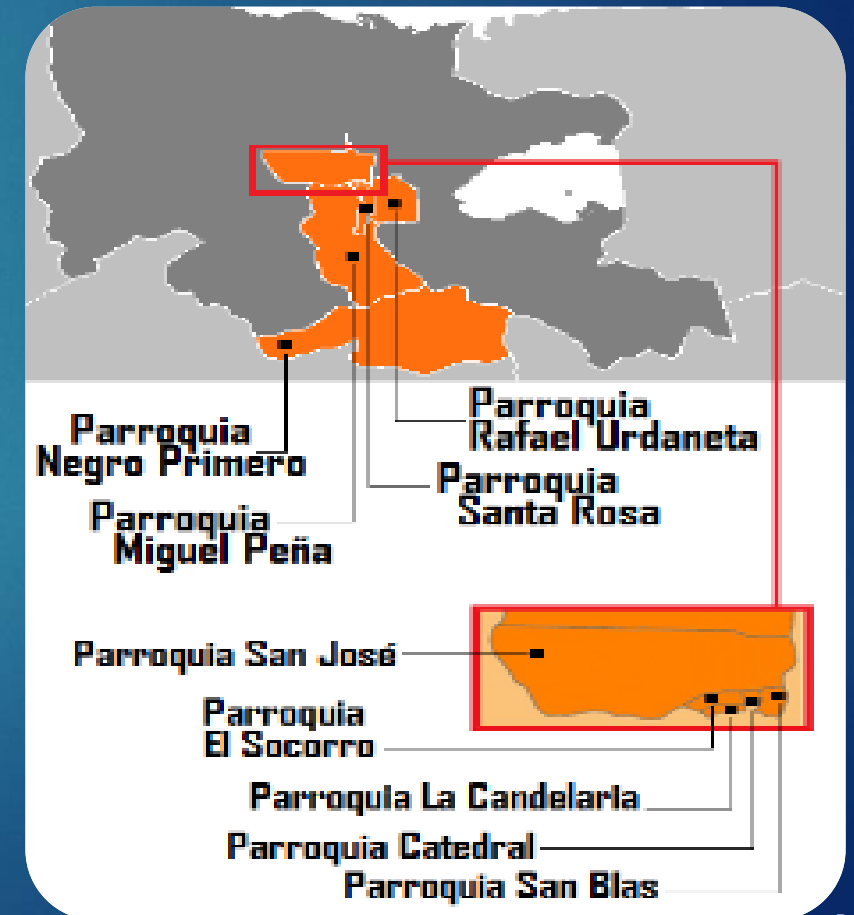
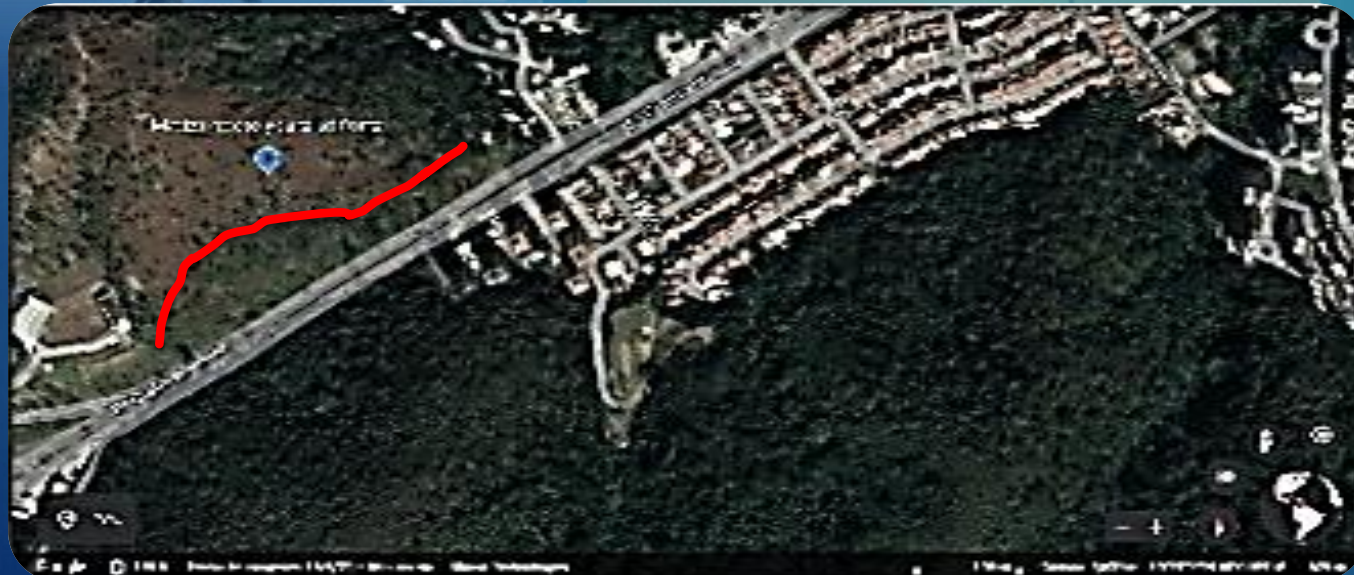
RESULTADOS

F1.-Diagnóstico de las condiciones geotécnicas actuales del tramo de estudio

✓ Ubicación



Cordillera Andina, Cordillera de la Costa y Cordillera del Interior



RESULTADOS

F1.-Diagnóstico de las condiciones geotécnicas actuales del tramo de estudio

✓ Limites



Norte: Cerro La Manguita

Sur: Av.Cuatricentenaria y Res.
Mirador Country

Este: Guataparo_Hotel La Colina

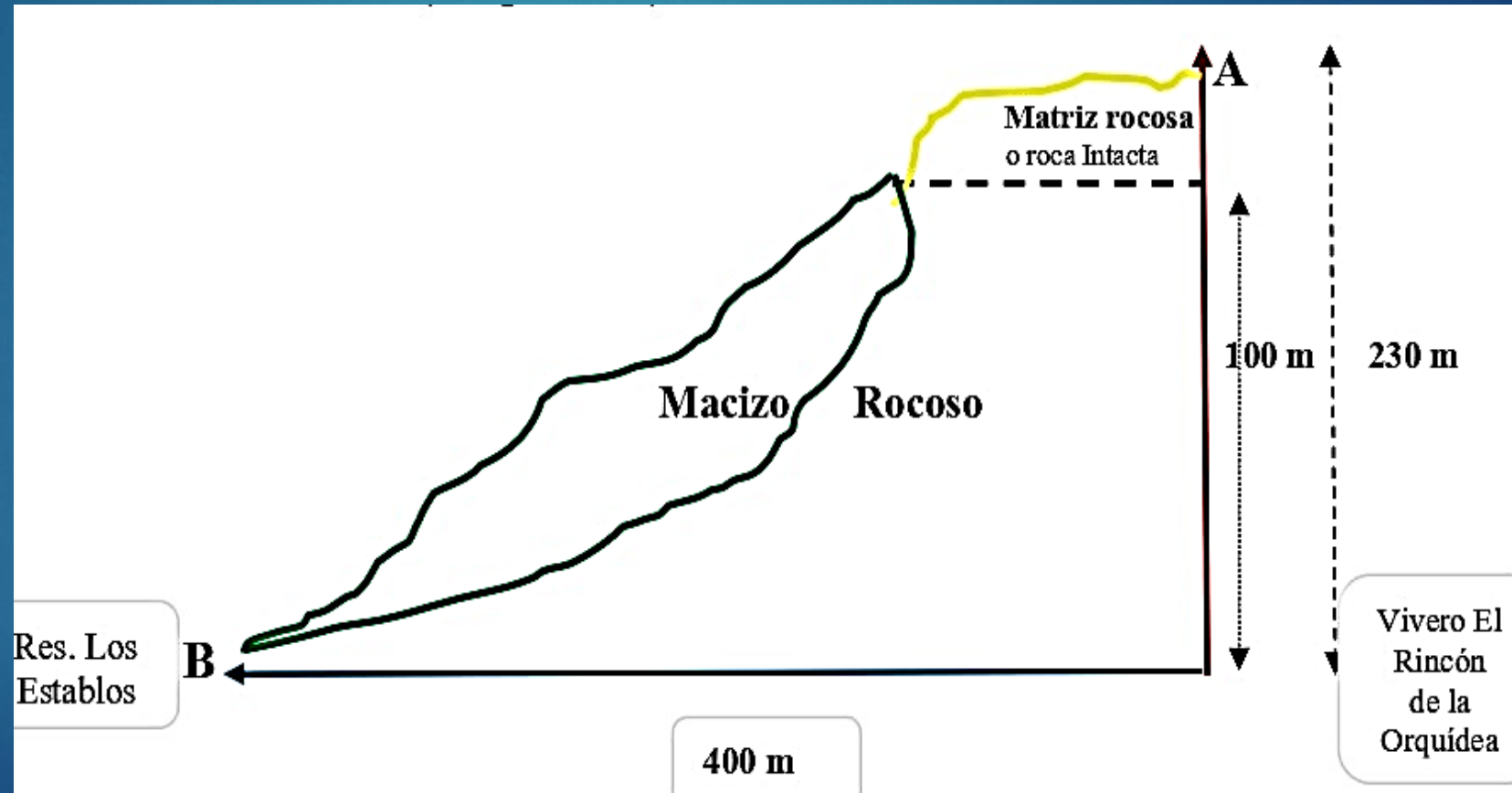
Oeste: Comunidad de La Manguita

RESULTADOS

F1.-Diagnóstico de las condiciones geotécnicas actuales del tramo de estudio

✓ Superficie

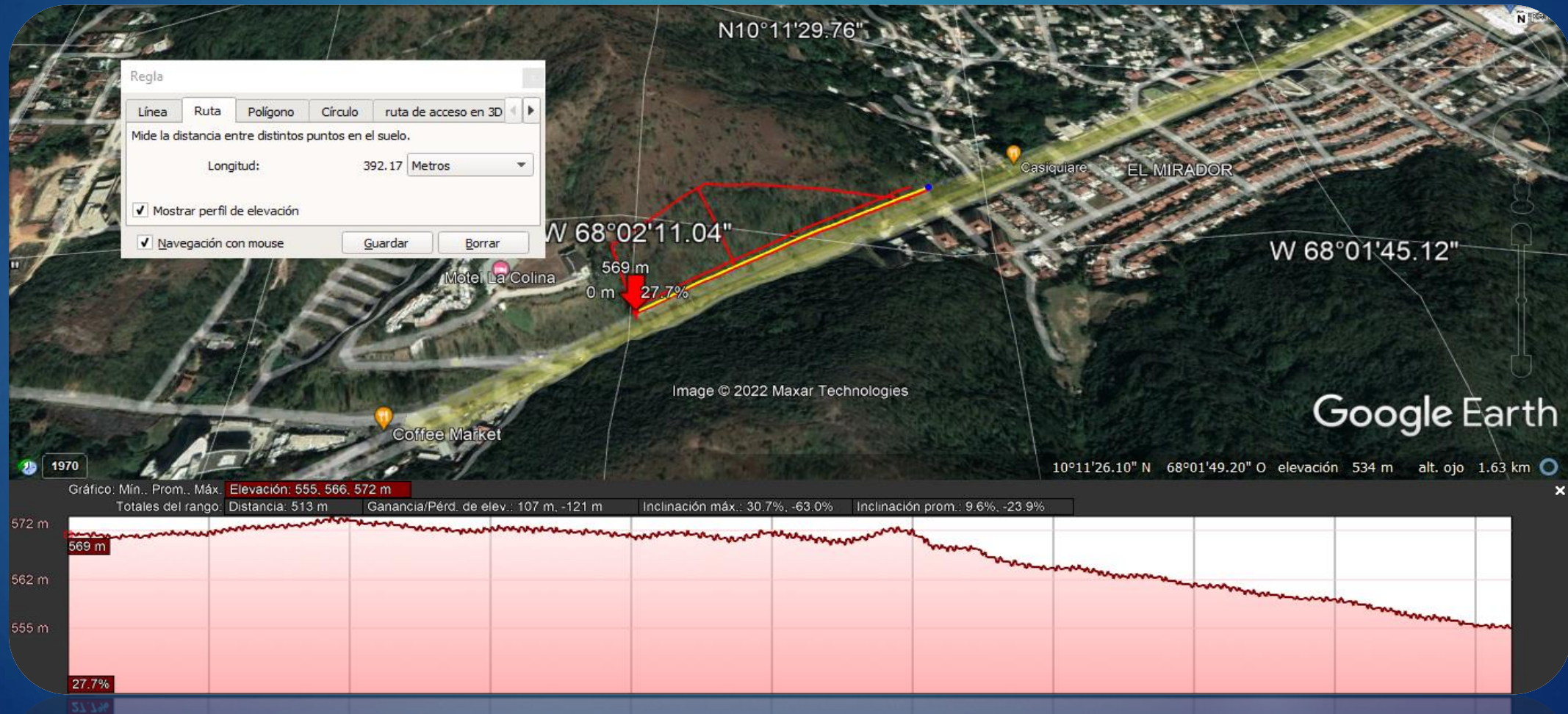
✓ Topografía



RESULTADOS

F1.-Diagnóstico de las condiciones geotécnicas actuales del tramo de estudio

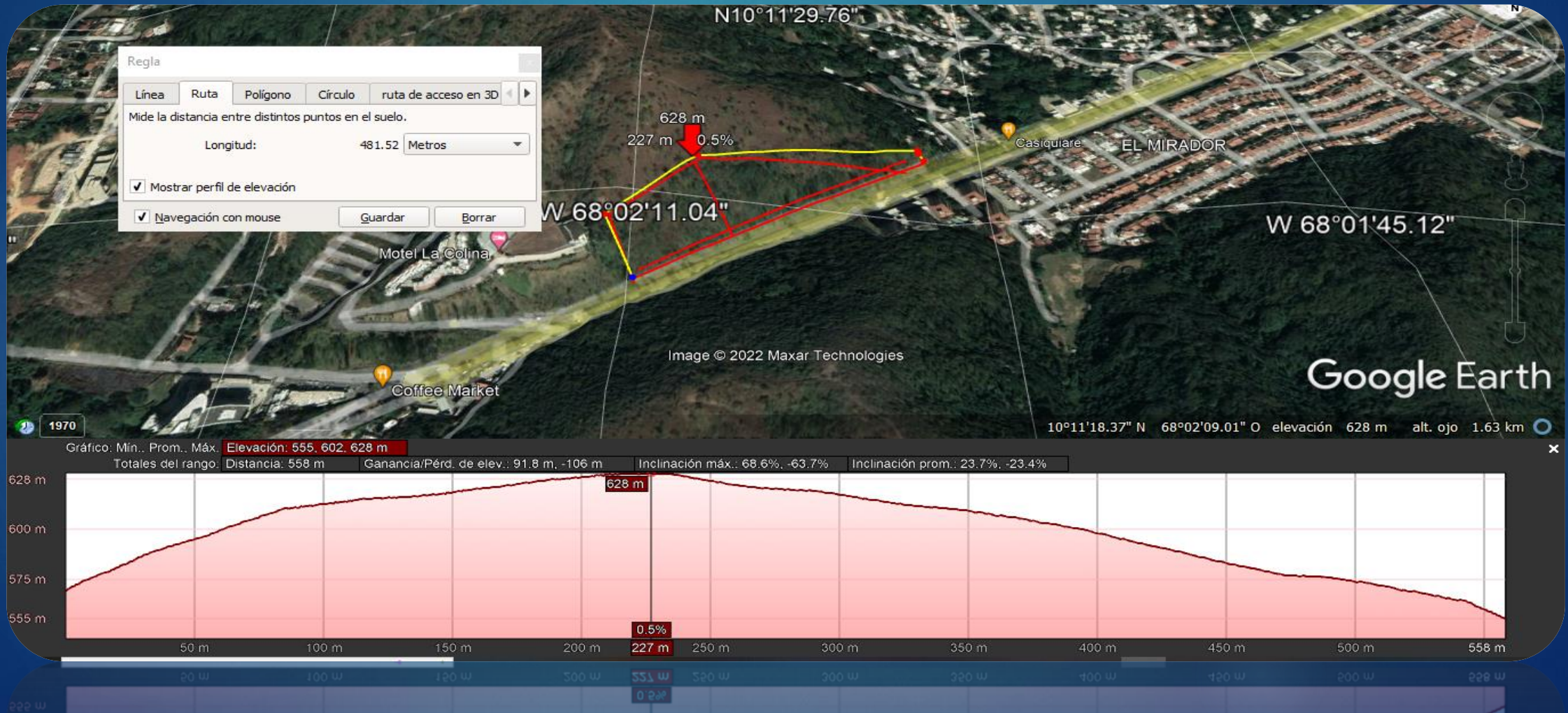
✓ Topografía



RESULTADOS

F1.-Diagnóstico de las condiciones geotécnicas actuales del tramo de estudio

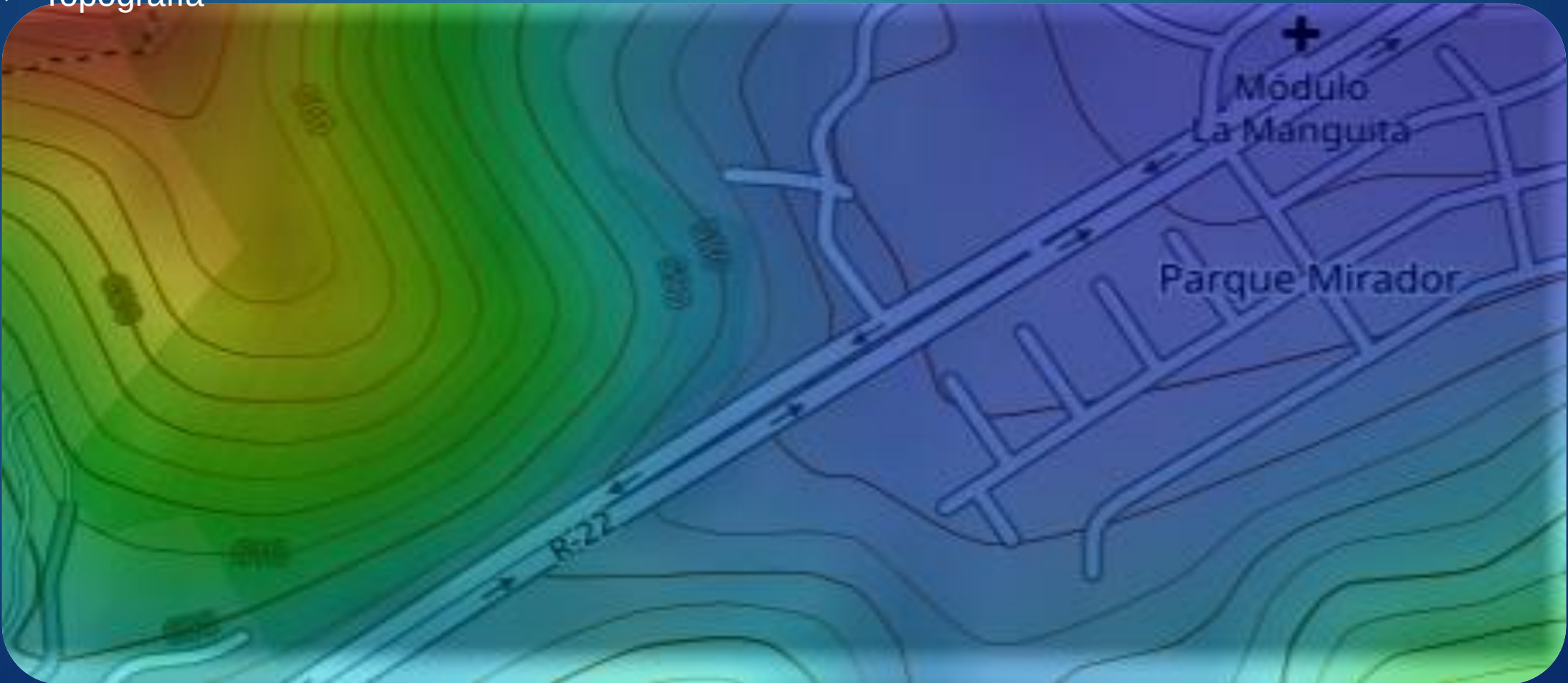
✓ Topografía



RESULTADOS

F1.-Diagnóstico de las condiciones geotécnicas actuales del tramo de estudio

✓ Topografía



F1.-Diagnóstico de las condiciones geotécnicas actuales del tramo de estudio

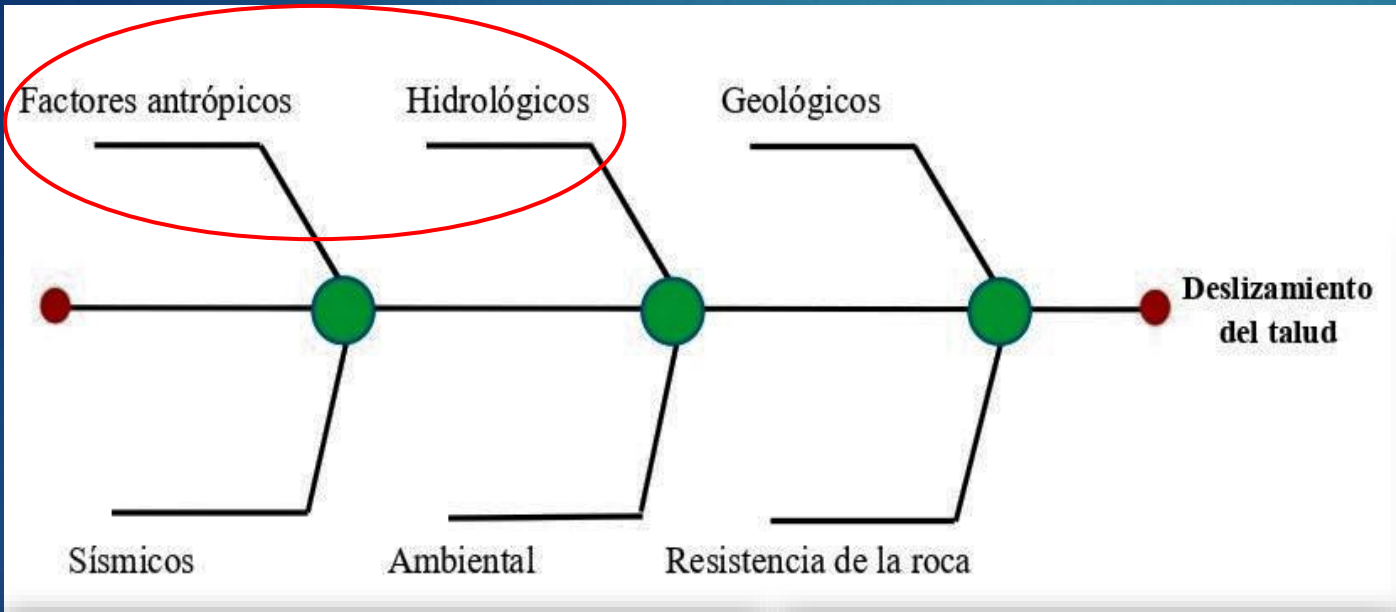
✓ Vegetación

Arbustos con tallos a 45°, 35° y 90° propios de taludes inestable o en movimiento y del tipo enredadera, espinosas; así como también raíces adheridas al macizo

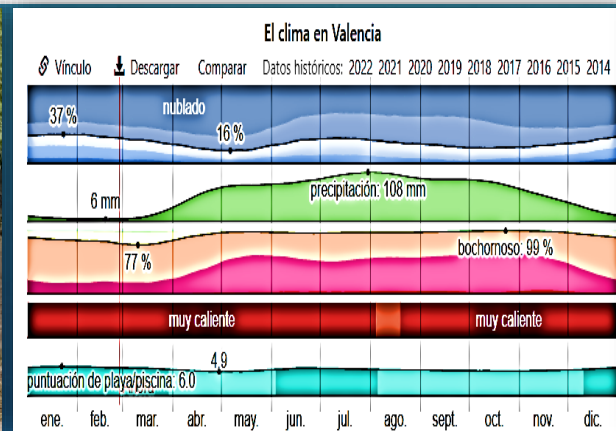


RESULTADOS

F2.-Análisis de los factores que ocasionan la inestabilidad en la zona

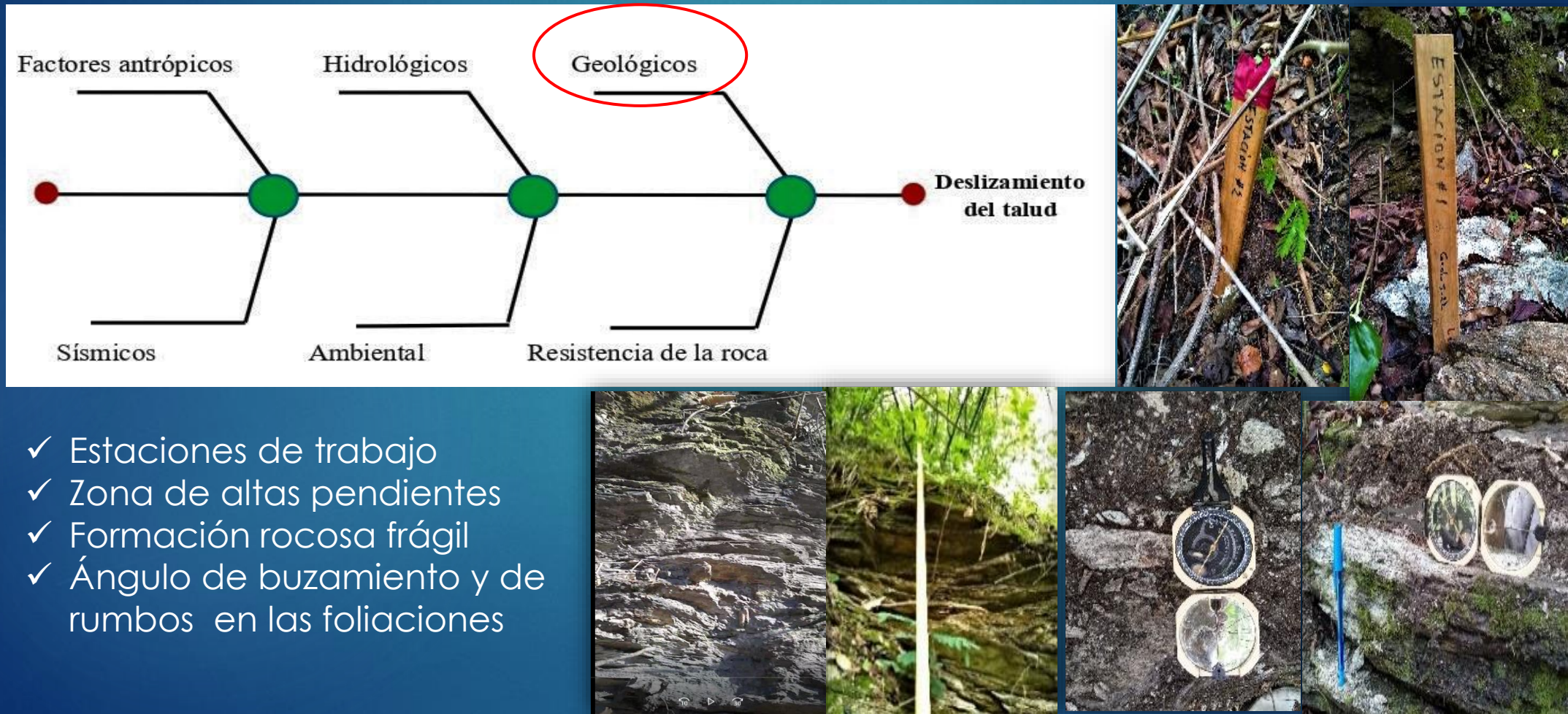


- ✓ Alto flujo vehicular
- ✓ Escorrentía superficial
- ✓ Macizo rocoso saturado

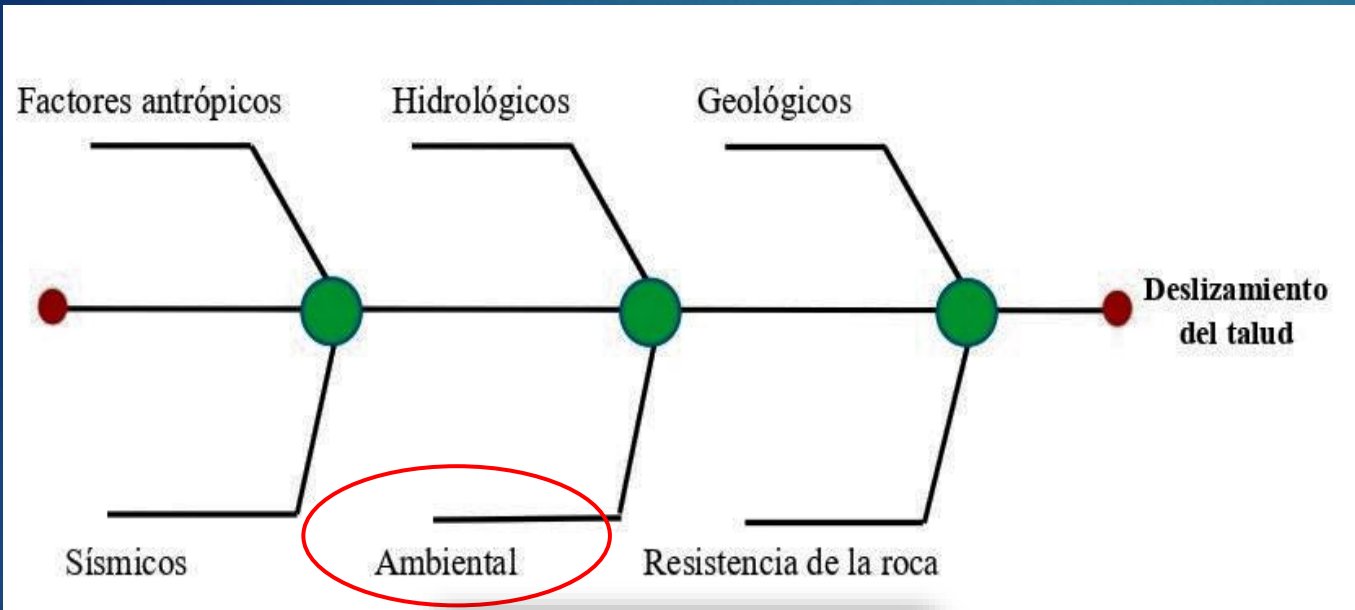


RESULTADOS

F2.-Análisis de los factores que ocasionan la inestabilidad en la zona



F2.-Análisis de los factores que ocasionan la inestabilidad en la zona



- ✓ Meteorización o intemperismo
- ✓ Falla circular a 233 msnm



RESULTADOS

F2.-Análisis de los factores que ocasionan la inestabilidad en la zona



Valores arrojados in situ, prueba con Martillo sobre el macizo, Talud Sur

Dirección del golpe	↓	↓	↙	↙	←	←
No. de golpes	4	7	8	10	12	15
Fractura leve	X		X			
Fractura completa		X		X	X	

Valores arrojados in situ en el macizo c/brújula, Talud Sur.

Buzamiento, S		40°		50°		35°	
Rumbos, SE		45°		30°		28°	
Estado general	Seco	Lig. húm	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
Valoración	X		X		X		

RESULTADOS

F2.-Análisis de los factores que ocasionan la inestabilidad en la zona

Características geomecánicas del tramo de estudio

Estrato	GSI	m _i	S	D	RQD	RMR	Lab/Rcorte - Rsidual
1 Macizo	50 – 40 FP/P	10-33	0	0.70 – 1.0	25-50%	40-20 M/MM	
2 R. Intacta			1		0		1.5 k/cm ² _ 0.5 k/cm ²

Valores arrojados in situ para Ingeroca, Talud Este

Buzamiento	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°
Condición	Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable

Estado general	Seco	Lig. húm	Húmedo	Goteando	Fluyendo
Valoración	15	10	7	4	0

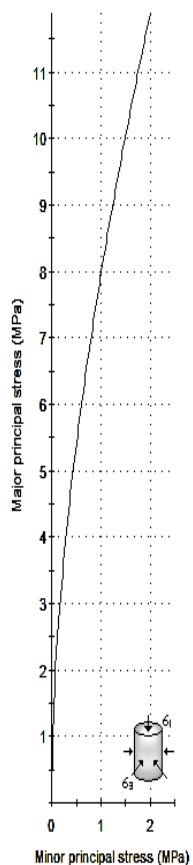
SOFTWARE ROCLAB

Parametrización de los datos

RESULTADOS

RockData

Análisis de un macizo rocoso y su talud frontal, Cerro Sendero C.G.

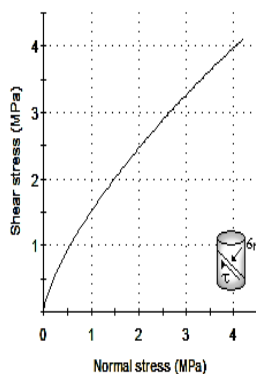


Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 35 MPa
 GSI = 46 $m_i = 28$ Disturbance factor = 0.7

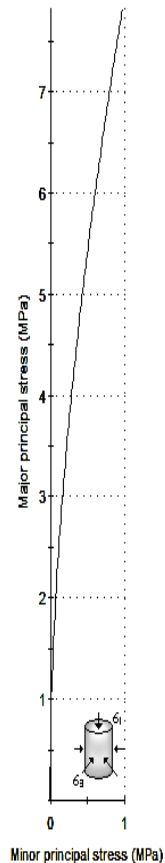
Hoek-Brown Criterion
 $m_b = 1.441$ $s = 0.0004$ $a = 0.508$

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.587 MPa friction angle = 41.63 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.010 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.659 MPa
 global strength = 5.452 MPa
 modulus of deformation = 3054.55 MPa



Análisis de un macizo rocoso y su talud frontal, Cerro Sendero C.G.

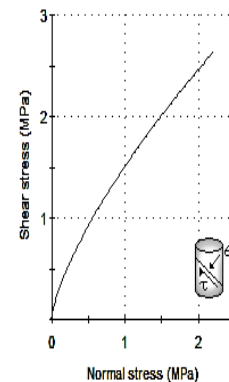


Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 35 MPa
 GSI = 46 $m_i = 28$ Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion
 $m_b = 1.441$ $s = 0.0004$ $a = 0.508$

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 0.357 MPa friction angle = 47.60 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.010 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.659 MPa
 global strength = 5.452 MPa
 modulus of deformation = 3054.55 MPa



ht=100 m Altura real del talud

ht=20 m Altura escalada

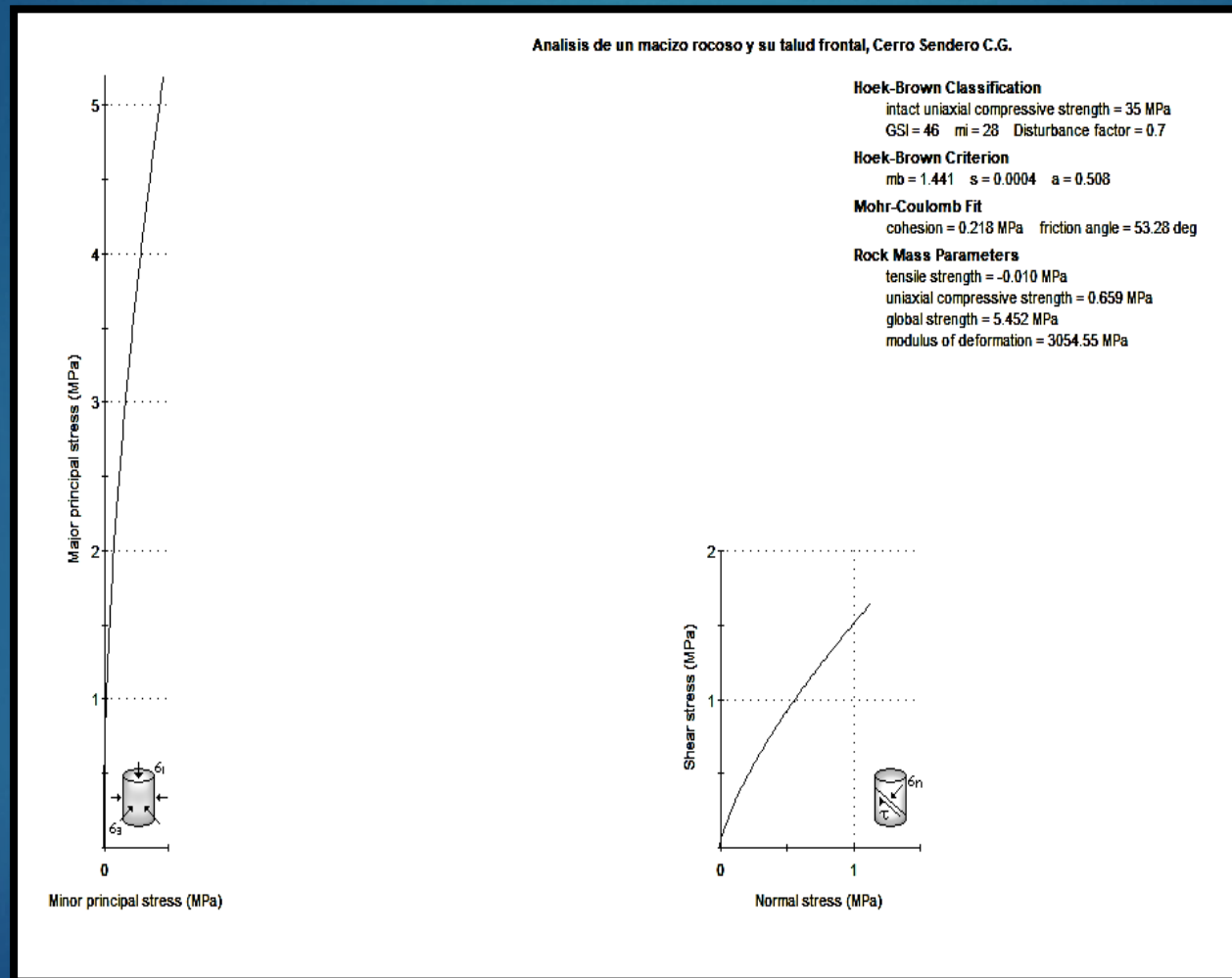
ROCSCIENCE

SOFTWARE ROCLAB

Parametrización de los datos

RockData

RESULTADOS

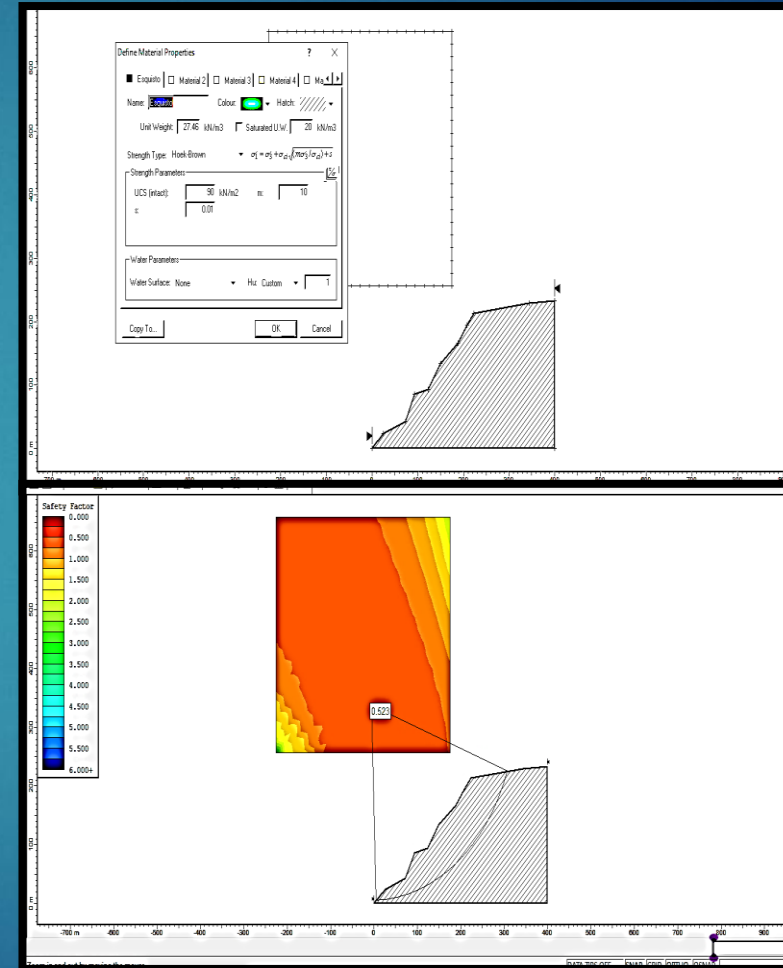
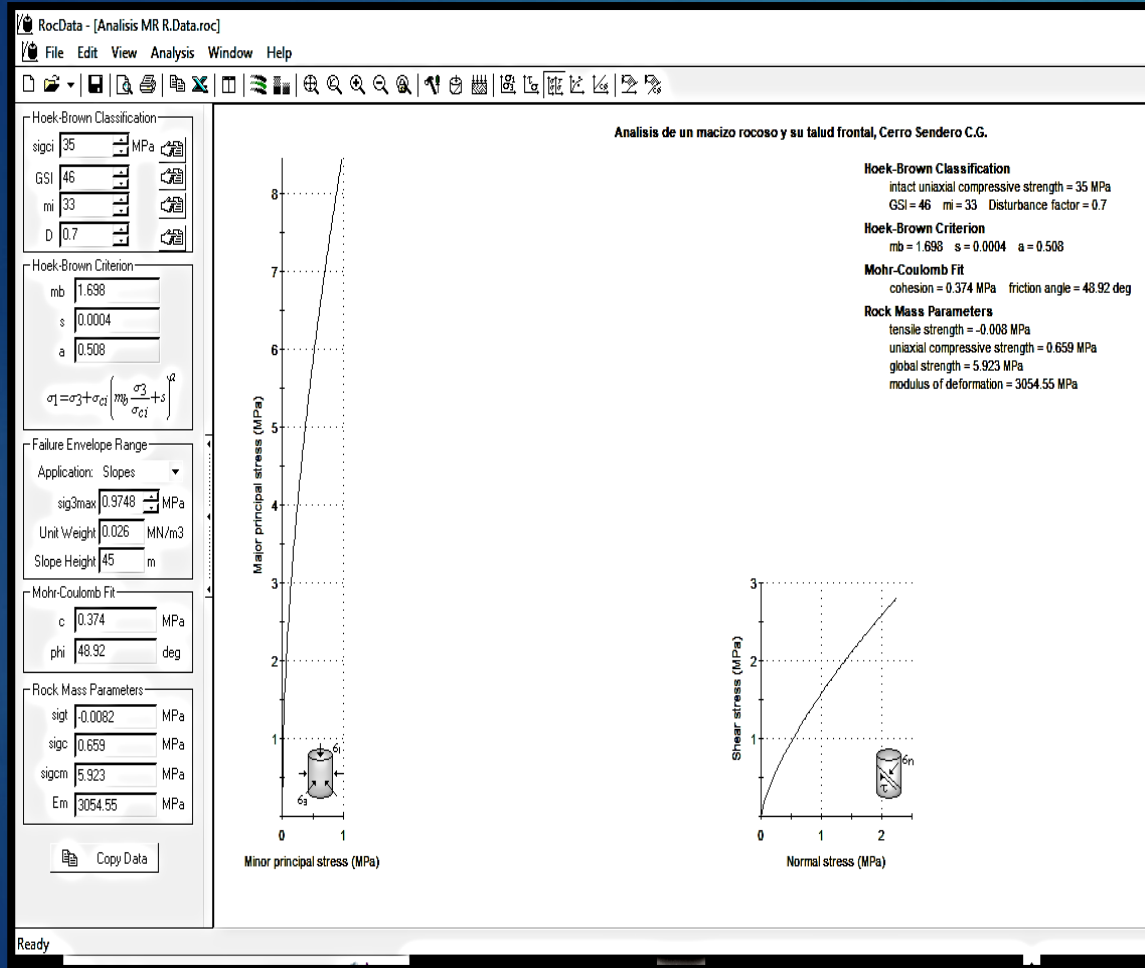


ht=45 m Altura estimada inicialmente

SOFTWARE ROCLAB

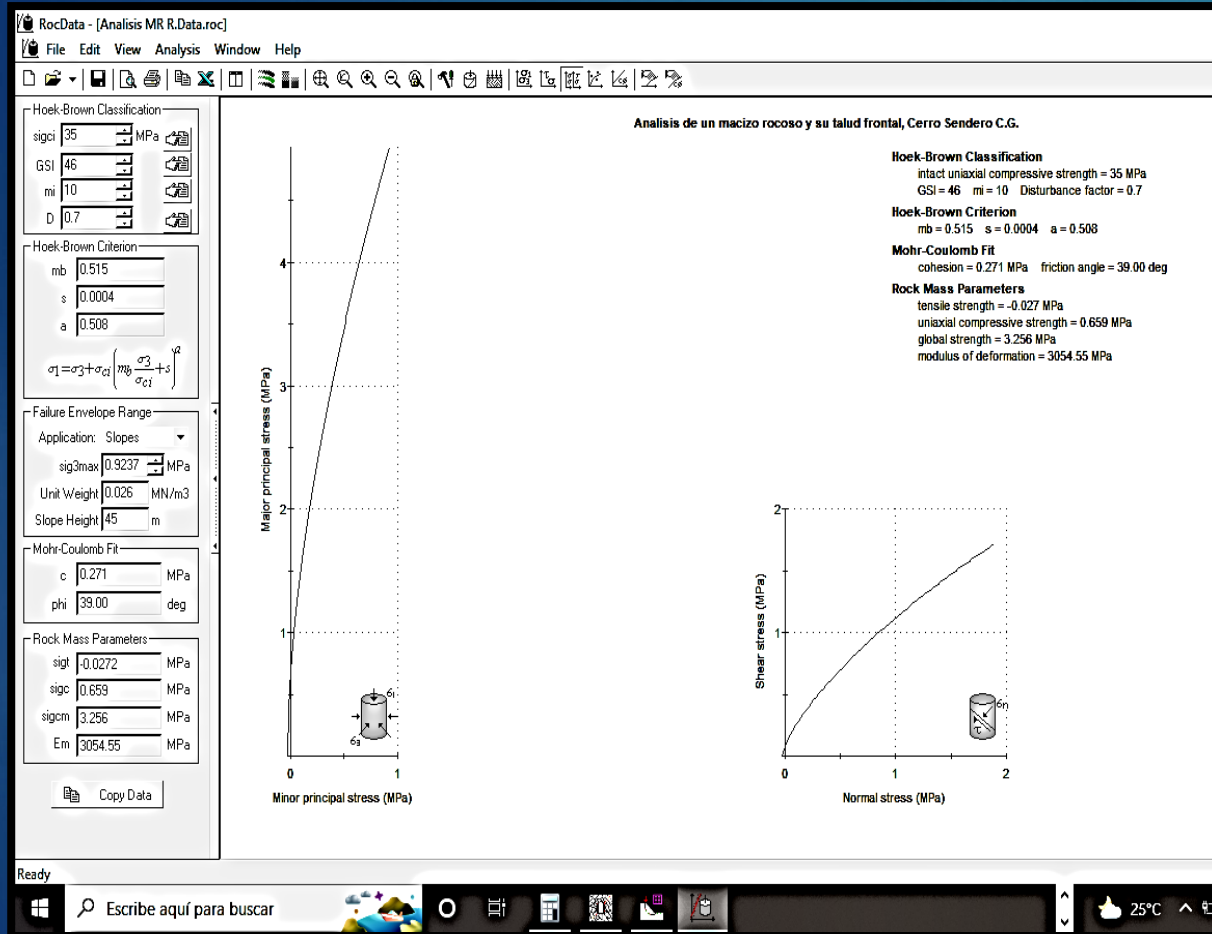
Parametrización de los datos

RESULTADOS



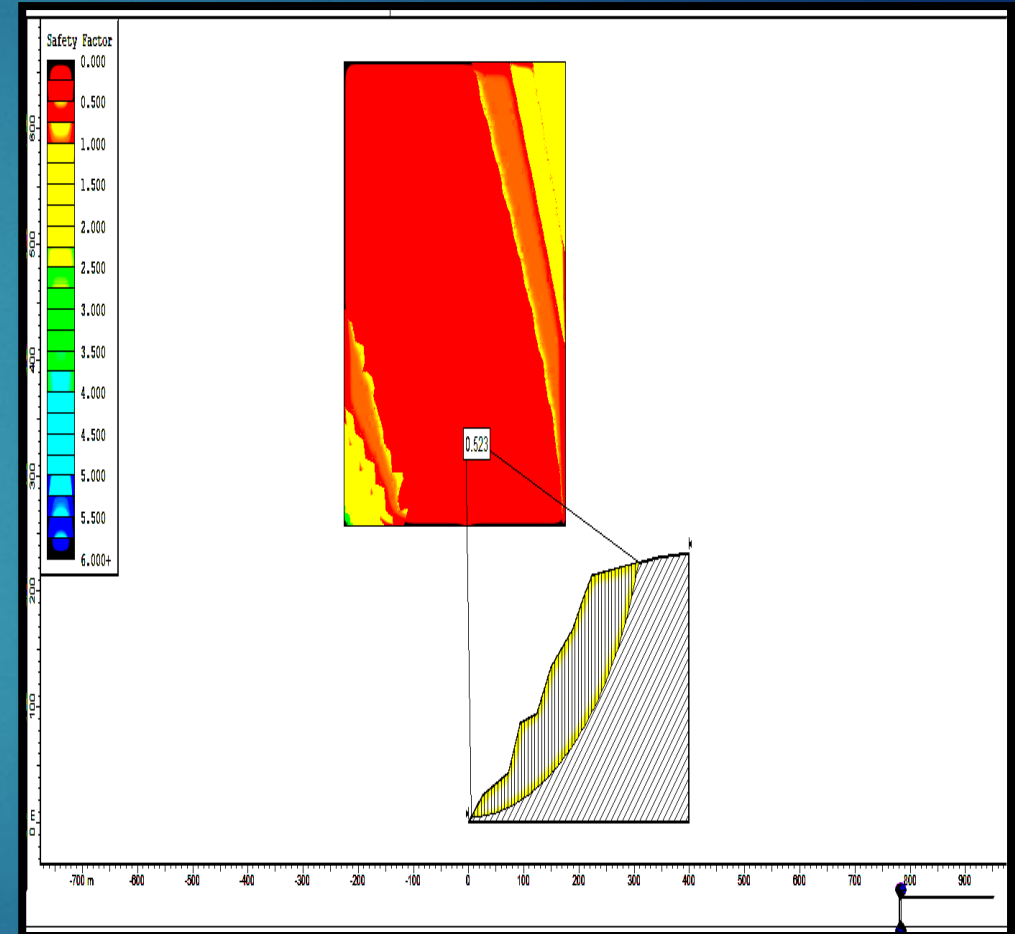
SOFTWARE ROCLAB

Parametrización de los datos



Esquisto

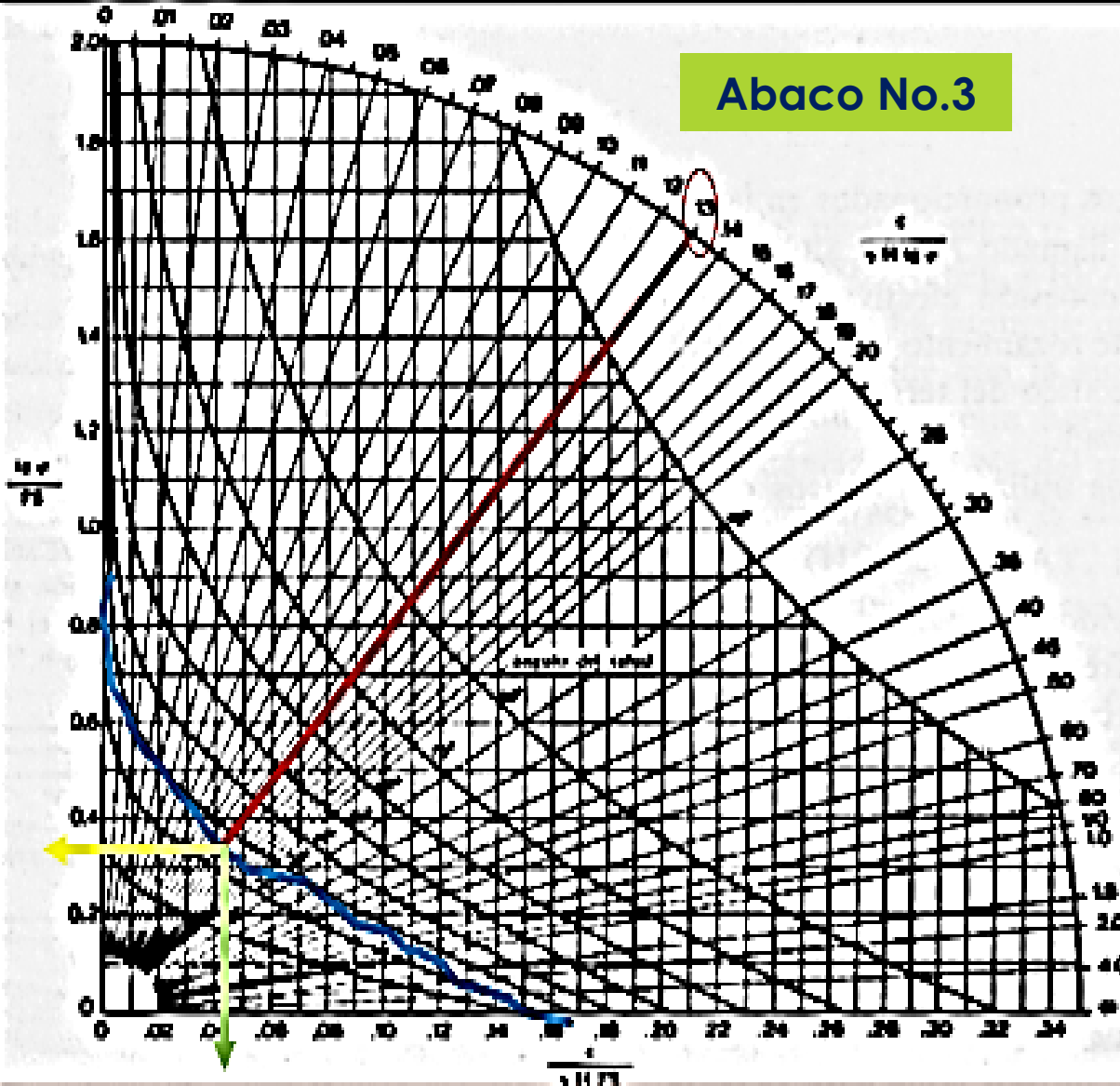
RESULTADOS



Slide

Factor de seguridad por deslizamiento

Abaco No.3



RESULTADOS

- ✓ Se calcula el valor de la expresión $C' / \gamma H \operatorname{tg} \Phi$ y se ubica dentro del ábaco con el valor resultante
- ✓ El punto de corte de la recta correspondiente al valor anterior con la curva del ángulo del talud, permite leer en los ejes de X y Y los valores de $(\operatorname{tg} \Phi / F_s)$ y $(C' / \gamma H \operatorname{tg} \Phi)$
- ✓ Finalmente, se despeja el valor de F_s **$F_s = 1.48$**

$$\frac{C'}{\gamma H \operatorname{tg} \Phi} = \frac{1.6}{1.8 * 15 * 0.466} = 0.13$$

$$\frac{\operatorname{tg}(30^\circ)}{F_s} = 0.577_{(Y)}$$

$$F_s = \frac{0.577}{0.39} = 1.48$$

NOTA:

El F_s , para este tipo de macizo no procede por volcamiento puesto que sus bloques por el grado de fracturamiento solo se deslizan al ser su comportamiento como un suelo duro.

F3.-Evaluación del riesgo geológico

$$R = P \times V \times C$$

Donde,

P = es la peligrosidad del proceso considerado,

V = es la vulnerabilidad de los elementos expuestos
a la acción del proceso

C = es el valor o costos de los mismos.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La fórmula para el factor de seguridad inicialmente utilizada por H&B arroja un valor, no cónsono con el caso en estudio.
 - Análisis y evaluación de los cinco ábacos de Hoek & Bray, dando como resultado el ábaco No.3 para la solución del Fs por deslizamiento y no por volcamiento.
 - Se devela que al final de la caracterización se debe analizar como suelo y no como roca.
-
- Completar la caracterización del macizo rocoso y sobre todo de la roca intacta con los ensayos de laboratorios respectivos (no se logro ascender a la roca intacta por lo escarpado del terreno, altísimas pendientes y muy resbaladizo).
 - Independientemente de la solución de contención que se adopte, es necesario e indispensable considerar el tratamiento con geo mantas para que la solución no impacte de manera negativa al ambiente, al paisajismo del entorno.
 - Incluir la catedra de mecánicas de rocas en el pensum de estudio de ingeniería civil como complemento de la catedra de mecánica de suelos.



GRACIAS!!

“ LO QUE DIOS NO PUEDE HACER ES: FALLARTE ”