

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

***CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE TALUDES EN ROCA
UBICADOS EN LA CARRETERA PANAMERICANA EN EL TRAMO
CARACAS - SAN ANTONIO DE LOS ALTOS***

**Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al título de Ingeniero Civil
Por el bachiller José Manuel Dorrio Ranilla**

CARACAS; MAYO 2002

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

***CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE TALUDES EN ROCA
UBICADOS EN LA CARRETERA PANAMERICANA EN EL TRAMO
CARACAS - SAN ANTONIO DE LOS ALTOS***

TUTOR: Naime Wagdi

**Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al título de Ingeniero Civil
Por el bachiller José Manuel Dorrio Ranilla**

CARACAS; MAYO 2002

INDICE

Contenido	Pág.
Resumen.....	I
Introducción.....	V
CAPITULO 1 : Conceptos Básicos sobre Estabilidad de Taludes	1
1.1.- Definiciones Básicas	2
1.2.- Las Clasificaciones Geomecánicas y la Estabilidad de Taludes	5
1.3.- Los Movimientos en los Taludes.....	8
1.3.1.- Influencia del Tipo de Material	9
1.3.2.- Tipos de Movimientos.....	11
1.3.2.1.- Desprendimientos	13
1.3.2.2.- Vuelco	14
1.3.2.2.1.- Vuelco por Flexión	15
1.3.2.2.2.- Vuelco de Bloques.....	16
1.3.2.2.3.- Vuelco Mixto	16
1.3.2.3.- Deslizamientos.....	17
1.3.2.3.1.- Deslizamientos Rotacionales	17
1.3.2.3.2.- Deslizamientos Traslacionales ...	18
1.3.2.4.- Extensiones Laterales	20
1.3.2.5.- Flujos	21
1.3.2.5.1.- Flujos en Roca	21
1.3.2.5.2.- Flujos en Suelo	22
1.3.2.6.- Movimientos Globales	24
CAPITULO 2 : Clasificaciones Cuantitativas y cualitativas de Taludes...	25
2.1.- Clasificación de Bieniawski	28

2.2.- Clasificación de Selby	36
2.3.- Clasificaciones para la valoración de riesgo de rotura	39
2.4.- Clasificación SMR	42
 CAPITULO 3: Aplicación del Método SMR a taludes rocosos	 43
3.1.- Obtención del Valor SMR	49
 CAPITULO 4: Caso de Estudio: Carretera Panamericana tramo Caracas	
- Los Teques	51
4.1.- Formación Las Brisas	52
4.2.- Formación Las Mercedes	56
4.3.- La Carretera Panamericana	59
 CAPITULO 5: Análisis Geotécnico de los taludes seleccionados.....	 61
5.1.- Ensayo de reconocimiento de campo	62
5.2.- Afloramientos estudiados.....	65
5.2.1.- Afloramiento #1.....	65
5.2.2.- Afloramiento #2.....	67
5.2.3.- Afloramiento #3.....	70
5.2.4.- Afloramiento #4.....	73
5.2.5.- Afloramiento #5.....	76
5.2.6.- Afloramiento #6.....	80
5.2.7.- Afloramiento #7.....	81
5.2.8.- Afloramiento #8.....	84
5.2.9.- Afloramiento #9.....	89
5.2.10.- Afloramiento #10.....	91
 CAPITULO 6: Cálculo y análisis del método SMR para los taludes	
seleccionados.....	100

6.1.- Afloramiento #1.....	102
6.2.- Afloramiento #2.....	105
6.3.- Afloramiento #3.....	107
6.4.- Afloramiento #4.....	109
6.5.- Afloramiento #5.....	111
6.6.- Afloramiento #6.....	113
6.7.- Afloramiento #7.....	115
6.8.- Afloramiento #8.....	117
6.9.- Afloramiento #9.....	119
6.10.- Afloramiento #10.....	121
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
BIBLIOGRAFÍA	129

LISTA DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla # 1: Tipos de Movimiento en taludes	12
Tabla # 2: Sistemas de Clasificación para roca como material	27
Tabla # 3: Sistema de Clasificación para la masa rocosa	28
Tabla # 4: Índices manuales para estimar las resistencias.....	29
Tabla # 5 : Parámetros de cuantificación para la clasificación de macizos rocosos	33
Tabla # 6: Rangos para la definición de la clase del macizo rocoso	34
Tabla # 7 : Factor de Corrección por orientación de diaclasas	35
Tabla # 8 : Características del Autosostenimiento	36
Tabla # 9: Valoración Numérica en la Clasificación de Selby	37
Tabla #10: Clasificación de niveles de riesgos para carreteras propuestas por HUNT.....	40
Tabla #11: Método de valoración cuantitativa de taludes de STEVENSON (1977)	41
Tabla #12: Factor de Ajustes para las juntas	45
Tabla #13: Factor de ajustes según el método de excavación	47
Tabla #14: Clases de estabilidad según SMR	50
Tabla #15: Obtención de los parámetros de Bieniawski en campo	64
Tabla #16: Datos geológicos del afloramiento #1.....	67
Tabla #17: Datos geológicos del afloramiento #2.....	70
Tabla #18: Datos geológicos del afloramiento #3.....	72
Tabla #19: Datos geológicos del afloramiento #4.....	76
Tabla #20: Datos geológicos del afloramiento #5.....	79
Tabla #21: Datos geológicos del Afloramiento #6.....	81
Tabla #22: Datos geológicos del Afloramiento #7.....	83

Tabla #23: Datos geológicos del Afloramiento #8.....	88
Tabla #24: Datos geológicos del Afloramiento #9.....	91
Tabla #25: Datos geológicos del Afloramiento #10.....	99
Tabla #26: Parámetros del método RMR para el afloramiento #1	103
Tabla #27: Factores del método SMR para el afloramiento #1	104
Tabla #28: Parámetros del método RMR para el afloramiento #2	106
Tabla #29: Factores del método SMR para el afloramiento #2	107
Tabla #30: Parámetros del método RMR para el afloramiento #3	108
Tabla #31: Factores del método SMR para el afloramiento #3	109
Tabla #32: Parámetros del método RMR para el afloramiento #4	110
Tabla #33: Factores del método SMR para el afloramiento #4	111
Tabla #34: Parámetros del método RMR para el afloramiento #5	112
Tabla #35: Factores del método SMR para el afloramiento #5	113
Tabla #36: Parámetros del método RMR para el afloramiento #6	114
Tabla #37: Factores del método SMR para el afloramiento #6	115
Tabla #38: Parámetros del método RMR para el afloramiento #7	116
Tabla #39: Factores del método SMR para el afloramiento #7	117
Tabla #40: Parámetros del método RMR para el afloramiento #8	118
Tabla #41: Factores del método SMR para el afloramiento #8	119
Tabla #42: Parámetros del método RMR para el afloramiento #9	120
Tabla #43: Factores del método SMR para el afloramiento #9	121
Tabla #44: Parámetros del método RMR para el afloramiento #10.....	122
Tabla #45: Factores del método SMR para el afloramiento #10.....	123

LISTA DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura # 1: Desprendimiento	13
Figura #2: Inestabilidad de bloques por descalce	14
Figura #3: Vuelco por Flexión	15
Figura #4: Vuelco de Bloque	16
Figura #5: Vuelco Mixto	16
Figura #6: Deslizamiento Rotacional	18
Figura #7: Deslizamiento Traslacional	18
Figura #8: Deslizamiento en Cuña	20
Figura #9: Extensiones Laterales	21
Figura # 10: Flujos en Roca	22
Figura # 11: Avalancha	23
Figura # 12: Flujos en barro	23
Figura # 13: Ubicación geográfica de la Formación las Brisas	52
Figura # 14: Ubicación geográfica de la Formación las Mercedes.....	56
Figura # 15: Diaclasado en el Afloramiento # 1	66
Figura # 16: Plano de falla de dirección N64E80W ubicada a la salida de la planta de gas	67
Figura # 17: Vetas de Calcita en la pared del talud	69
Figura # 18: Vetas de Calcita en sus diversos espesores	70
Figura # 19: Planos de foliación del afloramiento #3	71
Figura #20: Diaclasado del afloramiento #3	71
Figura #21: Contacto Formacional Las Brisas-Las Mercedes	73
Figura #22: Contacto de las Formaciones Las Brisas y Las Mercedes en el afloramiento #4	74
Figura #23: Bloques desprendidos del talud	75

Figura #24:Roca fracturada tomada del afloramiento #5	77
Figura #25: Bloques desprendidos del afloramiento #5	77
Figura #26: Color de las rocas del afloramiento #5	79
Figura #27: Ausencia de diaclasado y vetas de cuarzo en el Afloramiento #6	80
Figura #28: Diaclasado en el Afloramiento #7.....	82
Figura #29: Vetas de calcita presentes en el afloramiento #7	83
Figura #30: Planos de foliación del afloramiento #8	84
Figura #31: Vetas de Calcita en el afloramiento #8	85
Figura #32: Diaclasado del afloramiento #8	86
Figura #33: Bloques desprendidos en el afloramiento	87
Figura #34: Plano de foliación preferencial del afloramiento	90
Figura #35: Bloques desprendidos del afloramiento #9	90
Figura #36: Rocas observadas en el plano de foliación #1.....	92
Figura #37: Plano de foliación #2 en el afloramiento #10	93
Figura #38: Fracturas existentes en la pared del afloramiento #10	95
Figura #39: Vetas de Cuarzo	97
Figura #40: Presencia de agua y de vegetación en la pared del talud	98
Figura #41: Panorámica del Afloramiento #1	102
Figura #42: Panorámica del Afloramiento #2	105
Figura #43: Panorámica del Afloramiento #3	107
Figura #44: Panorámica del Afloramiento #4	109
Figura #45: Panorámica del Afloramiento #5	111
Figura #46: Panorámica del Afloramiento #6	113
Figura #47: Panorámica del Afloramiento #7	115
Figura #48: Panorámica del Afloramiento #8	117
Figura #49: Panorámica del Afloramiento #9	119
Figura #50: Panorámica del Afloramiento #10.....	121

BIBLIOGRAFIA

- ALEZONES, Ricardo *Introducción a la Geología de Campo*, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, 1995, Caracas.
- BIENIAWSKI, Z. T. *Engeneering rock mass classifications*, Wiley, 251 pp, New York, 1989.
- CASTILLEJO C., Miguel Antonio *Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control. Parte I: El Macizo Rocosó y sus Características*, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Minas, 1993, Caracas.
- COROMINAS DULCET, Jordi y GARCIA YAGUE, Angel *IV Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables*, Universidad Politécnica de Cataluña y Universidad Politécnica de Madrid, 11 - 14 de Noviembre de 1997, Granada, España.
- DEERE, D. *Technical description of cores for engeneering purpois*, Rock Mech eng. Geol., pp 16-22, 1964.
- Ed. Argentina Arístides Quillet, S.A. *Diccionario Enciclopédico Quillet*, Ed. Argentina Arístides Quillet S.A., 1976, Buenos Aires.
- PALMSTROM, A. *Characterizing the degree of jointing and rock mass quality*, Internal report, 26 pp., 1965, Berdal, Oslo.
- PRIEST S. D., HUDSON J.A. *Discontinuity spacing in rock*, Int. Jour Rock Mech and Min. Sci., Vol. 13, pp 134-153., 1976, Pergamon.

- ROMANA RUIZ, Manuel *Método de corrección de taludes según la clasificación geomecánica SMR*, III Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas inestables, 1993, La Coruña.
- ROMANA RUIZ, Manuel *El papel de las Clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes*, V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas inestables, 1997, Granada.
- SALUEÑA I.,
COROMINAS J. *Influencia de los parámetros relativos a las juntas en la estabilidad de los macizos rocosos*, III Simposio Nacional sobre taludes y laderas Inestables, pp 363-374, 1992, La Coruña
- SELBY, M. J. *A rock mass strength characteristics purposes with test from Antártida and New Zealand*, Z. Geomorph NF., 24:1:31-51, 1980
- SELBY, M. J. *Rock Slope”, “Slope Stability”*, In Anderson M.G. & Richards K. S. (eds), pp. 475-504, 1987, New York, John Wiley.
- STEVENSON, P. C. *An empirical for the evaluation of relative landslide risk*, Symp. On the role of rock mech. Zacatecas, 1977, pp 81-86.
- VARENES, D. J. *Landslide hazard zonation : a review of principle and practice*, UNESCO, Natural Hazards 3, 1984.
- WAGDI, Naime *Curso sobre Estabilidad de Taludes*, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, 9 y 10 de Julio 1999, Caracas.

REFERENCIAS DE INTERNET

<http://www.fagro.edu.uy/geologia/web/RYM/rym-4.htm>

DERECHO DE AUTOR

Cedo a la Universidad Central de Venezuela el derecho de reproducir y difundir el presente trabajo, con las únicas limitaciones que establece la legislación vigente en materia de derecho de autor.

En la ciudad de Caracas, a los veintisiete días del mes de mayo de dos mil dos.

Autor

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló con el objetivo principal de caracterizar y evaluar el comportamiento geomecánico 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).

Para el desarrollo del tema, es indispensable tener claros los siguientes conceptos:

- * **Suelo** definido como “todo agregado natural de partículas minerales separables por medios mecánicos de poca intensidad”.
- * **Roca** definida como “un agregado de minerales unidos por fuerzas cohesivas poderosas y permanentes”.
- * **Talud** definido como: “Inclinación del parámetro de un muro o de un terreno”.
- * **Macizo Rocoso** definido como “la masa de roca cristalina que queda al descubierto por la erosión o por deslizamiento de los sedimentos que la cubren”.

También es importante resaltar los tipos de movimientos que se pueden presentar en los taludes entre los cuales destacan: desprendimientos; vuelco el cual puede ser por flexión, de bloques o mixto; deslizamientos rotacionales o traslacionales y las extensiones laterales.

También se pueden presentar unos tipos de roturas en las paredes del talud como son: la rotura plana, en cuña, por vuelco y globales.

Existen diferentes métodos para clasificar la roca, ya sea como material o como parte de un macizo rocoso. Estos estudios vienen realizándose desde mediados de el siglo 20. Algunos de los principales estudios realizados es Bieniawski quien en 1972 presentó su método RMR (Rock Mass Rating) presentándose como un método para clasificar macizos rocosos. El RMR resulta de la suma de 6 factores que se obtienen del trabajo de campo, los cuales son: resistencia de la roca, RQD, separación entre diaclasas, estado de las diaclasas, la presencia de agua y un factor de corrección por la orientación de las diaclasas.

Otro método importante de mencionar es 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. Este método se soporta sobre la utilización de los primeros 5 factores de Bieniawski y de 3 adicionales propios de Selby. Estos términos adicionales son: Meteorización, Apertura de juntas y Continuidad de juntas. Este factor RMR se relaciona con el RMS de Bieniawski mediante la fórmula:

$$RMR = 2.2 \text{ RMS} - 130$$

Por otro lado el método de valoración de riesgo de rotura, permite la estimación del riesgo de corrimientos de taludes naturales o artificiales, es de gran utilidad para cualquier estudio de ordenamiento territorial, ya sea a nivel regional o a nivel local.

En el caso de taludes rocosos, estos se pueden clasificar por el método **SMR**. (Slope Mass Rating). La clasificación SMR es el método de

determinación de los factores de ajustes adecuados para aplicar la clasificación RMR de Bieniawski, a los taludes. Es importante que se tome en cuenta para la aplicación del método los siguientes parámetros: 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; relación entre el buzamiento de las juntas con los valores normales de la fricción; comparación entre las tensiones tangenciales a lo largo de las juntas con riesgo de rotura y con la fricción que pueden desarrollarse en ellas.

El índice SMR para la clasificación de taludes rocosos, se obtiene a partir del índice RMR, al cual se le suman dos factores de ajuste. El primer factor es función de la orientación de las juntas (el cual es el producto de tres subfactores) y el segundo es un factor de excavación que depende del método utilizado.

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

En el siguiente trabajo se presentan los conceptos básicos y la metodología a seguir para la caracterización geomecánica de las rocas pertenecientes a la Carretera Panamericana en el tramo Caracas - San Antonio de los Altos según el método SMR.

Es importante para este estudio conocer la geología de la zona, que se basa en dos formaciones: Las Brisas y Las Mercedes, las cuales tienen características y edades propias.

En este estudio se tomaron diez afloramientos, los cuales fueron elegido 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.

Los resultados obtenidos del levantamiento geológico en sitio se pueden observar en los planos topográficos identificados como: 6847-III-NO y 6847-III-SO (Anexo A).

Adicionalmente se presentan los estudios geotécnicos realizados a los 10 afloramientos presentando los resultados y recomendaciones hechas a los mismos. Para los afloramientos 1 y 9 es recomendable que se realicen estudios para el sostenimiento de los mismos ya que del análisis preliminar del SMR los valores obtenidos fueron muy bajos. En los afloramientos 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 se recomienda que, aunque los valores de SMR se encuentren en el rango de aceptable y bueno, se vigilen y realicen trabajos de mantenimiento de las paredes. Para el afloramiento 10 se recomienda elegir un método de estabilización adecuado para evitar daños considerables a la estructura vial.

La geotecnia es un área de la geología aplicada directamente a la ingeniería civil; para la construcción de cualquier obra es en extremo necesario un estudio previo de geotecnia. En el caso de que esta obra sea una carretera el trabajo referente a la geología no queda exclusivamente en el proyecto si no que va mas allá, llega al punto que es un trabajo constante de mantenimiento para la preservación de la vía.

El objetivo primordial de este trabajo es la caracterización y evaluación del comportamiento geomecánico 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). Para el cumplimiento de este objetivo se procederá al estudio de 10 afloramiento seleccionados, los cuales serán los más significativos de esta carretera. Además como objetivos secundarios este trabajo tiene:

- * Caracterizar geoméricamente mediante la obtención de: altura, ángulo de inclinación, longitud y área en planta; los taludes seleccionados.
- * Obtener para cada uno de los taludes a estudiar los siguientes parámetros: RQD, número de familia de juntas, separación entre juntas.
- * Evaluar el comportamiento geomecánico de cada uno de los taludes a estudiar según el valor de SMR obtenido para los mismos.

En los capítulos sucesivos, se presentan los conceptos básicos que se deben conocer para la realización de un estudio geotécnico completo aplicado a la caracterización geomecánica de las rocas.

Algunos de los conceptos más importantes son: talud, roca, suelo, macizo rocoso, etc.

En este trabajo de una forma resumida se presentan los distintos tipos de movimientos que se pueden producir en el medio rocoso de un talud. También se presenta en forma breve los distintos métodos que han existido a lo largo de los años para el estudio de la estabilidad de los taludes.

Para llegar a la aplicación de la valoración SMR es necesario un estudio completo de campo en el cual se tomaran mediciones de rumbos y buzamientos de los planos de falla, de foliación, diaclasado así como la presencia de agua. Estas mediciones de campo se apoyarán en la utilización de planos topográficos de la zona y de las distintas formaciones rocosas que allí se presentan, además de los instrumentos básicos de la geología de campo.

Una vez concluido el estudio de campo se procederá al análisis de los datos recavados, y así llegar al valor numérico SMR, el cual indica que tan estable o no será ese afloramiento.

Este valor obtenido, junto con las condiciones del medio que rodean al talud son los datos que harán posible establecer las recomendaciones para garantizar la estabilidad de dicho afloramiento.

En la Ingeniería Geotécnica, es primordial tener claro algunos conceptos básicos, que ayude a entender los resultados que se obtienen del trabajo de campo.

Referente a la estabilidad de taludes lo cual es el caso de estudio de este trabajo, algunos de los conceptos que se deben conocer con exactitud son: suelo, roca, macizo rocoso, roca matriz, clasificación de rocas, talud.

1.1.- Definiciones Básicas:

En la ingeniería civil, los materiales que constituyen la corteza terrestre se subdividen en dos grandes categorías: suelo y roca.

Se define ***suelo*** como "todo agregado natural de partículas minerales separables por medios mecánicos de poca intensidad"¹. Por otra parte ***roca*** se define como "un agregado de minerales unidos por fuerzas cohesivas poderosas y permanentes"².

Según el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos grandes grupos: los que deben su origen, esencialmente, al resultado de la desintegración física y descomposición química de las rocas; y aquellos cuyo origen es esencialmente orgánico u inorgánico.

Paralelamente, los suelos se pueden clasificar según su mineralogía en residuales y transportados. Los suelos residuales se

¹ Terzaghy, peck; **Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica**. España 1982 pag 4

² Terzaghy, peck; **Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica**. España 1982 pag 4

caracterizan por tener un comportamiento complejo a el corte por lo cual se hace difícil obtener los parámetros de resistencia para su análisis de estabilidad; en cambio los transportados dependen del agente que realice el transporte, el cual puede ser: el agua (suelos aluviales), el viento (suelos eólicos), la gravedad, los glaciares (suelos glaciales) y hasta el mismo hombre. El otro parámetro que clasifica a un suelo es su origen, estos pueden ser orgánicos o no orgánicos, estos últimos a su vez se dividen en cohesivos y no cohesivos.

En cambio las rocas genéticamente se clasifican en tres grandes grupos: Ígneas, Sedimentarias y Metamórficas.

Las Rocas Ígneas son aquellas que se forman por la solidificación o cristalización del magma, tanto en la superficie terrestre como en el fondo del mar o dentro de la corteza terrestre. Estas a su vez pueden clasificarse en:

- * "Intrusivas o plutónicas: aquellas que se han cristalizado dentro de la corteza terrestre, a profundidades mayores de 7 kilómetros.
- * Hipoabisales: aquellas emplazadas a profundidades relativamente someras (2 a 7 kilómetros).
- * Extrusivas o Volcánicas: las que se han solidificado en o cerca de la superficie terrestre, tanto en condiciones subaéreas como submarinas. Estas rocas adquieren gran diversidad de formas que dependen del tipo de erupción y el material eruptado"³.

³ ALEZONES, Ricardo. **Introducción a la Geología de Campo**, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología Minas y Geofísica, 1995, pág. 85

Las rocas sedimentarias son aquellas que resultan de la litificación de materiales provenientes de la desintegración y descomposición de cualquier tipo de roca preexistente luego de ser transportada y sedimentada. Se incluyen en este grupo las rocas producto de la precipitación química o por descomposición de restos orgánicos.

Las rocas metamórficas fueron originalmente, ígneas, sedimentarias o tal vez otra roca metamórfica, pero su carácter ha sido cambiado por procesos metamórficos ocurridos debajo de la superficie de la Tierra.

“Uno de los factores que controla el proceso metamórfico es la temperatura. Debe tenerse presente que la fuente de calor para estas transformaciones proviene de la desintegración radiactiva de isótopos que ocurre en el interior de nuestro planeta. Ya que la superficie del mismo está sometida a un continuo enfriamiento (calor irradiado por la Tierra) existe un aumento gradual de la temperatura con la profundidad, al que usualmente se llama gradiente geotérmico. Este varía de una zona a otra de la corteza, siendo su valor medio de 1°C cada 33 m. De ello surge que una roca a medida que se ve sometida a condiciones más profundas se ve inmersa en un medio de mayor temperatura y de mayor presión”.⁴

Otros dos conceptos de importancia para este estudio son: talud y macizo rocoso.

⁴ <http://www.fagro.edu.uy/geologia/web/RYM/rym-4.htm>

Se define **Talud** como: "Inclinación del parámetro de un muro o de un terreno"⁵ o como lo define Jaime Suárez "un Talud es una masa de tierra que no es plana sino que posee pendiente o cambios de altura significativos. Su conformación actual es artificial"⁶; y se define el **macizo rocoso** como "la masa de roca cristalina que queda al descubierto por la erosión o por deslizamiento de los sedimentos que la cubren"⁷.

1.2.- Las clasificaciones geomecánicas y la estabilidad de taludes:

En principio el Diccionario de la Real Academia Española define **clasificar** como "ordenar o disponer por clases"⁸; por lo tanto se utiliza correctamente la definición al referirse a los dos siguientes ejemplos:

- * La escala de MOHS: la cual ordena por algún carácter varios objetos, como por ejemplo ordenar una serie de individuos por su altura o una serie de minerales por su dureza.
- * Las clasificaciones mineralógicas: tratan de definir una serie de clases específicas (como las especies biológicas o taxones) que se diferenciaran de las demás por un conjunto de caracteres.

Es sabido que, la clasificación fue uno de los primeros procesos en el estudio de cada una de las ciencias de la Naturaleza y sirve inicialmente para ordenar el conjunto de los seres y/o cosas a estudiar agrupándolos de forma que cada clase puede ser descrita y estudiada

⁵ Diccionario Enciclopédico Quillet, tomo 8, Editorial Argentina Aristides Quillet S.A., 1976, pág. 161.

⁶ SUAREZ DIAZ, Jaime. **Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales**. Colombia 1998, pág 1

⁷ *Ibid.*, tomo 5, pág. 555

⁸ ROMANA RUIZ, Manuel. **El Papel de las Clasificaciones Geomecánicas en la Estabilidad de Taludes**, IV Simposio sobre taludes y laderas inestables. Granada, España, 1999, pág 957.

por si misma separándola del caos que constituye el universo si se intenta alcanzar sin método alguno.

Cuando se habla de clasificaciones geomecánicas se refiere a un proceso que es distinto a los dos descritos anteriormente. Las llamadas clasificaciones geomecánicas son algoritmos aritméticos que permiten asignar a cada caso concreto un número que expresa algo que se podría llamar calidad geomecánica. En rigor no se esta clasificando sino valorando.

Resumiendo, cuando se habla de clasificar se estará refiriendo con una palabra única y común a tres procesos distintos:

- * "Ordenación por una propiedad concreta dentro de una escala prefijada.
- * Clasificación por un conjunto de propiedades, dentro de una clase (o taxón) perteneciente a un sistema predeterminado.
- * Valoración cuantitativa mediante un algoritmo aritmético simple".⁹

Por todo lo antes mencionado, se puede afirmar que las clasificaciones geomecánicas de los taludes son métodos científicos que, para poder tener credibilidad, deben venir de la mano de un gran número de análisis de datos reales observados en condiciones diferentes y por distintos observadores con experiencia.

⁹ ROMANA RUIZ, Manuel. *El Papel de las Clasificaciones Geomecánicas en la Estabilidad de Taludes*, Politécnica de Valencia, España, 1979, pág 959.

Desde un punto de vista práctico su utilidad está demostrada y continuarán siendo útiles aunque existan modelos teóricos más complicados.

Así como las recomendaciones sobre la compatibilidad de las distintas clases de suelos según la clasificación de CASAGRANDE precedieron en más de diez años los estudios rigurosos sobre compactación, como por ejemplo la tesis de SEED (1959)¹⁰, pero siguen siendo útiles para una primera aproximación al problema de la selección de materiales para rellenos.

Las clasificaciones, por su falta de esquemas teóricos, no pueden constituir la solución exacta de un problema. BIENIAWSKI (1989) afirmó que “las clasificaciones modernas de masas rocosas nunca intentarán ser la solución última de problemas de diseño, sino solamente un medio para este objetivo, fueron desarrolladas para crear algún orden en el caos de los procedimientos de investigación geotécnica. No estaba previsto que sustituyesen a los estudios analíticos, a las observaciones y mediciones de campo ni al buen juicio ingenieril”¹¹. Los criterios para considerar que una clasificación es científica son expresados de diversas maneras por cada autor.

Una vez expuestos todos los conceptos básicos de la clasificación geomecánica de los taludes es claro observar que es necesario un conocimiento de las características del material o de los materiales de los cuales están compuestos los taludes, la determinación de su origen

¹⁰ SEED, H.B. y Chan, C.K. **Structure and Strength Characteristics of Compacted Clays**, Journ. Soil Mech., ASCE, N° 88, SM3, Pág. 53-87.

¹¹ ROMANA RUIZ, Manuel. **El Papel de las Clasificaciones Geomecánicas en la Estabilidad de Taludes**, IV Simposio sobre taludes y laderas inestables. Granada, España, 1999, pág 961.

para poder asignar así a la estabilidad un valor, dicho valor solo da una referencia de cuan estable es o no el talud estudiado. Por ende se puede definir estabilidad como la tendencia de un suelo o terreno a permanecer en una dinámica constante.

La estabilidad de un talud es de una gran importancia para toda obra civil, ya que, cualquiera que sea el proyecto a poner en marcha siempre tendrá que relacionarse el tipo de trabajo a realizar con los valores de estabilidad del suelo sobre el cual están asentadas las obras, ó bien, en el caso de las vías de comunicación la relación de los taludes con sus linderos.

1.3.- Los Movimientos en los taludes:

En cualquier lugar de la superficie terrestre la gravedad empuja continuamente los materiales desde los puntos más altos hacia los puntos más bajos.

En estos movimientos el término más común es el deslizamiento de la masa. Dichos movimientos engloban los deslizamientos en los taludes formados por rocas, suelo, relleno artificial o la combinación de cualquiera de los anteriores a través de un plano definido. En este tópico existe una diversidad muy grande de factores que producen la inestabilidad, por lo tanto se hace más adecuado definir la inestabilidad por medio del término movimiento de taludes.

1.3.1.- Influencia del tipo de material:

La inestabilidad que se puede presentar en un talud se relaciona directamente con la naturaleza del material, condicionando y pudiendo así estimar de antemano la susceptibilidad de cada material a que se produzca un movimiento determinado.

Los terrenos en los cuales se producen los movimientos se pueden dividir en tres grupos, los cuales son:

- * Macizos rocosos.
- * Suelos
- * Materiales de rellenos.

La distinta naturaleza de las rocas que forma los macizos rocosos implica un gran problema a la hora de determinar su comportamiento ante la estabilidad de los taludes.

Un macizo rocoso constituye un gran medio discontinuo, el cual se basa esencialmente en bloques sólidos separados por planos de fallas.

El comportamiento de un macizo rocoso, depende principalmente de las características propias de las discontinuidades como son: estratificación, diaclasas, fallas, esquistosidad y líneas de debilidad, que se presentan como la litología de la roca matriz y su historia evolutiva.

En las discontinuidades de la roca se debe considerar el tipo y el origen de la misma, distribución espacial, tamaño, espaciado, rugosidad,

naturaleza del relleno y presencia de agua. De la roca matriz ha de conocerse su naturaleza, características resistivas, meteorización y alterabilidad. La roca matriz se puede identificar básicamente por no presentar meteorización, por lo cual es poco probable encontrarlas cerca de la superficie de cualquier talud.

Sin embargo, si el tipo de terreno sobre el cual se produce el movimiento es suelo, la diferencia de comportamiento que presenta este material frente a los macizos rocosos, se desprende de la definición más precisa del suelo como: "Conjunto de partículas sólidas, sueltas o poco cementadas, más o menos consolidadas, de naturaleza mineral, fragmentos de roca, materia orgánica, etc., con fluido intersticial rellenando huecos y que han podido sufrir transporte o desarrollarse in situ"¹². Esta definición de suelo engloba una gran cantidad de términos que nos permite separar con claridad al término *suelo* de *macizo rocoso*.

El comportamiento de las masas de suelo se semeja al de un medio continuo y homogéneo. Las superficies de rotura se desarrollan en su interior sin seguir ninguna dirección preexistente.

La dinámica del suelo depende de las propiedades y características de sus componentes o agregados. Se deberá considerar:

- * Tamaño, forma y grado de redondez de las partículas más gruesas
- * Proporción del contenido en arena y arcilla.

¹² ROMANA RUIZ, Manuel. *El Papel de las Clasificaciones Geomecánicas en la Estabilidad de Taludes*, IV Simposio sobre taludes y laderas inestables. Granada, España, 1999, pág 10.

- * Contenido de humedad del suelo y localización del nivel freático.
- * Contenido orgánico.

Todas estas características confieren a los suelos una resistencia intrínseca que constituye el factor dominante de su estabilidad.

Si el caso fuese que el material del terreno esta constituido por un relleno, agrupando bajo este término a "todo aquel material formado por depósitos artificiales, realizados por la demanda de ciertas actividades, como construcción de obras civiles (terraplenes, presas de tierra, etc.) o bien como cúmulo de materiales de desecho, sobrantes, estériles, etc. (vertederos y escobreras)"¹³; los movimientos que se producen en este caso, siguen los lineamientos de los movimientos que se producen en el suelo natural, desarrollándose a través del material, según una superficie que no se puede determinar previamente.

1.3.2.- Tipos de Movimientos

En esta sección, se presentan de manera detallada los tipos de movimientos que se generan con más frecuencia en los taludes; entendiendo por ***movimiento de talud*** "al desplazamiento del terreno que lo constituye, hacia el exterior del mismo y en sentido descendente".¹⁴ Como es de esperarse el tipo de movimiento va a depender del material que compone el terreno, el corte que presente y la presencia de agua, entre otros. Los movimientos producidos pueden ser simples, complejos

¹³ Wagdi, Naime, **Curso sobre Estabilidad de Taludes**, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, 1999, pág. 11.

¹⁴ Corominas Dulcet, Jordi y García. **IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables**, Granada-España, 1997.

o la combinación de varios de los anteriores. Una correcta identificación del tipo de movimiento del talud permite estudiar y adoptar las mejores medidas para lograr su estabilización; también influyen en esta decisión factores como la velocidad y dimensiones de la parte movilizada, por lo que a continuación se mostrará en la tabla #1 un resumen de las características más importantes de cada uno de ellos y descripción de los cinco mecanismos más importantes.

Tabla #1: Tipos de Movimiento en taludes

Tipo	Definición	Velocidad de rotura
Desprendimiento	Caída por gravedad de Bloques individuales por roturas frágiles	Muy Rápido
Vuelco: ✓ Por Flexión ✓ De Bloques ✓ Mixto	Desorganización de estratos con roturas por flexión o por extrusión	Lento
Deslizamientos: ✓ Rotacionales ✓ Traslacionales * Planos * Cuña	Separación por una superficie de rotura donde se excede la resistencia a esfuerzo cortante	Muy lenta a muy rápida
Extensiones Laterales	Se produce mediante una superficie de corte o por fracturas de tensión	Lento
Flujos y Reptaciones: ✓ En Roca ✓ En Suelo * Derrubios * En Barro	Desplazamiento rápido de materiales que han perdido su cohesión	Rápido A Muy rápido

1.3.2.1- Desprendimientos:

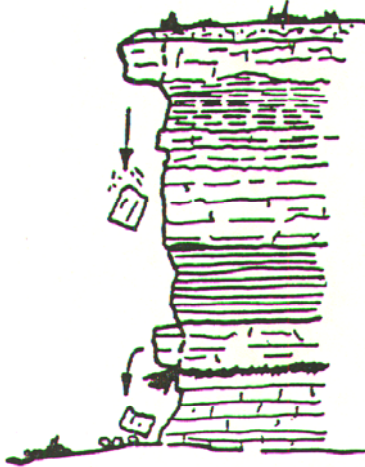


Figura # 1: Desprendimiento
Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes
1986.

Se entiende por **desprendimiento**: "una masa separada de un talud mediante una superficie de corte normalmente pequeña y cuyo recorrido se realiza en gran parte, a través del aire"¹⁵ Este fenómeno se distingue de los demás por presentarse la caída de bloques a través del aire y descenso en caída libre, pudiendo alcanzar velocidades muy rápidas de movimiento, tal y como se puede observar de manera gráfica en la figura # 1.

Estos desprendimientos suelen ocurrir por distintos motivos, los más comunes son: la consolidación del terreno en capas sedimentarias alternadas débiles y resistentes, existencia de meteorización, extrusión de capas blandas, existencia concentrada de presión en el borde del talud y rotura por flexotracción entre otros.

También es muy común encontrar taludes que se presenten constituidos por capas de distintas resistencia, bien definidas y a su vez se encuentren éstas desfasadas o descalzadas unas con referencia a las otras.

¹⁵ Wagdi, Naime, **Curso sobre Estabilidad de Taludes**, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, 1999, pág. 12.

Este rodamiento de capa puede traer como consecuencia un desprendimiento, algunas de las causas del movimiento pueden ser: rotura de bloque, fractura, basculamiento, meteorización de los bloques, etc. tal y como se puede ver en el esquema presentado en la figura #2.

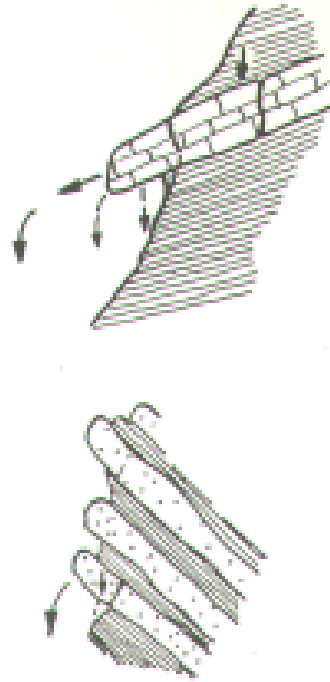


Figura #2: Inestabilidad de Bloques por descalce
Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes . Ayala
1984

Una vez desprendido el bloque del talud, este puede seguir varias trayectorias como: caída libre, rodamiento y/o rebote; tanto la velocidad como la trayectoria a seguir por la masa desprendida va a depender de la inclinación del talud.

1.3.2.2- Vuelco:

El vuelco de un terreno consiste en "la rotación hacia delante y hacia el exterior de un talud, de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad".¹⁶

¹⁶ Corominas Dulcet, Jordi y García. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Granada-España, 1997.

Los vuelcos pueden poseer varias causas, las más usuales son: acción de la fuerza de gravedad, fuerza ejercida por unidades de taludes o suelos cercanos, por la presencia de agua u otro tipo de fluido en grietas. Los vuelcos pueden seguir el comportamiento de otro movimiento como deslizamiento, desprendimiento, etc. una vez sucedido. Cabe destacar que el vuelco es característico de taludes compuestos por medios rocosos y esta condicionado a la disposición estructural de los estratos que lo componen. Los vuelcos los podemos clasificar en tres grandes grupos: por flexión, de bloque o mixto.

1.3.2.2.1- Vuelco por flexión:

Este particular movimiento se destaca porque solo se presenta en taludes constituidos por material estructural en forma de columnas. Este movimiento se origina por fuerzas ejercidas en el pie del talud y con dirección a su interior. Una vez iniciado este movimiento se comienzan a

formar las llamadas grietas de tracción que provocan un debilitamiento en el pie del talud y generan el desprendimiento del material que lo compone. La figura #3 muestra en forma esquematizada en mecanismo de vuelco por flexión.

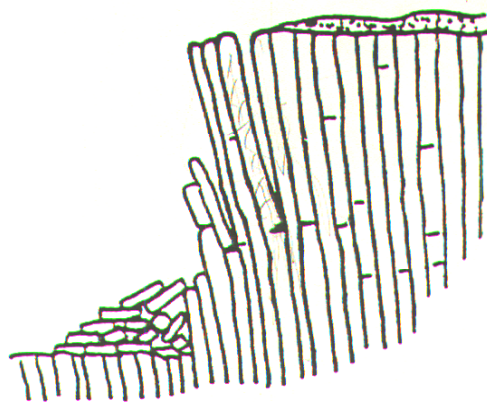


Figura #3: Vuelco por Flexión
Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes

1.3.2.2.2.- Vuelco de Bloques:

Este tipo de movimiento sucede en taludes que poseen en su unidad estructural discontinuidades ortogonales o en forma de bloques. Como se ilustra en la figura #4, el movimiento tiene su origen en fuerzas ejercidas en los bloques inferiores que a medida que se produce el movimiento afecta la parte superior del talud. Aquí juega un papel fundamental la inclinación que presente el talud y el tipo de material que lo compone.

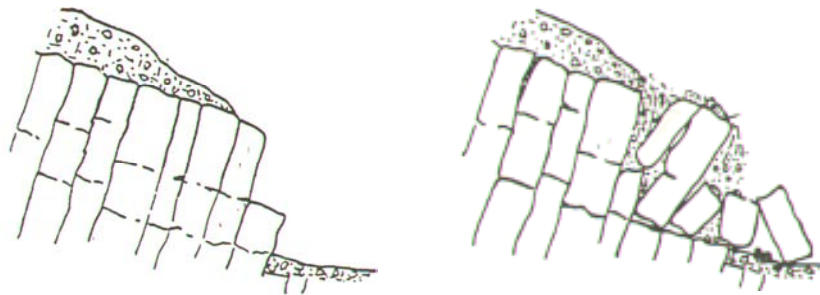


Figura #4: Vuelco de Bloque.
Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes 1986

1.3.2.2.3- Vuelco Mixto:

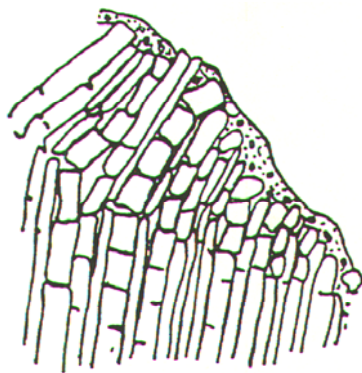


Figura #5: Vuelco Mixto
Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes 1986

Como se puede detallar en la figura #5 este movimiento es la combinación de los dos anteriores, se produce cuando la unidad estructural del talud son bloques alargados. El movimiento se origina por fuerzas ejercidas en el pie del

talud y por interacciones entre los bloques que lo componen.

1.3.2.3- Deslizamientos:

Se define deslizamientos a "los movimientos que se producen al superarse la resistencia al corte del material y tienen lugar a lo largo de una o varias superficies, o a través de una franja relativamente estrecha del material".¹⁷ La velocidad y tipo de deslizamiento producido en un talud va a depender en gran parte del tipo de material involucrado en el movimiento. Se pueden establecer dos grandes grupos de deslizamientos: rotacionales y traslacionales.

1.3.2.3.1- Deslizamientos Rotacionales:

Este tipo de deslizamiento se lleva a cabo a lo largo de la superficie del talud, describiendo una rotura curvilínea y cóncava; con un eje paralelo al talud. "Este tipo de mecanismo suele afectar a suelos cohesivos homogéneos y a macizos rocosos intensamente fracturados".¹⁸

En la Figura #6 se puede observar el esquema de un deslizamiento rotacional, el plano de rotura en un talud va a venir dado por: la resistencia del material que constituye la estructura, la altura e inclinación el talud entre otros.

¹⁷ Wagdi, Naime, *Curso sobre Estabilidad de Taludes*, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, 1999, pág. 16

¹⁸ Corominas Dulcet, Jordi y García. *IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, Granada-España, 1997.

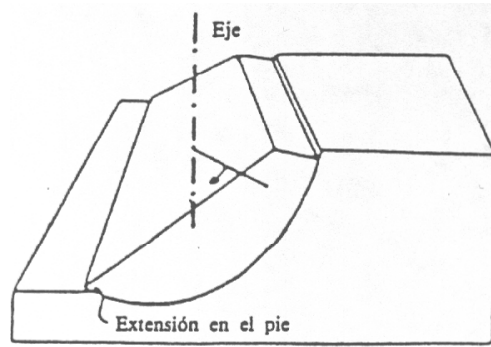


Figura #6: Deslizamiento Rotacional
Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes 1986

1.3.2.3.2- Deslizamientos Traslacionales:

Este movimiento se describe como "el deslizamiento de la masa de terreno que se desplaza hacia fuera y abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o suavemente ondulada, con pequeños movimientos de rotación. Comúnmente el movimiento de la masa deslizada hace que ésta quede sobre la superficie original del terreno"¹⁹. Este tipo de deslizamiento se puede dividir en deslizamiento plano y deslizamiento diedrico.

En la figura #7 se puede observar el esquema de movimiento para este tipo de deslizamiento. Este movimiento está regido por las discontinuidades o diaclasas presentes en el talud, la resistencia del material, el grado de meteorización presente, etc.

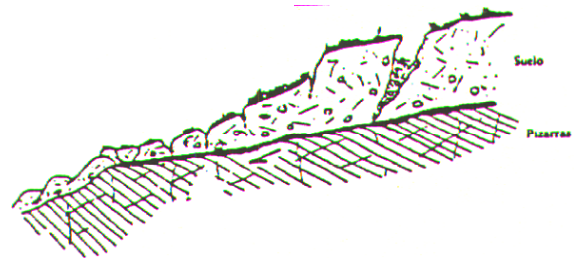


Figura #7: Deslizamiento Traslacional
Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes 1986

¹⁹ NAIME, Wagdi, . Curso sobre Estabilidad de Taludes, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, 1999, pág. 18.

Los macizos rocosos que presentan discontinuidades bien definidas son propensos a ocurrirle este tipo de deslizamiento.

Las formas básicas de los deslizamientos traslacionales que se pueden presentar en un talud siempre se encuentran bien identificadas y se pueden resumir de la siguiente forma:

✱ *Deslizamientos Planos:*

Estos vienen dados según las juntas predominantes en las rocas, las cuales buzan hacia el talud, cuyo rumbo es casi paralelo al de la cara del talud. En este tipo de rotura las condiciones de inestabilidad son:

- ✓ Las juntas críticas bucen menos que el talud.
- ✓ La resistencia al esfuerzo cortante en la junta crítica no sea suficiente para asegurar la estabilidad.

Las roturas planas pueden ocurrir en cualquier tipo de masa rocosa, son más frecuentes en planos de estratificación o en accidentes tectónicos. El tamaño de la rotura dependerá de la continuidad de las juntas y puede llegar a ser muy grande.

✱ *Deslizamientos en Cuña:*

Esta rotura puede ocurrir cuando dos juntas de diferentes familias se interceptan, y dicha intercepción (quilla) buza hacia el talud. Este tipo

de falla se analiza de la misma forma que una rotura plana, con la diferencia que el plano de buzamiento a ser analizado es el de la quilla. El esquema se puede detallar en la figura #8.

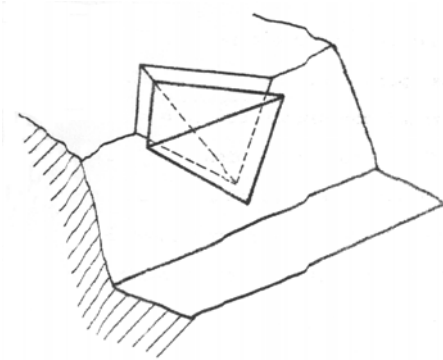


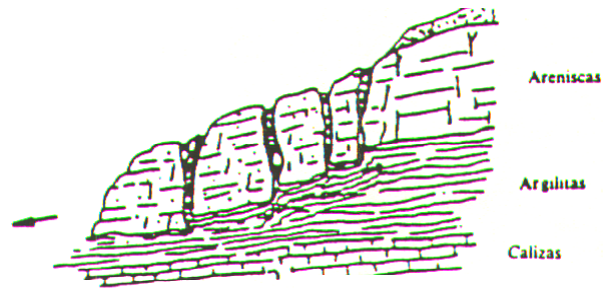
Figura #8: Deslizamiento en Cuña
Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes 1986

1.3.2.4- Extensiones Laterales:

Este movimiento "consiste en una extensión lateral controlada por superficies de corte y/o fracturas de tensión. Pueden aparecer sobre macizos rocosos con diferentes competencia o bien sobre materiales con carácter de suelo".²⁰

En la figura #9 se puede observar el perfil de extensión lateral tanto para rocas como para suelos. Cuando el material del talud es roca el movimiento se lleva a cabo más lento que si se tratase de suelo. Adicionalmente las extensiones se pueden englobar en dos grandes grupos: las que comprenden una extensión y fractura del talud; y las que comprenden una extensión y flujo plástico.

²⁰NAIME, Wagdi, , *Curso sobre Estabilidad de Taludes*, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, 1999, pág . 20



Extensión Lateral en Roca



Extensión Lateral en suelo

Figura #9: Extensiones Laterales
Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes 1986

1.3.2.5- *Flujos:*

Bajo el término de *Flujo*, se contemplan ciertos movimientos producidos en materiales rocosos y en material del tipo suelo. Los mecanismos son el producto de una continua deformación bajo esfuerzos muy pequeños, lo cual implica una distribución de velocidades variable que va desde muy lenta hasta muy rápida.

1.3.2.5.1- *Flujos en roca:*

Son poco frecuentes y propios de macizos rocosos no muy competentes, con una estratificación definida y afectados por plegamientos u otros comportamientos plásticos.

Estos movimientos son generalmente muy lentos y relativamente estables, afectan zonas superficiales o de poca profundidad. No existe una concentración de los desplazamientos sobre la superficie (ver figura #10).



Figura #10: Flujos en Roca
Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes 1986

1.3.2.5.2- Flujos en Suelo:

Este tipo de flujo tiene un comportamiento similar al que se produce en fluidos viscosos y es propio del material de tipo suelo. Las superficies de deslizamiento rara vez están definidas y si se producen son efímeras. La velocidad en que se producen suele ser muy rápidas aunque se han observado casos en el cual se han presentado con extrema lentitud.

Se pueden presentar tres tipos de Flujos de suelo diferentes, estos son:

- * Reptaciones (creep): las cuales se constituyen por deformaciones continuas, generalmente superficiales y extremadamente lentas que pueden aparecer acompañadas de otros tipos de movimientos de los materiales adyacentes.

- * Flujos de derrubios (debris flow): se caracteriza por un alto contenido de material grueso en su granulometría. La masa

que desliza se divide en pequeñas partes que se mueven lentamente, cuando este movimiento es rápido y progresivo se le suele llamar avalancha (Figura #11).

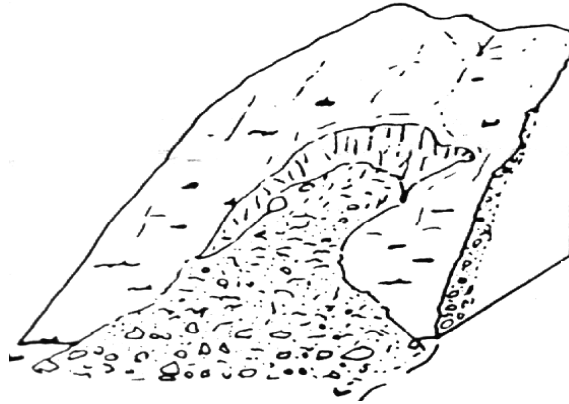


Figura #11: Avalancha
Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes 1986

- * Flujos de barro (mud flow): es clásica de materiales en donde por lo menos el 50% de su granulometría es de fracción fina y con una cantidad de agua suficiente para hacer fluir al material (figura #12).

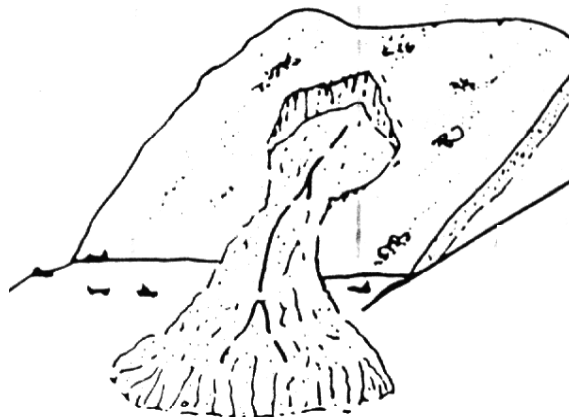


Figura #12: Flujos en barro
Fuente: Manual de Ingeniería de Taludes 1986

1.3.2.6- Movimientos Globales:

Este tipo de movimiento solo puede ocurrir en macizos rocosos muy diaclasados, con un tamaño característico de bloque pequeño respecto al talud, o en rocas muy blandas o muy meteorizadas.

Existen numerosos intentos de clasificaciones geomorfológicas que tratan de relacionar la geometría y el tipo de sostenimiento requerido en taludes inestables, pero en muchas de ellas no se tiene en cuenta la resistencia de la masa rocosa y las características de las juntas.

Sin embargo, algunos de estos métodos en una forma sistemática proveen ajustes, teniendo en cuenta las orientaciones relativas de las discontinuidades de la masa rocosa y del talud.

Estas clasificaciones han sido severamente criticadas desde diversos ángulos, sobre ellos se argumenta:

- * Están basadas en compilaciones empíricas
- * Las clasificaciones simplifican los problemas reales.
- * Las clasificaciones tienden a ser riesgosas ya que personas sin la adecuada experiencia pueden aplicar el método de una manera incorrecta ocasionando graves problemas.

Sin embargo, estas clasificaciones también son defendidas por expertos en la materia, los cuales argumentan a su favor:

- * Aunque son basadas en compilaciones empíricas, estas tienen un amplio basamento científico.
- * Las clasificaciones permiten cuantificar, aunque de forma aproximada, hechos complejos y por lo tanto son científicos.

Los métodos de clasificación geomecánica de taludes se pueden dividir en dos grandes grupos los cuales pueden ser denominados como:

- * Clasificaciones de propósito general.
- * Clasificaciones de propósito específico.

Durante años de estudios, varios científicos se han abocado al análisis de los taludes y su estabilidad, en la tabla #2 se presentan algunos de los métodos que se han creado para tal propósito

Tabla #2: Sistemas de clasificación para roca como material.

Propósito general	Propósito específico
* Coates (1964)	* Berg – Christensen & Selmer Olsen
* Coates & Parsons (1966)	(1970): resistencia a la voladura
* Deere & Miller (1966)	* Selmer – Olsen & Blindheim (1970):
* Deere et Al (1967)	Perforabilidad.

Fuente: Castillejo Cans, Miguel Antonio, *Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control* 1993, pág. 438

Adicionalmente, se han diseñado métodos similares para la clasificación de la masa rocosa, los cuales se muestran en la tabla #3; de igual manera se agrupan según el propósito diseñado.

Tabla #3: Sistemas de clasificación para la masa rocosa.

Propósito general	Propósito específico
* John (1962)	* Terzaghi (1946): Túneles
* Obert & Duvall (1967)	* Lauffer (1958): Túneles
* Onodera (1970)	* Caterpillar Tractor Co. (1966): escarabilidad
* Iida et Al (1970)	* Obert & Duvall (1967): Minería
* Muller & Hoffman (1970)	* Ege (1968): Túneles en rocas graníticas
* Franklin et Al (1971)	* Kruse et Al. (1969): Diseño de túneles
	* Goodman & Duncan (1971): Taludes en Rocas
	* Bieniawski (1974): Túneles
	* Barton et Al (1975): Túneles
	* Laubscher (1976): Túneles

Fuente: Castillejo Cans, Miguel Antonio, *Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control* 1993, pág. 439

2.1.- Clasificación de BIENIAWSKI:

Esta clasificación fue introducida originalmente por Bieniawski en 1973, presentando un sistema de clasificación para macizos rocosos mediante el índice **RMR (rock mass rating)**; este sistema fue sufriendo modificaciones y ampliaciones hasta obtener la versión definitiva en 1979. Esta clasificación constituye el primer intento importante de introducir en la definición del macizo rocoso una cuantificación más avanzada con respecto a todos los sistemas de clasificación propuestos con anterioridad.

La clasificación de 1973, se basa en el establecimiento de una serie de características físico - químicas del macizo rocoso que sean suficientemente específicas y representativas de su comportamiento geomecánico.

El índice numérico del macizo rocoso **RMR** básico es independiente de la estructura a construir y se obtiene sumando el valor asignado a cinco parámetros, los cuales son:

- * Resistencia de la roca sana y ensayo a la compresión simple: este valor es el correspondiente al tomado en el laboratorio para el ensayo de compresión simple; en campo se puede utilizar un valor, el cual es de más fácil obtención cuya relación se puede observar en la tabla #4:

Tabla #4: Índices manuales para estimar la resistencias

Roca		Ensayo de campo	
Descripción	Co (MPa)	Navaja	Martillo geológico
Extremadamente Resistente	> 250	No Corta	El golpe arranca pequeños trozos
Muy Resistente	100 – 250	No Corta	Se rompe con muchos golpes
Resistente	50 – 100	No Corta	Se rompe con varios golpes
Medianamente Resistente	25 – 50	No Corta	Se rompe con un solo golpe
Blanda	5 – 25	Corta con dificultad	Puede indentarse con el pico
Muy Blanda	1-5	Corta fácilmente	Se puede machacar

Fuente: ROMANA RUIZ, Manuel, *El papel de las Clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes* pág. 1004

En muchos casos, en el campo se pueden utilizar los esclerómetros como instrumento de medición, sea el horizontal o el tipo L.

* RQD: este valor fue definido por Deere, como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud, con un diámetro mayor o igual a 50 mm, inicialmente fue definido para rocas ígneas por su fácil aplicación. Este valor es válido sólo si:

- ✓ Se perfora con diámetro NX y doble batería
- ✓ Se mide lo antes posible después de perforar y en el campo.
- ✓ Se hace para tramos cortos de sondeos.

Teniendo en cuenta que el diámetro NX consta de una varilla tipo N de características: revestimiento del diámetro exterior $3^{1/2}$ ", un anillo cortante exterior de diámetro $3^{9/16}$ ", una corona de diámetro exterior de $2^{15/16}$ ", un diámetro de sondeo sin entubar de 3" y un diámetro del testigo de $2^{1/8}$ "; y un doble tubo tipo rotula (X).

Este valor puede ser relacionado con el índice volumétrico de juntas como lo indicó Palmstrom en 1975 según la ecuación:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

$$J_v = \sum \frac{1}{S_i}$$

S_i = espaciamiento medio entre juntas

Priest y Hudson en 1976 proponen otra correlación entre el RQD y el espaciamiento medio de juntas, la cual es válida para valores superiores a 50 cm y en dirección perpendicular a las juntas.

$$RQD = \frac{100}{1+S} e^{\frac{0.1}{S}}$$

S= espaciamiento medio entre juntas

* Separación entre las diaclasas: es el espaciamiento que existe entre las juntas medido perpendicularmente a la dirección del plano de discontinuidad. Bieniawski recomienda el uso del valor promedio de la distancia existente.

* Estado de las diaclasas: este es un parámetro de gran importancia en el cual se incluye el estudio de una serie de subparámetros:

- ✓ Rugosidad de los bordes: este parámetro se divide a su vez en cuatro grandes grupos los cuales son: Muy Rugosa, Rugosa, Suave, Con espejos de falla. La consecuencia más importante de esto es la capacidad que tienen las mismas de dilatarse.
- ✓ Relleno: las juntas se pueden presentar: sin relleno, con rellenos como calcita o arena, con rellenos blandos como arcilla, mica, milonita.

- ✓ Separación: lo cual es la distancia entre ambos bordes de una junta.
- ✓ Persistencia y continuidad.
- ✓ Grado de meteorización.

* Presencia de agua: es un valor que se toma en el campo por apreciación del experto que hace el estudio, aunque se requieren unos datos adicionales, para los cuales se hace necesario un estudio más profundo, entre los cuales se tiene que estudiar:

- ✓ Caudal.
- ✓ Relación de presión de agua sobre la tensión principal mayor.
- ✓ Estado general.

Para el cálculo del **RMR** se debe asignar a cada uno de estos cinco parámetros, una puntuación numérica que va a venir dada por la tabla #5; allí los parámetros: separación entre diaclasas, estado de las diaclasas y nivel freático; son valores obtenidos en campo sujetos a la apreciación del observador. Sin embargo el valor asignado a RQD y la resistencia de la roca sana, será asignado según los resultados generados de los ensayos aplicados al macizo rocoso, pues los valores están sujetos a ensayos de laboratorio dependientes del muestreo realizado en campo, de igual forma la valoración vendrá dada por la tabla #5.

Capítulo 2: Clasificaciones Cuantitativas y Cualitativas de Taludes

Tabla #5: Parámetros de cuantificación para la clasificación de macizos rocosos

Clase		I	II	III	IV	V		
Parámetro	Ensayo de					Compresión		
	1 pto	> 100 kp/cm ²	40 - 80 kp/cm ²	20 - 40 kp/cm ²	10 - 20 kp/cm ²	simple kp/cm ²		
de la roca						50 -	10 -	< 0
	sana	C. Simple	> 250 kp/cm ²	1000 - 2500 kp/cm ²	500 - 1000 kp/cm ²	200 - 500 kp/cm ²	250	50
Valoración		15	12	7	4	2	1	0
RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
Valoración		20	17	13	8	3		
Separación entre diaclasas		>2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m		
Valoración		20	15	10	8	5		
Estado de las diaclasas		Muy rugosas, discontinuas, sin separaciones, bordes sanos y duros	Ligeramente rugosas, abertura <1 mm, bordes duros	Ligeramente rugosas, abertura <1 mm, bordes blandos	Espejos de falla o con relleno <5 mm o abiertas 1-5 mm, diaclasas continuas	Relleno Blando >5 mm o abertura >5 mm, diaclasas continuas.		
Valoración		30	25	20	10	0		
Nivel freático	Caudal por 10m. De tunel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min		
	Relacion: presion de agua - tension principal mayor	0	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	Estado general	Seco	Ligeramente humedo	Humedo	Goteando	Fluyendo		
Valoración		15	10	7	4	0		

Fuente: Castillejo Cans, Miguel Antonio, *Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control* 1993, pág. 494

El índice **RMR** resulta de la suma de las puntuaciones asignadas a cada parámetro, cuyo valor varía entre 0 y 100, definiendo así la clase del macizo rocoso como se observa en la tabla #6. Adicionalmente, en la misma tabla se pueden observar además de los rangos de valoración para cada clase, la calidad del macizo rocoso.

Tabla #6: Rangos para la definición de la clase del macizo rocoso

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy Buena	Buena	Aceptable	Mediocre	Muy Mala
Valoración	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	< 20

Fuente: CASTILLEJOS C., Miguel *Análisis comparativo de los métodos de estabilidad de taludes y su control* (1993), pág. 495

El significado de dichas clases según la expresión original del método de Bieniawski de 1973 incluye tres datos cuantitativos asociados, estos son:

- * El tiempo de estabilidad y la luz libre para túneles.
- * Intervalo de valores de la cohesión de la masa rocosa.
- * Intervalo de valores del ángulo de rozamiento de la masa rocosa.

En el modelo definitivo del método (1976 – 1979), se introducen ciertas modificaciones para su aplicación directa a la clasificación referida a taludes. El método modificado se aplica exactamente igual como se presentó en la tabla #5, cambia únicamente la definición de rango de nivel freático por presencia de agua en las juntas, el cual está reflejado en la misma con la valoración descrita como estado general. El valor total del RMR seguirá siendo la suma de los cinco parámetros pero a

este valor hay que restar un factor de ajuste, que es función de la orientación de las discontinuidades, definido cualitativamente y que tiene valores distintos según se aplique a taludes o a cimentaciones de taludes; el resultado de la resta es el índice final RMR.

Para la versión de 1976 – 1979 aplicada a los taludes, el factor de ajuste según la orientación de las discontinuidades vendrá dado por los valores de corrección los indicados en la tabla #7 :

Tabla #7: Factor de Corrección por orientación de diaclasas.

Muy favorable	0
Favorable	-5
Normal	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

Fuente: ROMANA RUIZ, Manuel, *El papel de las Clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes*. pág. 970

En conclusión, la información geológica detallada es necesaria para la aplicación del método y como margen de seguridad a los parámetros de los cuales no se tenga mucha seguridad, se les asigna una puntuación de 0.

Como información adicional, Bieniawski, asocia a las cinco clases así definidas, los valores probables de los parámetros de resistencia a cortes globales (cohesión y fricción) y da una estimación del tiempo y del autosostenimiento. Estos valores se reflejan en la tabla #8:

Tabla #8: Características del autosostenimiento

Clase	I	II	III	IV	V
Tipo de autosostenimiento	10 años con 5 m separados del frente	6 meses con 8 m separado del frente	1 semana con 5 m separado del frente	10 horas con 2,5m separado del frente	30 min con 1m separado del frente
Cohesión (kp/cm ²)	> 4	3 – 4	2 – 3	1 – 2	< 1
Angulo de fricción	> 45	35 – 45	25 – 35	15 – 25	< 15

Fuente: Castillejo Cans, Miguel Antonio, *Método de corrección de taludes según la clasificación geomecánica SMR* 1993, pág. 495

2.2.- Clasificación de SELBY:

Selby, en 1980, inspirado en la clasificación de Bieniawski de 1973, propuso la clasificación **RMS (Rock Mass Strength)** cuyo objetivo básico es "Proveer una base para entender los elementos de las masas rocosas que les proporciona resistencia a los procesos de meteorización y erosión, que fuera universalmente aplicable de forma que establezca una base común de medición"²¹ (SELBY, 1987)

La valoración se obtiene a partir de asignaciones numéricas a ocho parámetros, similares a los cinco parámetros que estudio Bieniawski, dicha valoración se refleja en la tabla #9.

²¹ ROMANA RUIZ, Manuel. *El Papel de las Clasificaciones Geomecánicas en la Estabilidad de Taludes*, IV Simposio sobre taludes y laderas inestables. Granada, España, 1999, pág 963.

Tabla #9: Valoración numérica en la clasificación de Selby

Parámetros					
Resistencia de la matriz	20	18	14	10	5
Meteorización	10	9	7	5	3
Espaciamiento de juntas	30	28	21	15	8
Orientación de juntas	20	18	14	9	5
Apertura de juntas	7	6	5	4	2
Continuidad de juntas	7	6	5	4	1
Flujo de agua	6	5	4	3	1
Clase	Muy fuerte	Fuerte	Media	Débil	Muy débil
Valoración total RMS	100 – 91	90 – 71	70 – 51	20 – 26	< 26

Fuente: Romana Ruiz, Manuel, *El papel de las Clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes* pág. 963

Sin embargo, en 1992 ORR²² estableció una correlación entre el RMR de Bieniawski y el RMS de Selby, dicha relación se expresa matemáticamente como:

$$\text{RMR} = 2.2 \text{ RMS} - 130$$

Según esta relación el valor mínimo de RMS es de 59, por lo cual todas las masas rocosas estarían en la categoría de resistencia media. Esta aparente inconsistencia se explica porque Selby solo estudió

²² ORR, C.M. Assessment of Rock Slope Stability Using the Rock Mass Rating (RMR), System. The AusIMM Proc., 297:2:25-29, 1992.

laderas rocosas en equilibrio sin evidencia de cambio en los últimos 10.000 años y donde no se producen actualmente procesos tectónicos, estructurales, erosivos o deposicionales que controlen su equilibrio.

Según su posición, las laderas se pueden clasificar en tres categorías atendiendo al concepto de equilibrio en función de su resistencia medida con el índice RMS.

- * Laderas socavadas, escarpes recientes de falla, etc. con ángulo de talud **S** (expresado en grados centesimales) superior al de equilibrio:

$$S > 2.5 \text{ RMS} - 105$$

- * Laderas en equilibrio:

$$2.5 \text{ RMS} - 105 > S > 2.5 \text{ RMS} - 155$$

- * Laderas con ángulo de talud superior al de equilibrio como por ejemplo laderas controladas estructuralmente, laderas tipo RICHTER con retroceso paralelo debido a la erosión y coronadas por un acantilado superior, bermas rocosas de ángulos bajo de inclinación:

$$S < 2.5 \text{ RMS} - 155$$

2.3.- Clasificaciones para la valoración de riesgo de rotura:

Un método de clasificación sencillo que permita la valoración del riesgo de corrimientos de taludes naturales o artificiales sería de una gran utilidad para cualquier estudio de ordenamiento territorial, ya sea a nivel regional o a nivel local.

Todas las personas que trabajan en el análisis de riesgos naturales utilizan de una forma u otra clasificaciones de riesgo, unas a veces de forma explícita y otras de forma implícita. Ninguna de las dos formas ha alcanzado la difusión necesaria para su aprobación general.

Una de estas, es la clasificación general cualitativa de los niveles de riesgos para carreteras producidos por un eventual corrimiento, propuesta en 1992 por HUNT²³, en un documento del TRB, dicho análisis de riesgo se presenta en la tabla #10. Aunque la definición de los niveles de riesgos es un poco obvio, organismos como PIARC²⁴ en su comunicado de 1995 la recomienda, puede ser de utilidad para la transmisión de informaciones objetivas a los encargados del trazado, explotación y/o conservación de una carretera o autopista.

²³ Romana Ruiz, Manuel, *El papel de las Clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes*.
Pág 966

²⁴ Ibid

Tabla #10: Clasificación de niveles de riesgos para carreteras propuesta por HUNT

Riesgo	Efecto de un Corrimiento		Ejemplo	Efecto
	Perdida de vidas	Daños en carretera		
Nulo	Ninguna	Ninguna		
Bajo	Ninguna	Casi ninguno	Caída de un bloque junto a la carretera	Se evita o se remueve con facilidad
Moderado	Ninguna	Ligeros	Caída pequeña sobre un carril	Cierre parcial durante un corto plazo. La corrección requiere un cierto esfuerzo
Alto	Ninguna	Perdida completa de una carretera o de una estructura	Gran corrimiento	Cierre total por un largo plazo
Muy alto	Riesgo	Perdida completa de una carretera o de una estructura	Avalancha, sismo	Muy rápido, sin tiempo de avisar al tráfico

Fuente: Romana Ruiz, Manuel, *El papel de las Clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes* pág. 966

Otro de estos métodos, es el propuesto por STEVENSON en 1977²⁵, el cual desarrolló en Tasmania una clasificación semicuantitativa estudiando taludes arcillosos de estabilidad marginal. Esta clasificación ha tenido una cierta difusión ya que es citada en un informe de las Naciones Unidas de 1984 y por la PIARC en 1995 en otro informe sobre reducción del efecto de los riesgos naturales sobre las carreteras. Este proceso de valoración se refleja en la tabla # 11.

²⁵ Romana Ruiz, Manuel, *El papel de las Clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes* pág. 968

Tabla #11: Método de valoración cuantitativa de taludes de STEVENSON (1977)

Parámetros			Valoración
P	Tipo de arcilla	Usar el intervalo de valoración del índice de plasticidad (IP) para la unidad geológica implicada en el corrimiento:	
		* IP en tercio inferior del intervalo	1
		* IP en tercio medio del intervalo	2
		* IP en tercio superior del intervalo	3
W	Agua	La posición anual más alta de la superficie piezométrica respecto al plano de rotura esta:	
		* Bajo el plano	1
		* Entre el plano y la mitad del espesor	2
		* Sobre la mitad del espesor	3
S	Angulo del talud	Usar el intervalo de valores para la unidad geológica implicada en el corrimiento	
		* En tercio inferior del intervalo	1
		* En tercio medio del intervalo	2
		* En tercio superior del intervalo	3
C	Complejos del talud	* Sencilla	1
		* Roturas antiguas erosionadas	2
		* Roturas recientes no erosionadas	3
U	Uso del terreno	* Bosques	1
		* Despejado o construido	1.25
		* Construido sin precauciones especiales	1.50
El coeficiente de riesgo R se define según la ecuación $R=(P+2W)(S+2C)(U)$			
R < 50 Generalmente estable R > 60 Generalmente inestable			

Fuente: Romana Ruiz, Manuel, *El papel de las Clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes* pág. 968

Los tres primeros parámetros usan los intervalos normales de valores del índice de plasticidad (IP), la situación actual más alta anual de la superficie freática y los ángulos de talud para la formación geológica implicada en la inestabilidad, actual o potencial. El cuarto parámetro se

refiere a la existencia o no de corrimientos en la formación. Finalmente el último parámetro se refiere al uso humano del terreno. Una ecuación define el llamado Coeficiente de Riesgo R . El sistema sólo es aplicable a laderas en suelos y tiene algunos inconvenientes:

- * El índice de plasticidad puede ser un buen parámetro para definir la inestabilidad.
- * Se requiere un conocimiento en profundidad del terreno para determinar el índice de plasticidad de la zona donde se desarrolle la superficie de rotura y la posición más alta anual de la superficie freática.
- * La pendiente de un talud es solo un índice parcial de su riesgo de inestabilidad.

Pese a estos inconvenientes este sistema de clasificación puede ser útil para una primera valoración del riesgo de rotura en corrimientos de forma y génesis poco frecuentes y, como todos los métodos de clasificación obliga a reconocer el terreno (plasticidad, niveles freáticos, ángulos de talud más frecuentes en la formación; existencia o no de roturas previas y uso de la tierra) determinando unos parámetros que serán de utilidad en cualquier análisis.

2.4.- Clasificación SMR:

La clasificación SMR, es un método que asigna cuatro factores de corrección al parámetro RMR de Bieniawski. Por ser este el método de clasificación principal a ser utilizado por este trabajo se le dedicará el capítulo siguiente para explicarlo con más detalle.

En el caso de taludes rocosos, estos se pueden clasificar por el método **SMR** (Slope Mass Rating). La clasificación SMR es el método de determinación de los factores de ajustes adecuados para aplicar la clasificación RMR de Bieniawski a los taludes. Es importante que se tomen en cuenta para la aplicación del método los siguientes parámetros:

- ✱ 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.
 - ✓ Relación entre el buzamiento de las juntas con los valores normales de la fricción.
 - ✓ Comparación entre las tensiones tangenciales a lo largo de las juntas con riesgo de rotura y con la fricción que pueden desarrollarse en ellas.

El índice SMR para la clasificación de taludes rocosos, se obtiene a partir del índice RMR, al cual se le suman dos factores de ajuste. El primer factor es función de la orientación de las juntas (el cual es el producto de tres subfactores) y el segundo es un factor de excavación que depende del método utilizado.

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

El valor del RMR se calculará de la forma descrita en el capítulo 2 y usando la tabla # 5 de dicho capítulo; aplicándole luego a este valor lo expresado en la tabla # 7 para realizar así la corrección por la orientación de las diaclasas.

El factor de ajuste de las juntas que sirve para calcular parte del SMR, va a venir dado por tres subfactores. En la tabla #12 se muestra los factores de ajuste a utilizar para el cálculo de cada uno de estos subfactores, al igual que la asignación del valor a ser utilizado por dicho parámetro en la ecuación general del SMR.

Tabla #12: Factor de ajustes para las juntas

Caso		Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy Desfavorable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	> 30	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $					
P/T	F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ \beta_j $	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	> 10°	10° - 0°	0°	0 - (-10°)	< -10°
T	$\beta_j + \beta_s$	< 110°	110°-120°	> 120°		
P/T	F_3	0	- 6	- 25	- 50	- 60

Fuente: ROMANA RUIZ, Manuel, *El papel de las Clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes*, pág. 979

En donde:

P= Rotura plana

T= Rotura por Vuelco

α_s = Dirección de buzamiento del talud

β_s = Buzamiento del talud

α_j = Dirección de buzamiento de las juntas

β_j = Buzamiento de las juntas.

El factor F_1 depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente en la tabla #12 se pueden ajustar matemáticamente según la ecuación:

$$F_1 = (1 - \text{sen} (\alpha_j - \alpha_s))^2$$

Siendo α_j y α_s los valores del buzamiento de las juntas y del talud respectivamente.

El factor F_2 depende del buzamiento de la junta en la rotura plana. Es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzos cortantes de la junta. Este valor varía entre 1,00 para juntas con buzamiento superior a 45° y 0,15 para juntas con buzamiento inferior a 20°. Estos valores fueron establecidos empíricamente en la tabla #12 y ajustados matemáticamente según la relación:

$$F_2 = \text{tg}^2 (\beta_j)$$

Donde β_j es el buzamiento de las juntas. Para el caso de roturas por vuelco, F_2 toma el valor de 1,00.

El factor F_3 refleja la relación existente entre los buzamientos de la junta y el talud. Estos valores son los propuestos por Bieniawski en 1976, los cuales son negativos y se reflejaron en la tabla # 7.

Si se da el caso de roturas planas, F_3 expresa la probabilidad de que las juntas afloran en el talud. Se asume que las condiciones son normales cuando el buzamiento medio de la familia de juntas es igual al del talud y por lo tanto afloran unas pocas juntas. Cuando el talud buza más que las juntas, casi todas afloran y las condiciones del talud serán "Muy Desfavorable", lo que supone un valor de F_3 de -60.

Para la rotura por vuelco se supone que no puedan existir condiciones desfavorables o muy desfavorables, ya que el vuelco rara vez produce roturas bruscas y en muchos casos los taludes con vuelco de estratos se mantienen.

El otro valor que completa la ecuación del SMR es el factor de ajuste según el método de excavación " F_4 ", el cual ha sido establecido empíricamente y es asignado según se muestra en la tabla #13:

Tabla #13: Factor de ajustes según el método de excavación

Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o mecánico	Voladura deficiente
F_4	+ 15	+10	+ 8	0	- 8

Fuente: ROMANA RUIZ, Manuel, *El papel de las Clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes*, pág. 979

Los taludes naturales son los más estables, a causa de los procesos previos de erosión sufridos por el mismo y los mecanismos

internos de protección que muchos de ellos poseen, como por ejemplo: vegetación, desecación superficial, drenaje superficial.

El precorte consiste en un raspado superficial del talud, este aumenta la estabilidad del mismo en media clase.

Las técnicas para voladura suave (recorte), bien ejecutado, también aumenta la estabilidad de los taludes. Sin embargo, las voladuras defectuosas son muy frecuentes y pueden dañar la estabilidad del talud.

La excavación mecánica de los taludes por ripado sólo es posible cuando el macizo rocoso está muy fracturado o cuando la roca es blanda. Con mucha frecuencia se combina con prevoladuras poco cuidadas. En este caso, las caras del talud presentan dificultades de acabado por lo cual el método ni mejora ni empeora la estabilidad.

En el caso de voladuras defectuosas, estas afectan considerablemente la estabilidad del talud, restándole al valor de SMR 8 unidades.

En el método SMR no se expresa ninguna indicación especial para las roturas en cuña. El procedimiento a seguir en ese caso, es obtener el índice SMR para cada una de las familias de juntas y ahí adoptar para el talud el menor valor de los índices SMR obtenidos.

En rocas meteorizadas y evolutivas, la clasificación debe ser aplicada dos veces:

- * Para la situación inicial de la roca sana.
- * Para la situación futura de roca meteorizada.

Los dos valores de los índices obtenidos serán distintos.

3.1.- Obtención del Valor SMR:

El esquema general para la obtención del valor SMR de un talud dado, se basa en seguir el siguiente esquema:

- * Determinar los cinco parámetros de método de Bieniawski con los datos obtenidos en el trabajo de campo.
- * Realizar la corrección por la orientación de las diaclasas y así obtener el valor definitivo del RMR.
- * Realizar el análisis pertinente a los cuatro factores de corrección que establece el método SMR.
- * Sumar estos factores obtenidos al valor RMR para obtener así el valor definitivo de SMR de este talud.

En la tabla # 14 se muestran las 5 clases de estabilidad establecidas para los taludes. Estas van a ser dadas por el valor calculado del índice SMR de la ecuación general.

Tabla #14: Clases de estabilidad según el SMR

Clase	V	IV	III	II	I
SMR	0 – 20	21 – 40	41- 60	61 – 80	81 – 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	ninguno

Fuente: ROMANA RUIZ, Manuel, *El papel de las Clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes*, pág. 979

Todos los taludes con valores de SMR inferiores a 20 colapsan rápidamente. No se han encontrado taludes con valores de SMR inferiores a 10, lo que indica que no son físicamente factibles. Por el contrario, se consideran taludes estables a todos aquellos cuyo índice SMR se encuentre por encima de 60.

La carretera Panamericana, que comunica a la ciudad de Caracas con los Altos Mirandinos, cuyos taludes se encuentran constituidos por dos Formaciones las cuales son: Formación Las Brisas y Formación Las Mercedes.

4.1.- Formación Las Brisas:

La primera referencia de esta formación se debe a Aguerrevere y Zuloaga en 1937, los cuales las denominaron Conglomerado Basal Las Brisas.

Su afloramiento se localiza en el Sitio de Las Brisas, en el km 10 de la antigua carretera Caracas – Ocumare del Tuy, cerca de la represa la Mariposa. Extendiéndose a todo lo largo del macizo central de la Cordillera de la Costa entre Cabo Codera y el graben del río Yaracuy.

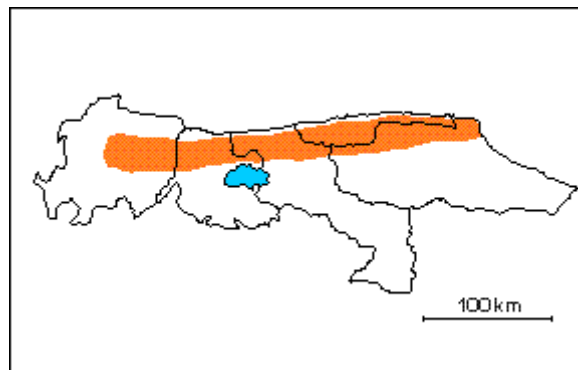


Fig. # 13: Ubicación geografía de la Formación Las Brisas.
Fuente: <http://www.pdvsa.com/lexico/166w.htm>

La descripción litológica fue expuesta originalmente por Aguerrevere y Zuloaga, en la cual se “menciona un conglomerado basal arkosico, con cantos rodados derivados de la roca basal de Sebastopol, redondeados a subangulares, hasta de 30 cm de diámetro, cantos de

cuarzo y cemento, principalmente silícico. Esta litología dista de ser la principal, ni mucho menos la única componente de la formación”.²⁶

Esta Formación ha sido observada por otros expertos entre los cuales se pueden mencionar: Dengo (1951), Smith (1952), Seiders (1965), Wehrmann (1972), Taludkar y Loureiro (1982).

“Dengo observa que la mayor parte de la formación, está constituida por esquistos cuarzo – micáceo, en el cual se incluye gneis microclínico, esquistos granatíferos, cuarcitas y calizas.

Smith divide la Formación en dos miembros: miembro inferior constituido por gneis y esquistos microclínicos conglomerativos y miembros superior formado casi enteramente por esquistos sericíticos. Este autor opina que los grupos litológicos de los miembros inferior y superior, se originan de conglomerados y lutitas respectivamente, y que las calizas son de origen biohermal.

Seiders encuentra en el tope de la formación, conglomerados gnéisicos y areniscas esquistosas, con cantidad menor de caliza negra en capas delgadas, grandes guijarros de granito y resalta la ausencia de los esquistos sericíticos de Smith.

Wehrmann afirma que la Formación Las Brisas, está constituida en un 90% de esquistos cuarzo – feldespáticos – moscovíticos; el 10% restante lo constituyen, en orden de abundancia, esquistos cuarzo – feldespáticos, epidóticos o cloríticos, calizas, cuarcitas y metaconglomerados. Menciona igualmente, mineralizaciones pobres de

²⁶ <http://www.pdvsa.com/lexico/166w.htm>

cobre en algunas caliza, en forma de sulfuros y sulfatos. Este autor no menciona el gneis microclínico de Dengo, pero hace referencia a conglomerados y areniscas intraformacionales, ricas en microclino (15%), sin hacer referencia a su relación con el gneises del mismo género.

Taludkar y Loureiro analizan exhaustivamente los tipos litológicos, en un área reducida de la Cordillera de la Costa, sin relacionarla con las formaciones tradicionales, estableciendo la dificultad e inconveniencia en el uso de unidades litoestratigráficas, en estudios detallados de rocas metamórficas. El grado de metamorfismo es bajo, aunque existen diferencias de opiniones de Dengo, Smith y Seiders, quienes opinan que predomina la facies de la anfibolita y el glaucofano, mientras que Wehrmann le asigna grados más bajos de presión (facies de esquisto verde).²⁷

El ambiente tectónico y la petrogénesis de esta Formación, se observa que en su origen, las rocas que las componen, fueron sedimentos pelíticos y psammíticos, depositados en la plataforma y el talud oriental. En cuanto a las calizas, existen diferencia de criterios, que varían ente el origen biohermal y el pelágico. Taludkar y Loureiro opinan que la fuente de sedimentos pudo haber sido el protocontinente suramericano de suave pendiente y situado a gran distancia, combinado con una fuente cercana de origen volcánico de tipo basáltico y andesítico. Estos sedimentos fueron depositados en una plataforma continental, de ambiente parcialmente euxínico, contiguo a un arco volcánico.

²⁷ <http://www.pdvsa.com/lexico/166w.htm>

La Formación las Brisas descansa sobre el Complejo Basal de Sebastopol. El contacto, ya sea por la foliación discordante, sea por el hiatus de tiempo que separa ambas formaciones. La relación con las formaciones suprayacentes Antimano y las Mercedes, es generalmente transicional, aunque a veces el contacto es estructural.

La Formación Las Brisas forma en la región Capital el núcleo de anticlinorios que corren a lo largo de la Cordillera de la costa. Los afloramientos alcanzan dimensiones decakilométricas en sentido N – S y hectokilométricas en su extensión longitudinal E – W.

Para establecer la edad de esta Formación, se tiene como única referencia de fósiles plenamente identificados los proporcionados por los estudios realizados por Urbani en 1969, el cual descubrió varios ejemplares de *Exogyra*, lo cual remonta el origen de esta formación a el Jurásico Tardío.

La importancia económica de esta Formación radica esencialmente en la explotación de las calizas del miembro Zenda, como material de construcción (piedra picada) y ornamental. Se ha mencionado la explotación de metareniscas muy meteorizadas como fuente de agregados para el concreto. Asimismo, esta litología, al perder su textura esquistosa por lixiviación de ciertos minerales, constituye un excelente acuífero superficial.

4.2.- Formación Las Mercedes:

La primera referencia de esta Formación se debe a Aguerrevere y Zuloaga en 1937, los cuales las denominaron Conglomerado Basal Las Mercedes.

Esta localizada en la antigua hacienda las Mercedes al este de Caracas, hoy la Urbanización las Mercedes. Debido al crecimiento del urbanismo con la consecuente desaparición de los afloramientos de la localidad tipo, Wehrmann (1972) propone trasladar la sección de referencia a la carretera Petare – Santa Lucia, donde se expone la sección completa de la formación hasta su transición con la Formación Chuspita. Igualmente hay una sección bien expuesta en la autopista Caracas – Valencia, en el tramo Hoyo de la Puerta – Charallave. Esta formación se extiende en los flancos del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre Carenero, estado Miranda hasta el estado Cojedes.

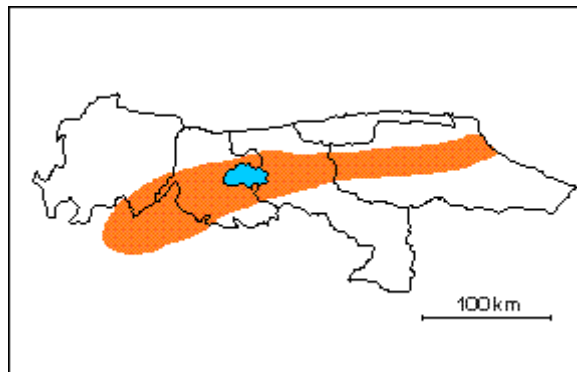


Fig. # 14: Ubicación geografía de la Formación Las Mercedes.
Fuente: <http://www.pdvsa.com/lexico/166w.htm>

Esta Formación fue descrita inicialmente por Aguerrevere y Zuloaga en 1937 los cuales la definen como “esquistos principalmente

calcáreos con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte rosado, gris, con zonas blancas cuando frescas. Incluyen dentro de la formación una zona constituida por calizas oscuras y densas, en capas delgadas, interstratigráficas con capas de esquistos micáceos y arcillosos, todo intensamente plegado, que denominan Fase Los Colorados y que constituyen excelentes estratos guía. ²⁸

Las rocas presentan buena foliación y grano fino a medio, el color característico es el gris parduzco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxido de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto se presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, granito, pirita, y óxido de hierro.

Posteriormente esta formación fue estudiada por: Dengo (1949), Smith (1952), Seiders (1965), Wehrmann (1972), Urbani (1972), entre otros.

“Wehrmann menciona metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope de filitas negras, poco meteorizadas, con módulos de mármol negro, de grano muy fino, similares a los de las formaciones La Luna y Querecual, sin hallar fósiles en ellas. Indica que

²⁸ <http://www.pdvsa.com/lexico/166w.htm>

el tope de la formación se hace más cuarzosa y menos calcárea en su transición hacia La Formación Chuspita.

Seiders menciona además, meta – areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

Urbani, cartografía dos subunidades en la zona de Valencia – Mariara, Estado Carabobo. La mayoritaria de esquisto calcítico – grafitoso y mármol, con una asociación mineralógica de cuarzo, calcita, muscovita, albita, grafito, clorita y epidoto. Una segunda subunidad minoritaria de cuerpos de mármol masivo, contentivo de calcita, cuarzo, muscovita, grafito y albita. En la zona de la Sabana – Chirimena – Capaya, Distrito Federal y Miranda, reconocen cuatro unidades cartografiables, la primera y mayoritaria de esquistos grafitoso y mármol, así como de metaconglomerados cuarzo – feldespático – calcáreo, de metaconglomerado y metareniscas y de esquisto albitico – grafitoso. Todas estas rocas corresponden a un metamorfismo de bajo grado en la facie de los esquistos verdes, zona de la clorita.

Característico de la Formación, es la presencia de pirita, que al meteorizar, infunde una coloración rosada a rojo ladrillo a la roca. Smith opina que la coloración rosada proviene de la meteorización de la sericita. Otra característica es la extraordinaria proporción de vetas de calcita recristalizada, en colores blanco, pardo y marrón, que ha sido identificada erróneamente como ankerita o siderita. En muestras de sondeos profundos con muestras no meteorizadas, esta coloración marrón de la calcita está ausente.

Taludkar y Loureiro (1982) sugieren un ambiente euxínico en una cuenca externa a un arco volcánico. La estructura finamente laminada de las calizas, indica las sedimentaciones en un ambiente pelágico, mientras que los escasos restos de fósiles hallados, indican lo contrario.”²⁹

Hasta el año 1970 se consideró que el contacto entre las Formaciones Las Brisas y Las Mercedes es concordante y de tipo sedimentario. En estudios más recientes se considera que es del tipo tectónico conservando paralelismos en la foliación de ambas unidades.

Debido a los fósiles encontrados en la Formación no se puede estimar con precisión la edad de la unidad, sin embargo sugieren una edad Mesozoica.

La importancia económica de la misma se debe a el mármol de los afloramientos de la Vega, Distrito Federal, se utilizaron hasta su total explotación para la fabricación de cemento, se explota el esquisto grafitoso, como material de compactación para carreteras no asfaltadas.

4.3.- La carretera Panamericana:

Esta vía fue proyectada en la década de los 50, con la finalidad de comunicar los Altos Mirandinos con la ciudad de Caracas, En su inicio, se construyó como una vía de un canal por sentido, permaneciendo así hasta la década de los 80 cuando se le realizaron trabajos de ampliación para llevarla a dos canales por sentido.

²⁹ <http://www.pdvsa.com/lexico/166w.htm>

Esta ampliación consistió en el corte de la montaña a la margen de la vía, formando unos nuevos taludes con características nuevas, las cuales son las que se conocen para el momento de la realización de este trabajo.

En todos los estudios geotécnicos que se realizan, el trabajo de campo es una de las partes primordiales del mismo. En este estudio, se requiere de un cuidado especial, ya que es aquí donde se recaudan los datos que luego serán analizados para ofrecer resultados entendibles por cualquier persona aunque esta no sea especialista en el tema.

Los equipos y materiales de apoyo a ser utilizados en este trabajo son los siguientes: martillo de geólogo, brújula de geólogo, libreta de campo, cintas métricas y planos topográficos de la zona.

Antes de realizar este estudio geológico es recomendable realizar un recorrido por la zona, ya que así, será más fácil al momento de realizar el trabajo determinar cuales son los principales puntos de estudio.

5.1.- Ensayo de reconocimiento de campo:

Este trabajo básico de reconocimiento, se basa en el sondeo o exploración de la zona. En esta primera etapa de sondeo de la zona, puede ser realizada caminando por el terreno o sobrevolándola para realizar un proceso de fotografiado aéreo.

La extensión de la exploración es función de varios factores; sin embargo, un programa de exploración y muestreo dependerá principalmente de las siguientes consideraciones:

- * Naturaleza e importancia de la obra.
- * Conocimiento previo de los tipos de suelos predominantes en el terreno a ser utilizado.
- * Características geotécnicas del suelo.

La información básica requerida viene dada en principio por la visita al sitio, donde por inspección se recopila las siguientes características: geología superficial, escorrentía de aguas de lluvia o cursos de aguas naturales, topografía del sitio y cualquier otro rasgo geológico, constructivo o de detalle que sea de interés.

Una exploración o muestreo satisfactorio de las condiciones de suelo deben incluir la siguiente información:

- * Naturaleza del depósito: geología, presencia de rellenos, cortes recientes.
- * Profundidad, espesor y composición de los estratos del suelo y de la roca.
- * Ubicación del nivel freático.
- * Propiedades ingenieriles de los suelos en los diferentes estratos y de la roca que puedan afectar al comportamiento de la estructura.

En el caso particular de estudio de la Carretera Panamericana se procedió a la medición de los parámetros principales para la caracterización del macizo rocoso con la ayuda de las herramientas básicas del geólogo, las cuales son:

- * Piqueta.
- * Brújula
- * Cinta Métrica
- * Planos de la zona.

Los datos básicos a ser medidos en campo, para la aplicación del método de clasificación de Bieniawski para efecto de la caracterización de la roca fueron los indicados en el capítulo 2. A continuación se resumen dichos parámetros:

- * Resistencia de la roca sana.
- * RQD.
- * Rumbo y buzamiento de los planos de foliación y diaclasas.
- * Separación entre diaclasas, familias, frecuencia, espaciamiento, tipo de relleno, rugosidad y presencia de agua.
- * Presencia de agua.

Estos parámetros se determinan en campo como se expresa en la tabla # 15:

Tabla #15: Obtención de los parámetros de Bieniawski en campo

Resistencia de la roca sana	Este factor se determina mediante la utilización del martillo de geólogo golpeando la roca hasta el punto de rotura o con la navaja tratando de rayarla.
RQD	Este factor se obtiene tomando cilindros de diámetro NX y luego analizándolos en laboratorio. En el caso particular de este estudio se tomaron valores analizados previamente por la escuela de Geología de la UCV
Rumbo y buzamiento de los planos de foliación y diaclasa	Observando los distintos planos de buzamiento del diaclasado que se puedan presentar, se procede a la medición sobre el talud de las direcciones con la brujula de geólogo.
Separación entre familias de diaclasa	La separación entre diaclasas se mide con una cinta métrica sobre el afloramiento, tomando la separación promedio entre ellas.
Presencia de agua	La presencia de agua se toma por inspección de la superficie y de las juntas que se presentan en cada afloramiento.

5.2.- Afloramientos estudiados:

En este estudio se tomaron diez afloramientos, los cuales fueron elegido por presentar varios problemas físicos, ya que se observaba claramente diferentes planos de foliación, planos de fallas, además de observarse el desprendimiento de bloques de formas regulares.

De los resultados obtenido del levantamiento geológico en sitio se pueden observar en los planos topográficos identificados como: 6847-III-NO y 6847-III-SO en el anexo A. Los datos obtenidos para cada afloramiento fueron:

5.2.1.- Afloramiento #1:

El afloramiento #1 esta ubicado en el Km. 0 de la carretera Panamericana (ver anexo A), tomando como punto de referencia para su ubicación la estación de servicio y la parada del transporte público del barrio "El 18".

La composición geológica de la roca que conforma dicho afloramiento consta de un esquisto cuarzo – micáceos en la formación Las Mercedes. Se observan vetas de cuarzo y calcita de espesor de 0,3 cm hasta 3 cm.

El plano de foliación preferencial es el N10W26S. Las diaclasas tienen una dirección N18W, subvertical de frecuencia 5 por metro, la familia de estas es pseudoparalelas al corte del talud (Ver figura #15).

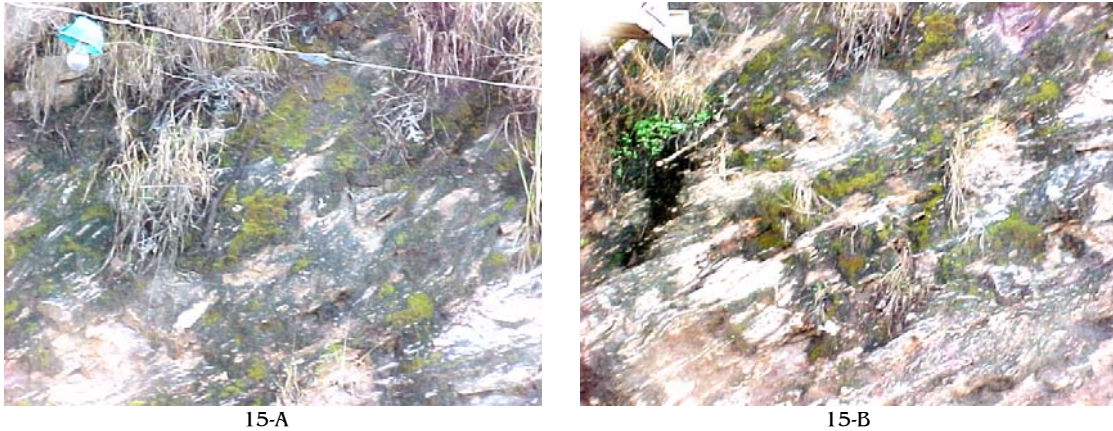


Figura # 15: Diaclasado en el afloramiento # 1

Se observa la presencia de agua residual drenando por el talud proveniente de las viviendas rurales ubicadas en el mismo.

Este afloramiento se encuentra muy replegado, sus dimensiones aproximadamente son: 15 m de alto y 35 m de ancho.

A continuación en la tabla # 16, se presenta un resumen de los datos obtenidos en la inspección realizada en campo al afloramiento # 1.

Tabla #16: Datos geológicos del afloramiento #1

<i>Datos Generales</i>	
Talud	1
Formación	Las Mercedes
Progresiva	0+ 125
Longitud	35 m
Altura Promedio	15 m
Inclinación promedio	85°
Resistencia de la roca (Kp/cm ²)	200
RQD	25 %
Separacion entre diaclasas	5 / 1
Estado de las diaclasas	Ligeramente rugosa, abertura < 1 mm, bordes duros
Presencia de agua	Si, goteando
Observaciones	El agua presente en dicho talud se presume que es debida a los tanques septicos de las viviendas rurales de la zona.

5.2.2.- Afloramiento #2:

Este afloramiento se encuentra ubicado en la progresiva 0 + 800 m, a la entrada de la planta de gas Vengas.



Figura # 16-A

Las rocas que lo conforman son un esquistos cuarzo - micáceo de dirección preferencial N8W24S perteneciente a la formación Las Mercedes; y se pueden apreciar en la figura #16-A .

En el talud se puede apreciar una falla de orientación N64E80W de tipo normal, la cual se detalla en la figura #16-B y 16-C.

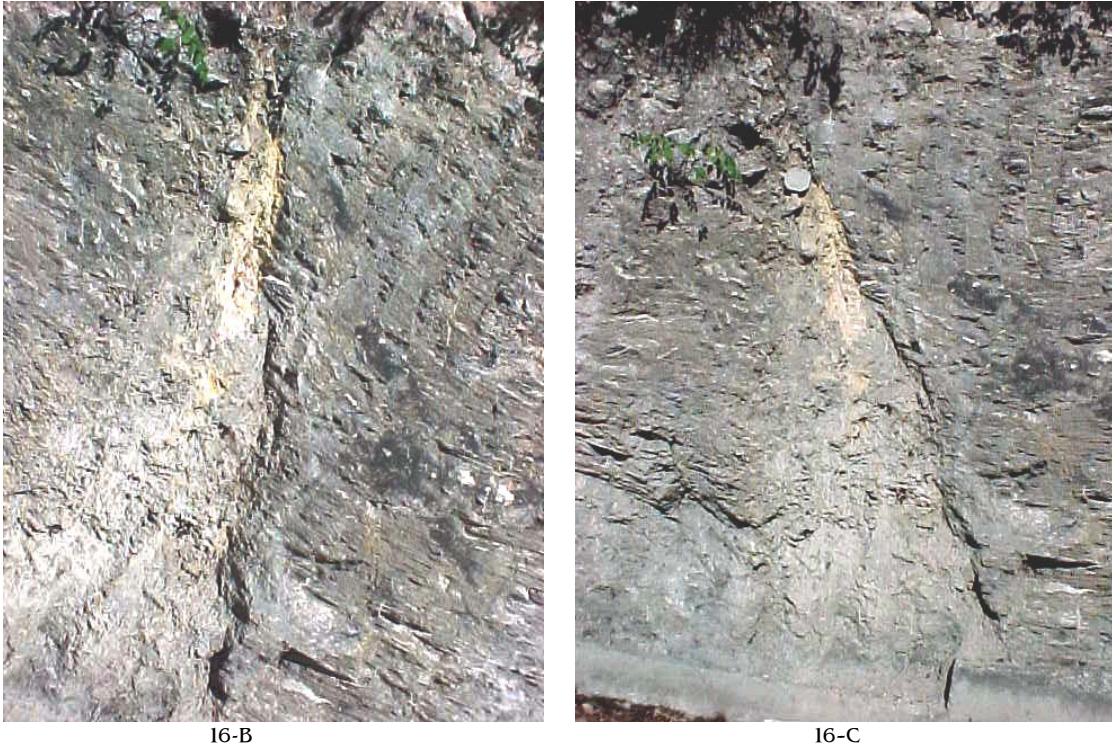
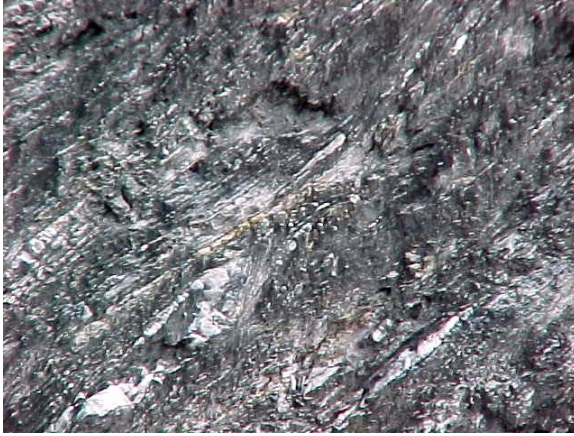


Figura # 16: Plano de Falla de dirección N64E80W ubicada a la salida de la planta de gas

Se presenta un plano de foliación de dirección N10E46S y adicionalmente dos diaclasados con las siguientes direcciones:

- * Diaclasado #1: Dirección N56W64N con frecuencia de 3 en un metro.
- * Diaclasado # 2: Dirección N52W60N de frecuencia 5 en un metro.

En este afloramiento se observa gran cantidad de material triturado entre las juntas, con gran abundancia de vetas de calcita como se observan en la figura #17-A y 17-B. Su color en estado fresco es gris claro y el color en estado meteorizado es marrón amarillento; como se puede evidenciar en la figura # 17-C.



17-A



17-B



17-C

Figura #17: Vetas de calcita en la pared del talud

En la tabla # 17 se muestran en detalle los datos recaudados para este afloramiento.

Tabla #17: Datos geológicos del afloramiento #2

<i>Datos Generales</i>	
Talud	2
Formación	Las Mercedes
Progresiva	0 + 800
Longitud	120 m
Altura Promedio	25 m
Inclinación promedio	80°
Resistencia de la roca (Kp/cm ²)	400
RQD	25 %
Separacion entre diaclasas	3 / 1
Estado de las diaclasas	Muy rugosas, discontinuas sin separaciones, bordes sanos y duros
Presencia de agua	No
Observaciones	Presencia de una falla en el talud de orientación N64E80N, presencia de gran material triturado

5.2.3.- Afloramiento #3:

La ubicación de este afloramiento esta dada por la progresiva 1 + 375 tomando como referencia la valla publicitaria ubicada a la margen izquierda de la vía. Este afloramiento tiene una longitud de 200 m con una altura promedio de 20m.

Esta formado por esquistos cuarzo-micáceo de color en estado fresco gris claro y de color en estado meteorizado gris rojizo. Se observan abundantes vetas de calcita de espesor variable, que se pueden evidenciar en la figura # 18.



Figura #18: Vetas de calcita en sus diversos espesores

Se encuentra muy deformado por el plegamiento, con apreciables fracturas en las rocas. El plano de foliación preferencial tiene dirección N18E40S, apreciándose además dos planos de foliación de direcciones:

- ✧ N14W30N, el cual se observa en la figura #19-A
- ✧ E-W buzando al sur, el cual se detalla en la figura #19-B



19-A



19-B

Figura #19: Planos de foliación del afloramiento #3

Es apreciable un diaclasado de dirección N24W78N de frecuencia 3 a 1 con espaciamiento de 20 a 50 cm el cual puede ser apreciado en la figura #20 desde varias vistas.



Figura #20-A



Figura #20-B



20-C



20-D

Figura #20: Diaclasado del afloramiento #3

En tabla #18, se presenta un resumen de los datos obtenidos del trabajo de campo para este afloramiento.

Tabla #18: Datos geológicos del afloramiento #3

<i>Datos Generales</i>	
Talud	3
Formación	Las Mercedes
Progresiva	1 + 375
Longitud	200 m
Altura Promedio	25 m
Inclinación promedio	85°
Resistencia de la roca (Kp/cm ²)	500
RQD	25%
Separacion entre diaclasas	2 / 1
Estado de las diaclasas	Muy rugosas, discontinuas sin separaciones, bordes sanos y duros
Presencia de agua	No
Observaciones	El afloramiento se encuentra muy deformado por plegamiento.

5.2.4.- Afloramiento #4:

Ubicado en la progresiva 2 + 800, las dimensiones de este afloramiento son de 600 m de longitud con 15 m de altura; con referencia clara por el contacto de rocas de distintos colores que evidencian la unión de las formaciones las Brisas y las Mercedes. Dicho contacto se puede observar en la figura #21.



Figura #21: Contacto Formacional Las Brisas - Las Mercedes

Se observa la presencia de epidoto, clorita, actinolita, vetas de serpentinita, las cuales no se encuentran en estado meteorizado y se pueden detallar en las figuras 22-A y 22-B.

A 120 m del comienzo del afloramiento se observa la unión de las formaciones, mediante un plano definido de dirección N54W44S, el cual se evidencia por el contacto de rocas verdosas (zona Noreste) con rocas

grisáceas (zona Sur). Este contacto se observa mejor en las figuras 22-C y 22-D.



22-A



22-B



22-C



22-D

Figura #22: Contacto de las formaciones Las Brisas y las Mercedes en el afloramiento #4.

En el tramo grisáceo (formación las Mercedes) se observa un plano de foliación preferencial N22W20N, con los siguientes diaclasados :

- ❖ Diaclasa 1: dirección N8E65S, con una frecuencia de 3 por metro.
- ❖ Diaclasa 2: dirección N75E82N, de la misma frecuencia que el diaclasado 1.

En el tramo verdoso del afloramiento (formación las Brisas), se tiene una dirección preferencial de foliación N80E45N y varios diaclasados:

- ❖ Diaclasa 1: dirección N36E76N, de frecuencia 1:1
- ❖ Diaclasa 2: dirección N76W35S, con frecuencia 2:1, rellenas de material filítico.
- ❖ Diaclasa 3: dirección N56W58S, frecuencia 2:1, rellenas de calcita.

Es apreciable a lo largo del afloramiento, bloques desprendidos de formas regulares y diámetros comprendidos entre los 15 y los 30 cm; algunos de esos bloques se muestran en la figura #23.



23-A



23-B

Figura # 23: Bloques desprendidos del talud

En la Tabla #19, se presentan los datos obtenidos del estudio realizado en campo al afloramiento #4:

Tabla #19: Datos geológicos del afloramiento #4

<i>Datos Generales</i>	
Talud	4
Formación	Las Brisas - Las Mercedes
Progresiva	2 + 800
Longitud	600 m
Altura Promedio	15 m
Inclinación promedio	76°
Resistencia de la roca (Kp/cm ²)	600
RQD	27%
Separación entre diaclasas	1 / 1
Estado de las diaclasas	Ligeramente rugosa, abertura < 1 mm, bordes duros
Presencia de agua	No
Observaciones	A una distancia de 120 m del comienzo del afloramiento se observa el contacto de las formaciones las Brisas y las Mercedes. Se observan bloques desprendidos de 10 a 30 cm de diámetro.

5.2.5.- Afloramiento #5:

Se encuentra ubicado en la progresiva 3 + 125, perteneciente a la formación las Brisas. Tiene una longitud de 50 m y altura promedio de 20 m. No se presentan planos de foliación, las rocas se observan masivas y muy fracturadas como la presentada en la figura #24.



24-A



24-B

Figura #24: Roca fracturada tomada del afloramiento # 5

En las distintas tomas del afloramiento mostradas en la figura #25 se evidencia la existencia de bloques desprendidos de diámetro variables entre 10 y 30 cm.



25-A



25-B



25-C



25-D



25-E



25-F



25-G

Figura # 25: Bloques desprendidos del afloramiento # 5

Se pueden apreciar a lo largo del talud cuatro diferentes diaclasados los cuales tienen por dirección:

- ❖ Diaclasa #1: dirección N35E45N y frecuencia 1:1
- ❖ Diaclasa #2: dirección N55E74S y frecuencia 1:1
- ❖ Diaclasa #3: dirección E-W buzando hacia el sur
- ❖ Diaclasa #4: dirección N30W subvertical



Figura #26: Color de las rocas del afloramiento # 5.

El color de la roca en estado fresco es gris claro, mientras que el color en estado meteorizado es gris rojizo verdoso; el cual se debe a la proximidad existente entre este afloramiento y la unión de las formaciones. Este hecho se puede observar en la figura # 26.

A continuación en la tabla #20, se presenta un resumen de los datos geológicos recolectados en campo de este afloramiento.

Tabla #20: Datos geológicos del afloramiento #5

<i>Datos Generales</i>	
Talud	5
Formación	Las Brisas
Progresiva	3 +125
Longitud	50 m
Altura Promedio	20 m
Inclinación promedio	85°
Resistencia de la roca (Kp/cm ²)	600
RQD	27%
Separacion entre diaclasas	1 / 1
Estado de las diaclasas	Muy Rugosas, discontinuas, sin separaciones, bordes sanos y duros
Presencia de agua	No
Observaciones	Se observan bloques desprendidos de 10 a 30 cm de diámetro. Las rocas se observan masivas y muy facturadas.

5.2.6.- Afloramiento #6:

Este afloramiento está ubicado en la progresiva 4 + 000 de la carretera, está compuesto por esquistos cuarzo-micáceos de la formación las Brisas. Las dimensiones de este afloramiento son: 60 m de longitud con una altura promedio de 10 m.

El plano preferencial de foliación tiene por dirección N24E25N. No presenta diaclasado aunque se aprecian vetas de cuarzo (Ver figura #27). El afloramiento se encuentra muy replegado. En la tabla # 21, se reflejan los datos obtenidos del trabajo de campo referente a este afloramiento.



27-A



27-B



27-C



27-D



27-E



27-F

Figura # 27: Ausencia de diaclasado y vetas de cuarzo en el Afloramiento #6

Tabla #21: Datos geológicos del afloramiento #6

<i>Datos Generales</i>	
Talud	6
Formación	Las Brisas
Progresiva	4 + 000
Longitud	60 m
Altura Promedio	10 m
Inclinación promedio	80°
Resistencia de la roca (Kp/cm ²)	600
RQD	27%
Separación entre diaclasas	Muy separadas
Estado de las diaclasas	Muy Rugosas, discontinuas, sin separaciones, bordes sanos y duros
Presencia de agua	No
Observaciones	El afloramiento se observa muy replegado y presenta vetas

5.2.7.- Afloramiento #7:

La ubicación del afloramiento es la progresiva 4 + 625, su composición básica es cuarzo-micáceo perteneciente a la formación las Brisas. Las dimensiones del mismo son: 80 m de longitud y altura promedio de 30 m.

El plano de foliación preferencial de este talud es N30E29N, no se presentan diaclasados. (Ver figura #28)



28-A



28-B



28-C



28-D

Figura #28: Diaclasado en el Afloramiento #7

Existen abundantes vetas de calcita y se encuentra muy replegado. El color en estado fresco de las rocas es gris claro y el color en estado meteorizado gris rojizo. (Ver figura #29)



Figura # 29 : Vetas de calcita presentes en el afloramiento #7

Los datos geológicos más importantes de este afloramiento recolectados en el sitio se presentan en la tabla # 22.

Tabla #22: Datos geológicos del afloramiento #7

<i>Datos Generales</i>	
Talud	7
Formación	Las Brisas
Progresiva	4 + 625
Longitud	80 m
Altura Promedio	30 m
Inclinación promedio	70°
Resistencia de la roca (Kp/cm ²)	500
RQD	27%
Separación entre diaclasas	Muy separadas
Estado de las diaclasas	Muy Rugosas, discontinuas, sin separaciones, bordes sanos y duros
Presencia de agua	No
Observaciones	El afloramiento se observa muy replegado y con abundante veta de calcita.

5.2.8.- Afloramiento #8:

Este afloramiento perteneciente a la formación la Brisas, esta localizado en la progresiva 5 + 125, esta compuesto por un esquistos cuarzo-micáceo.

El plano de foliación preferencial tiene dirección N76E34S aunque al final del afloramiento se aprecia un cambio de dirección a N40W10S. Este cambio se evidencia en las distintas vistas mostradas en al figura #30.



30-A



30-B



30-C

Figura #30: Planos de Foliación del Afloramiento #8

Se pueden observar vetas de calcita, algunas paralelas a la foliación (las cuales se pueden apreciar en las figuras 31-A y 31-B); y también es apreciable capas de mármol de prototipo pelítico carbonático, como las observadas en la figura #31-C.



31-A



31-B



31-C

Figura #31: Vetas de Calcita en el afloramiento # 8

El color en estado fresco de las rocas que forman el afloramiento es gris claro, mientras que el color en estado meteorizado es gris oscuro. Se presentan dos diaclasados con las siguientes direcciones:

- ✧ Diaclasa # 1: dirección N22W subvertical, de frecuencia 1:1
- ✧ Diaclasa # 2: dirección N55E65S, frecuencia 2:1

Tanto las direcciones de las diaclasas como en color de las rocas se muestran en la figura #32.



32-A



32-B



32-C



32-D



32-E



32-F

Figura #32: Diaclasado del afloramiento # 8

Adicionalmente en la inspección de campo se pudieron apreciar bloques desprendidos de diámetros variables sin ningún valor promedio; tal y como se pueden observar en la figura #33.



33-A



33-B



33-C

Figura #33: Bloques desprendidos en el afloramiento

En la siguiente tabla # 23, se muestran los datos recolectados acerca de esta afloramiento.

Tabla #23: Datos geológicos del afloramiento #8

<i>Datos Generales</i>	
Talud	8
Formación	Las Brisas
Progresiva	5 + 125
Longitud	200 m
Altura Promedio	30 m
Inclinación promedio	80°
Resistencia de la roca (Kp/cm ²)	400
RQD	27%
Separacion entre diaclasas	2 / 1
Estado de las diaclasas	Ligeramente rudo, abertura < 1mm, bordes blandos
Presencia de agua	No
Observaciones	Se observan vetas de cuarzo y calcita, paralelas al plano de foliación

5.2.9.- Afloramiento #9:

El afloramiento 9, se localizó en la progresiva 6 + 375 de la carretera Panamericana. Las dimensiones del talud son: 70 m de longitud y 35 m de alto. El color en estado fresco de la roca es gris claro y el color en estado meteorizado gris amarillento.

La composición geológica de la roca que conforma dicho afloramiento consta básicamente de un esquistos claro perteneciente a la formación las Brisas.

El plano de foliación preferencial es el N68E52N, tal y como se puede evidenciar en la figura #34. Se presentan cinco distintas direcciones de diaclasado, estas son:

- ❖ Diaclasa #1: Dirección N25W70N de frecuencia 10:1, se observa relleno e aproximadamente 0,5 cm de espesor entre las juntas.
- ❖ Diaclasa #2: de dirección N10W subvertical, de frecuencia 5:1 sin presencia de relleno
- ❖ Diaclasa #3: dirección N80E22S, frecuencia 2:1, sin relleno
- ❖ Diaclasa #4: dirección N15W subvertical, frecuencia 3:1
- ❖ Diaclasa #5: dirección N85W65S, frecuencia 1:1



34-A



34-B

Figura # 34: Plano de foliación preferencial del afloramiento

En la figura # 35 se observan bloques desprendidos; adicionalmente se aprecian bloques rotados, por el ángulo que forman los planos de foliación y de diaclasas; el cual es un ángulo recto, dándole a los bloques forma cúbica



Figura # 35: Bloques desprendidos del afloramiento # 9

En la tabla #24 se reflejan los datos geológicos recolectados para el afloramiento #9, los cuales fueron recolectados en el sitio.

Tabla #24: Datos geológicos del afloramiento #9

<i>Datos Generales</i>	
Talud	9
Formación	Las Brisas
Progresiva	6 + 375
Longitud	70 m
Altura Promedio	15 m
Inclinación promedio	80°
Resistencia de la roca (Kp/cm ²)	400
RQD	27%
Separación entre diaclasas	5 / 1
Estado de las diaclasas	Espejo de falla o con relleno, < 5 mm o abiertas
Presencia de agua	No
Observaciones	Se observan bloques rotados por el ángulo que forman los planos de foliación y los planos de diaclasas, los cuales forman ángulo recto dándole a los bloques una forma cúbica

5.2.10.- Afloramiento #10:

Este afloramiento se encuentra ubicado en la progresiva 11 + 250 m, pasando la entrada del IVIC. La longitud de este afloramiento es de 125 m con una altura promedio de 3 m, ya que por encima de esta altura se presenta cubierto de vegetación.

Las rocas que lo conforman son un esquistos cuarzo – micáceo, esquistos de grano grueso a gneisica perteneciente a la formación las Brisas.

Se presentan dos planos distintos de foliación, los cuales tienen las siguientes direcciones:

- ❖ Plano de foliación #1: Dirección N20E12S, se presentan en capas de 15 cm hasta 50 cm de espesor. Que se observan en detalle en la figura #36.



36-A



36-B



36-C



36-D



36-E

Figura #36: Rocas observadas en el plano de foliación #1

- ❖ Plano de dirección #2: Dirección N82E36S. Las cuales se detallan en las distintas vistas mostradas en la figura #37.



37-A



37-B



37-C



37-D



37-E



37-F



37-G

Figura #37: Plano de foliación #2 en el afloramiento # 10

En el primer plano de foliación se presentan tres diaclasados distintos de direcciones:

- ❖ Diaclasado #1: Dirección N40E con frecuencia de 2 en un metro, separadas hasta 2 cm.
- ❖ Diaclasado # 2: Dirección E-W de frecuencia 2 en un metro separadas hasta 2 cm sin presencia de relleno.
- ❖ Diaclasado #3: Dirección N30W subvertical

En el segundo plano de foliación se presenta un diaclasado de dirección N5E subvertical.

Como se observa en la figura #38, el afloramiento se encuentra muy fracturado por lo cual se producen desprendimientos de bloques a lo largo del mismo.



38-A



38-B



38-C



38-D



38-E



38-F

Figura # 38: fracturas existentes en la pared del afloramiento # 10

En la figura # 39, se aprecian con claridad vetas de cuarzo incrustadas en la superficie del talud que poseen distintos espesores.



39-A



39-C



39-B

Figura # 39: Vetas de cuarzo

La zona donde se presenta más fracturado el afloramiento se localiza a 150 m de la entrada del IVIC en dirección hacia los Teques. A una distancia de 20 m en la misma dirección este se presenta más grafitoso (color oscuro) y el grano es más grueso (gneis). Se observan hongos y líquenes gracias a la presencia de agua como se muestran en la figura #40.



40-A



40-B



40-C



40-D



40-E



40-F



40-G

Figura # 40: presencia de agua y de vegetación en la pared del talud

En la tabla # 25 se presenta la información recabada en campo para este afloramiento.

Tabla #25: Datos geológicos del afloramiento #10

<i>Datos Generales</i>	
Talud	10
Formación	Las Brisas
Progresiva	11 + 250
Longitud	125 m
Altura Promedio	3 m
Inclinación promedio	75°
Resistencia de la roca (Kp/cm ²)	300
RQD	27%
Separación entre diaclasas	2 / 1
Estado de las diaclasas	Espejo de falla o con relleno, < 5 mm o abiertas
Presencia de agua	Si
Observaciones	El afloramiento se encuentra muy fracturado, hay presencia abundante de agua.

La aplicación del método SMR para la valoración de la estabilidad de los taludes se basa fundamentalmente en los valores obtenidos del método RMR de Bieniawski, el cual consta de 6 factores que se describieron en detalle en el tabla #5 del capítulo 2.

Para el cálculo del valor SMR, se evalúan 4 factores que corregirán el valor hallado en el método de Bieniawski. Estos factores se determinan de dos formas distintas:

- * Mediante la utilización de la tabla #12, a través de un análisis básico de 6 elementos determinados en campo, los cuales directamente asignan la corrección necesaria y se manejan mediante rangos específicos que los relaciona. Dichos factores son:
 - i. Rotura plana (P)
 - ii. Rotura por Vuelco (T)
 - iii. Dirección de buzamiento del talud (α_s)
 - iv. Buzamiento del talud (β_s)
 - v. Dirección de buzamiento de las juntas (α_j)
 - vi. Buzamiento de las juntas (β_j)

- * Mediante la utilización de fórmulas matemáticas basadas en los términos antes mencionados sin necesidad de la aplicación de la tabla #12; únicamente con los valores recabados en el trabajo de campo. Por tratarse de ángulos, la evaluación de los factores F_1 y F_2 son ecuaciones trigonométricas. En cambio el factor F_3 es un valor probabilístico que no se determina de forma analítica al igual que el factor F_4 el cual se evalúa mediante la utilización de la tabla #13.

La ecuación que da el resultado SMR después de la evaluación de los factores de corrección, a partir del valor RMR calculado previamente es:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

Una vez conocida la forma de cálculo del método de Bieniawski; se procederá a mostrar por cada afloramiento estudiado los valores obtenidos para cada uno de los parámetros del RMR así como su valor final y adicionalmente se detallarán los valores de los factores de corrección del método SMR y el resultado que se obtiene para la valoración de estabilidad del mismo.

6.1.- Afloramiento # 1:



41-A



41-B

Figura #41: Panorámica del Afloramiento #1

El afloramiento presenta una rotura compuesta con aporte de detritos. Es apreciable la presencia de agua en la superficie del talud.

El valor calculado para el RMR se presenta en la tabla # 26; proviene del análisis de los valores presentados en la tabla #16 y la correlación correspondiente con los parámetros de valoración expresados en la tabla #5, para establecer así cada uno de estos parámetros.

La resistencia promedio de la roca de este afloramiento es de 200 kp/cm^2 , la cual se obtuvo mediante la utilización de navaja y martillo de geólogo aplicando lo indicado en la tabla #4; el siguiente parámetro estudiado es el RQD, el cual se obtuvo de estudios realizados al terreno. La determinación de la separación de diaclasas es un trabajo netamente de campo mediante la utilización de la cinta métrica, por inspección se le asigna un valor de estado de diaclasas. En el caso particular de este talud, la presencia de agua es visible ya que gotea por encima de la pared del mismo. La suma de todos estos valores da como resultado la valoración RMR

Tabla #26: Parámetros del método RMR para el afloramiento #1

<i>Parámetros</i>	<i>Valor Asignados</i>
Resistencia de la roca	4
RQD	8
Separación de diaclasas	10
Estado de diaclasas	25
Presencia de agua	4
Factor de corrección	0
Valor RMR	51
Clase	III Aceptable

En la tabla #27, se muestran los valores obtenidos para la corrección del RMR y así poder obtener el valor final del SMR mediante la aplicación de la ecuación presentada al inicio de este capítulo. Los factores de corrección se evalúan mediante los rangos presentados en las tablas # 12 y 13. El factor F_1 se obtiene de sacar la relación que existe entre la dirección de buzamiento del talud y la dirección de buzamiento de las juntas ($\alpha_j - \alpha_s$), esta diferencia es de aproximadamente 10° . El factor F_2 se relaciona con el buzamiento de las juntas (β_j), el valor para este afloramiento es mayor de 45° . El valor F_3 viene dado por la diferencia entre el buzamiento de las juntas y el buzamiento del talud ($\beta_j - \beta_s$), esta diferencia da como resultado un ángulo de 0° aproximadamente. El último valor a ser evaluado es F_4 , el cual se relaciona con el método que se aplicó a la excavación del mismo, el cual fue realizado con maquinaria.

Tabla #27: Factores del método SMR para el afloramiento #1

<i>Factores</i>	<i>Valor Asignados</i>
Factor F1	0.85
Factor F2	1
Factor F3	-6
Factor F4	0
RMR	51
SMR	45.9

El resultado obtenido expresa que este talud es aceptable, lo cual puede afirmar que está dentro de los parámetros para un talud con un riesgo de inestabilidad medio, como se puede corroborar en la tabla #6, ya que el método SMR se rige por los mismos rangos del RMR para dar una conclusión a cerca de la estabilidad.

6.2.- Afloramiento # 2:



Figura #42: Panorámica del Afloramiento #2

Este afloramiento se presenta bastante replegado por lo cual se presume problemas de rotura compuesta, adicionalmente se presenta un plano de falla orientado en N72W20N por lo cual no se debe desestimar la posibilidad de que en este talud se presente una rotura plana.

El cálculo de los 6 factores del RMR viene dado por los resultados obtenidos del trabajo de campo mostrado en la tabla #17. Estos valores se basan en las pruebas realizadas a la roca para determinar su dureza, la cual para este afloramiento es bastante elevada. Se presentan dos diferentes direcciones de diaclasas con condiciones particulares cada una, como son la separación y el estado de las mismas, tomando para la determinación del factor el término más desfavorable; el parámetro referente al RQD depende de la formación y de las rocas presentes en el

afloramiento, para este afloramiento se presenta con un valor de 25%; no se observa presencia de agua.

En la tabla # 28 se presentan los valores obtenidos para la cuantificación RMR de este afloramiento:

Tabla #28: Parámetros del método RMR para el afloramiento #2

<i>Parámetros</i>	<i>Valor Asignados</i>
Resistencia de la roca	4
RQD	8
Separación de diaclasas	10
Estado de diaclasas	30
Presencia de agua	15
Factor de corrección	0
Valor RMR	67
Clase	II Buena

Los factores de corrección que se aplican a este afloramiento para obtener el valor del SMR se presentan en la tabla # 29; en donde los factores se determinaron mediante la aplicación de las tablas # 12 y 13. Para el afloramiento #2 el factor F_1 presenta un valor comprendido en el rango de 20° a 30° . El factor F_2 se determina mediante la utilización del valor de la rotura plana, el cual esta relacionado con el buzamiento de las juntas. El factor F_3 tiene como resultado un valor de -25 . El último parámetro (F_4) depende del método utilizado par la excavación, este valor por tratarse de una excavación con máquina es cero.

Tabla #29: Factores del método SMR para el afloramiento #2

<i>Factores</i>	<i>Valor Asignados</i>
Factor F1	0.4
Factor F2	1
Factor F3	-25
Factor F4	0
RMR	67
SMR	57

Con los resultados obtenidos de RMR y SMR este afloramiento posee una estabilidad aceptable (ver tabla #6), aunque se presenta replegado y con una falla visible; no se presumen problemas de inestabilidad que afecten al talud.

6.3.- Afloramiento # 3:



Figura # 43: Panorámica del Afloramiento #3

Es un afloramiento que está muy deformado debido a la gran cantidad de plegamientos que presenta. No es claro el tipo de rotura que

se pueda presentar en este talud, por lo antes expuesto se presume que la rotura que podría ocurrir es de tipo global.

En la tabla # 30 se presentan los valores del RMR para dicho afloramiento, la resistencia promedio de la roca es 500 Kp/cm^2 ; el valor del RQD por pertenecer a la misma Formación las Brisas y tener características similares en el material toma de nuevo el valor de 25%; el diaclasado en este afloramiento da como valores de frecuencia 3:1 y su estado es "muy rugoso" como se indicó en la tabla #18. No hay presencia de agua.

Tabla #30: Parámetros del método RMR para el afloramiento #3

<i>Parámetros</i>	<i>Valor Asignados</i>
Resistencia de la roca	7
RQD	8
Separación de diaclasas	10
Estado de diaclasas	30
Presencia de agua	15
Factor de corrección	0
Valor RMR	70
Clase	II Buena

En este afloramiento el factor F_1 es 0,85 debido a que la diferencia en el ángulo entre las direcciones del buzamiento del talud y las juntas es mayor de 5° , por otra parte, el valor de F_2 se encuentra en el rango mayor a 45° por lo cual le corresponde un valor de 1. Al factor F_3 se le asigna el valor de -6 por ser $(\beta_j - \beta_s)$ mayor de 10° . El último factor F_4 toma el valor de 0 por presentarse un corte con máquina en la pared del afloramiento.

En la tabla #31 se pueden observar la correcciones pertinentes que se deben hacer al valor RMR para obtener el valor SMR:

Tabla #31: Factores del método SMR para el afloramiento #3

<i>Factores</i>	<i>Valor Asignados</i>
Factor F1	0.85
Factor F2	1
Factor F3	-6
Factor F4	0
RMR	70
SMR	64.9

Como se observa, el valor SMR es alto, lo cual indica que la calidad de este talud es buena según lo presentado en la tabla #6, sin embargo no se debe descuidar pues se presenta la posibilidad de que se produzcan roturas planas y esto conlleve a que se presente la inestabilidad del mismo.

6.4.- Afloramiento # 4:



44-A



44-B

Figura #44: Panorámicas del Afloramiento #4

Este es un afloramiento que presenta un grado de complicación especial, ya que combina una cantidad de factores importantes como son: la unión entre las formaciones Las Brisas y Las Mercedes, visible desprendimiento de bloques con formas geométricas y tamaños muy bien definidos. Este talud presenta un tipo de falla por desprendimiento de masas, la cual puede llegar a combinarse con un proceso de vuelco.

Este afloramiento presenta una resistencia de roca muy alta, la cual se encuentra en el rango de 500 a 1000 Kp/cm², se presentan distintas direcciones de diaclasado con separaciones menores a los 20 cm presentándose ligeramente rugosas como se indicó en la tabla #19; el RQD en este tramo corresponde al rango de 25 a 50%. No se aprecia la existencia de agua.

En la tabla # 32 se presentan los valores obtenidos de los parámetros para la determinación del RMR:

Tabla #32: Parámetros del método RMR para el afloramiento #4

<i>Parámetros</i>	<i>Valor Asignados</i>
Resistencia de la roca	7
RQD	8
Separación de diaclasas	15
Estado de diaclasas	25
Presencia de agua	15
Factor de corrección	0
Valor RMR	70
Clase	II Buena

Al valor RMR presentado en la tabla #32, es preciso aplicarle 4 factores de corrección, estos valores son determinados a partir de los datos obtenidos del levantamiento de campo. El factor F_1 se encuentra

en el rango de 10° a 20°. El factor F_2 se encuentra en el rango de 30° a 35°. El factor F_3 viene dado por la relación $(\beta_j - \beta_s)$ la cual da como resultado 0°. Por último el factor F_4 toma el valor de 0 ya que se presenta la pared del talud bajo la aplicación de un corte con máquina. Una vez realizadas las correcciones necesarias al valor RMR, se obtiene el valor SMR, como se muestra en la tabla # 33:

Tabla #33: Factores del método SMR para el afloramiento #4

<i>Factores</i>	<i>Valor Asignados</i>
Factor F1	0.7
Factor F2	0.85
Factor F3	-25
Factor F4	0
RMR	70
SMR	55.125

Sobre este valor se puede concluir que dicho afloramiento presenta una calidad aceptable de estabilidad según lo establecido en la tabla #6, aunque es importante tener presente los problemas que el mismo tiene con el desprendimiento de bloques lo cual compromete considerablemente dicha estabilidad.

6.5.- Afloramiento # 5:



45-A



45-B

Figura #45: Panorámicas del Afloramiento #5

En este afloramiento las rocas se presentan masivas y muy fracturadas, se aprecian bloques desprendidos de formas regulares de aproximadamente 30 cm de diámetro, lo que lleva a pensar que el principal movimiento que hay es el desprendimiento de partes de la masa rocosa.

La valoración de los parámetros del RMR referente a este talud se puede observar en la tabla # 34; todos estos valores se refieren a lo obtenido en el trabajo de campo que se presentó en la tabla #19. Este afloramiento presenta un valor de resistencia de roca elevado y similar al del afloramiento #4. No hay presencia de agua en el talud; se presentan 4 direcciones de diaclasado muy rugosas y con separación promedio comprendido en el rango de 60 cm a 2 m. Se requiere realizar una corrección de -25 debido a que el afloramiento se presenta como normal.

Tabla #34: Parámetros del método RMR para el afloramiento #5

<i>Parámetros</i>	<i>Valor Asignados</i>
Resistencia de la roca	7
RQD	8
Separación de diaclasas	15
Estado de diaclasas	30
Presencia de agua	15
Factor de corrección	0
Valor RMR	75
Clase	II Buena

A este valor obtenido de RMR, se le practica las correcciones del método SMR, las cuales se presentan en la tabla # 35; estos valores se estiman mediante la utilización de las tablas presentadas en el capítulo

3. Estos factores vienen expresados por: el factor F_1 se encuentra en el rango menor a 5° , el F_2 en el rango mayor a 45° , por su lado F_3 toma como valor 0° , el último factor F_4 vale 0 por presentarse un corte con máquina. Todos estos factores se evalúan como se presentó en las tablas #12 y 13.

Tabla #35: Factores del método SMR para el afloramiento #5

<i>Factores</i>	<i>Valor Asignados</i>
Factor F1	1
Factor F2	1
Factor F3	-25
Factor F4	0
RMR	75
SMR	50

Aunque el resultado del método es aceptable, indicando un riesgo medio de inestabilidad (ver tabla #6), se encuentra latente el efecto del desprendimiento de los bloques, lo cual es un problema grave de estabilidad y riesgo para la vía.

6.6.- Afloramiento # 6:



Figura #46: Panorámica del Afloramiento #6

Este afloramiento se presenta muy replegado, con presencia de vetas de cuarzo, con un único plano de foliación, por lo cual es posible que pueda existir una rotura global.

En la tabla # 36 se pueden observar los valores del método de Bieniawski para la valoración RMR; los cuales vienen dados por el trabajo de campo presentado en la tabla #21, en el cual se determinó la resistencia de la roca encontrándose en un rango de 500 a 1000 Kp/cm², un valor de RQD de 27%, las diaclasas se encuentran muy separadas (> 2m) y se presentan muy rugosas. No se aprecia agua en el talud.

Tabla #36: Parámetros del método RMR para el afloramiento #6

<i>Parámetros</i>	<i>Valor Asignados</i>
Resistencia de la roca	7
RQD	8
Separación de diaclasas	20
Estado de diaclasas	30
Presencia de agua	15
Factor de corrección	0
Valor RMR	80
Clase	II Buena

Una vez hallado el valor RMR de Bieniawski se corrige mediante los factores del método SMR obteniendo como resultado los valores expresados en la tabla # 37; estos factores se hallan mediante lo observado en el trabajo de campo. El factor F_1 se encuentra en el rango menor de 5°. El factor F_2 se encuentra en el rango mayor a los 45°. El factor F_3 es aproximadamente de 0°. La pared del talud presenta un precorte por lo cual se le asigna el valor de 0 a F_4 .

Tabla #37: Factores del método SMR para el afloramiento #6

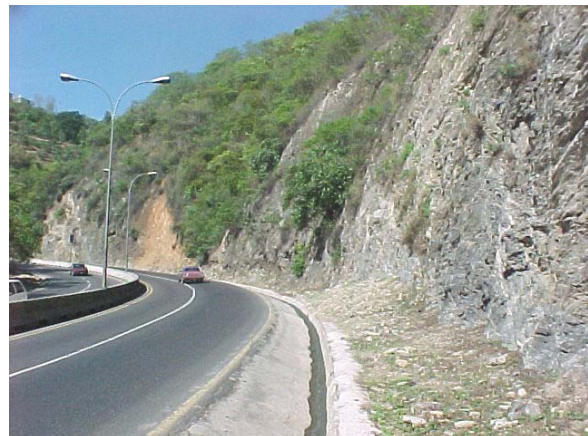
<i>Factores</i>	<i>Valor Asignados</i>
Factor F1	1
Factor F2	1
Factor F3	-25
Factor F4	0
RMR	80
SMR	55

Según lo indicado en la tabla #37 para el valor de SMR y haciendo referencia a lo indicado en la tabla #6, este afloramiento se presenta como aceptable, dando así la impresión de no presentar problemas de estabilidad.

6.7.- Afloramiento # 7:



47-A



47-B

Figura #47: Panorámicas del Afloramiento #7

El afloramiento se encuentra muy replegado con abundantes vetas de cuarzo, no presenta problemas de desprendimiento de bloques pero por su plano de foliación es posible que se presente una rotura global.

En el trabajo de campo se determinó la resistencia de la roca, la cual se presenta como un material de alta resistencia comprendiéndose en el rango de 500 a 1000 Kp/cm², las diaclasas se presentan muy separadas y su estado es muy rugoso y discontinuo. No se aprecia presencia de agua en las juntas del talud. Por el resultado obtenido en RMR, este afloramiento tiene una categoría de bueno conforme a lo presentado en la tabla #6. Los datos de campo de este afloramiento se detallan en la tabla # 22. Los Valores RMR de este afloramiento se presentan en la tabla # 38:

Tabla #38: Parámetros del método RMR para el afloramiento #7

<i>Parámetros</i>	<i>Valor Asignados</i>
Resistencia de la roca	7
RQD	8
Separación de diaclasas	20
Estado de diaclasas	30
Presencia de agua	15
Factor de corrección	0
Valor RMR	80
Clase	II Buena

A este valor RMR es necesario realizarle las correcciones para así poder hallar el SMR. El primer factor F_1 se presenta en el rango menor de 5° , el segundo factor F_2 se presenta en el rango de ángulos mayores de 45° , por su parte F_3 toma como valor el ángulo de 0° , el último factor F_4 depende directamente de la forma en que ha sido tratado el talud, este se presenta como un corte con máquina. Estos valores se observan reflejados en la tabla # 39:

Tabla #39: Factores del método SMR para el afloramiento #7

<i>Factores</i>	<i>Valor Asignados</i>
Factor F1	1
Factor F2	1
Factor F3	-25
Factor F4	0
RMR	80
SMR	55

Al obtener un valor de SMR de 55 y según lo indicado en la tabla #6, este afloramiento es aceptable y su estabilidad es muy buena. Este valor aunque es alto, sería conveniente seguir realizando un monitoreo de la estabilidad.

6.8.- Afloramiento # 8:



48-A



48-B

Figura #48: Panorámicas del Afloramiento #8

En este talud se presentan gran cantidad de vetas de cuarzo algunas de ellas paralelas al plano de foliación; hacia el final del afloramiento se observa que el plano de foliación cambia de dirección. Se pueden ver en algunas zonas bloques desprendidos, los cuales deslizan hacia la carretera. No se debe despreciar la posibilidad de una rotura global aunque este no se presente muy diaclasado.

En este afloramiento, como ya se ha observado en afloramientos anteriores la resistencia de la roca es alta, encontrándose alrededor de los 400 Kp/cm^2 , se presentan dos direcciones de diaclasado con una separación aproximada de 2:1, estas se presentan ligeramente rugosas. No se aprecia que exista agua en las juntas de este afloramiento, todos estos detalles se presentan en la tabla #23. A continuación, en la tabla # 40 se muestran los valores del RMR para este afloramiento:

Tabla #40: Parámetros del método RMR para el afloramiento #8

<i>Parámetros</i>	<i>Valor Asignados</i>
Resistencia de la roca	4
RQD	8
Separación de diaclasas	10
Estado de diaclasas	20
Presencia de agua	15
Factor de corrección	0
Valor RMR	57
Clase	III Aceptable

En la tabla # 41 se presentan los cuatro factores de corrección necesarios para hallar el valor del SMR a partir del RMR. Estos factores se hallan de los valores obtenidos en campo, el factor F_1 se presenta en el rango de ángulos de 10° a 20° , por su parte F_2 está en el rango de

ángulos mayores a los 45°, el factor F_3 presenta su relación con la rotura plana en el rango de 0° a 10°. El último factor F_4 el cual se presenta en función de un corte con máquina.

Tabla #41: Factores del método SMR para el afloramiento #8

<i>Factores</i>	<i>Valor Asignados</i>
Factor F1	0.70
Factor F2	1
Factor F3	-6
Factor F4	0
RMR	57
SMR	52.8

La estabilidad de este afloramiento se puede considerar como buena (ver tabla #6), por lo cual su estabilidad se estima como regular. Sin embargo no se debe descuidar ya que se observaron bloques que deslizan hacia la vía.

6.9.- Afloramiento # 9:



Figura #49: Panorámica del Afloramiento #9

Este afloramiento se presenta muy diaclasado, mostrando 5 tipos distintos, adicionalmente se evidencian bloques de rocas rotados y desprendidos, lo cual puede indicar que se produjo deslizamiento combinado con desprendimiento y rotura global.

En la tabla #24 se puede observar que la resistencia de las rocas presentes en este afloramiento se encuentra en el rango de los 400 Kp/cm², se presenta muy diaclasado, la cuales están muy abiertas y con relleno, su separación promedio es de 20 cm. El valor del RQD para este afloramiento es del 27%. No se aprecia que exista agua en las juntas del talud. En la tabla #42, se pueden observar los valores obtenidos para el RMR de este afloramiento:

Tabla #42: Parámetros del método RMR para el afloramiento #9

<i>Parámetros</i>	<i>Valor Asignados</i>
Resistencia de la roca	4
RQD	8
Separación de diaclasas	8
Estado de diaclasas	10
Presencia de agua	15
Factor de corrección	0
Valor RMR	45
Clase	III Aceptable

Los factores de corrección necesarios para la valoración SMR se pueden observar en la tabla # 43, donde se puede decir que el factor F_1 están en el rango menor a 5°, por su parte el factor F_2 se encuentra en el rango de 45°. El factor F_3 , relacionado con los efectos de la rotura plana, tiene un valor de -6, el último factor de corrección (F_4) se presenta como un corte con máquina por lo cual su valor será de 0.

Tabla #43: Factores del método SMR para el afloramiento #9

<i>Factores</i>	<i>Valor Asignados</i>
Factor F1	1
Factor F2	1
Factor F3	-6
Factor F4	0
RMR	45
SMR	39

De los resultados obtenidos de ambas valoraciones (ver tabla #43), la estabilidad de este afloramiento se puede considerar como deficiente (ver tabla #6), ya que los valores para ambos métodos son muy bajos, eso aunado a que se presenta muy diaclasado, con una combinación de movimientos de la masa rocosa y con una posible rotura global lleva a pensar en una alta inestabilidad del mismo.

6.10.- Afloramiento # 10:



50-A



50-B

Figura #50: Panorámicas del Afloramiento #10

Este afloramiento, se encuentra muy diaclasado y fracturado, la presencia de agua fluyendo del talud es constante y abundante, existe la posibilidad del desprendimiento de bloques y de la rotura global.

En la tabla #25 se muestran los datos de campo para este afloramiento. La resistencia de la roca es aproximadamente de 300 Kp/cm², lo cual es algo más baja que la del resto de los afloramientos. El valor para el RQD de este afloramiento es del 27%. Se presentan varias direcciones de planos de foliación y de diaclasado, estos últimos se ven como un espejo de falla y de separación de aproximadamente 50 cm. Los valores obtenidos para el RMR de este talud se ven reflejados en la tabla # 44:

Tabla #44: Parámetros del método RMR para el afloramiento #10

<i>Parámetros</i>	<i>Valor Asignados</i>
Resistencia de la roca	4
RQD	8
Separación de diaclasas	10
Estado de diaclasas	10
Presencia de agua	0
Factor de corrección	0
Valor RMR	32
Clase	IV Mediocre

Los factores de corrección realizados a este afloramiento se detallan a continuación: F_1 toma el valor de 0,7 por encontrarse la relación entre las direcciones de buzamiento entre el talud y las juntas en el rango de 10° a 20°; al F_2 se le asigna el valor de 1 por encontrarse el buzamiento del talud en el rango mayores a 45°, por su parte F_3 presenta un valor de -6 por encontrarse el factor de rotura plana en 0°;

para el F_4 , se le asigna el valor de 0 ya que la pared del talud fue cortada con máquina. El valores del SMR una vez hechas las correcciones al RMR y de sus parámetros se pueden ver en la tabla # 45:

Tabla #45: Factores del método SMR para el afloramiento # 10

<i>Factores</i>	<i>Valor Asignados</i>
Factor F1	0.7
Factor F2	1
Factor F3	-6
Factor F4	0
RMR	32
SMR	27.8

Los valores obtenidos de RMR y SMR son poco alentadores, ya que son muy bajos, la estabilidad de este talud esta muy comprometida, la existencia de bloques desprendidos, aunada a la presencia de agua constante no colabora en ningún momento con la estabilidad. Este talud es de alto riesgo por lo cual debe ser observado constantemente para evitar problemas mayores en la vía.

Luego de realizar el estudio completo de campo se seleccionaron diez afloramientos de importancia para su análisis. La selección de estos afloramientos se basó en la composición de la roca, los planos de foliación, los diaclasados que presentan, la existencia de agua, la presencia clara de movimientos de bloques tales como desprendimientos, deslizamiento y en la mayoría de los casos la rotura global.

Del análisis de los datos obtenidos para la valoración SMR calculada a cada uno de los taludes podemos concluir que:

- * El afloramiento identificado como 1 ubicado en la progresiva 0+125, tiene como principal inconveniente la presencia de viviendas en la parte alta del mismo que afecta su estabilidad, ya que se aprecia agua fluyendo en la pared del talud. Sin embargo, el valor SMR resultante del análisis es de 56 lo cual lo cataloga como aceptable según lo establecido en el método; a pesar de que por lo apreciado en el trabajo de campo, se presume pueda ocurrir una falla en el mismo en mediano plazo.
- * El afloramiento 2, ubicado en la progresiva 0+800, arrojó un valor SMR de 57, por lo cual es un talud aceptable con un nivel de inestabilidad baja. Este muy a pesar de su valor SMR es un afloramiento de cuidado por presentar una falla que pueda inducir a una rotura en cuña.
- * El afloramiento 3, ubicado en la progresiva 1+375, tiene una valoración SMR de 64.9, por lo cual es de buena calidad y de riesgo de inestabilidad bajo. Lo cual corrobora lo apreciado durante el trabajo de campo ya que durante su estudio siempre se comportó estable.

- * El afloramiento 4, ubicado en la progresiva 2+800, se presenta como un talud de condiciones especiales por encontrarse en la unión de las Formaciones Las Brisas y Las Mercedes. El valor de SMR para este talud es de 55.125 por lo cual se le da una calificación al mismo de aceptable. Del trabajo realizado en campo se pudo apreciar bloques desprendidos provenientes de una rotura del tipo cuña, que junto con el valor SRM obtenido teóricamente corrobora la calidad media del talud.

- * El afloramiento 5, se presenta en la progresiva 3+500. El valor de SMR de este talud es 50 por lo cual su calidad es aceptable y su estabilidad es media. En el trabajo de campo se apreció la posibilidad de que ocurra una rotura en cuña; lo que confirma la estabilidad media del macizo para el momento de la realización de la investigación.

- * El afloramiento 6, ubicado en la progresiva 4+000. El valor SMR de este talud es 55 por lo cual se puede calificar como aceptable. Como se observó en campo, es un afloramiento muy replegado con abundantes vetas de cuarzo donde no se aprecia ninguna familia de diaclasas, lo cual no permite definir ningún tipo de rotura que pudiese ocurrir en el futuro.

- * El afloramiento 7, de progresiva 4+625. El valor SMR de este talud es 55 por lo cual la calidad es aceptable, se muestra al igual que el afloramiento 6, como un talud que no presenta a simple vista un tipo de movimiento aparente.

- * El afloramiento 8, está ubicado en la progresiva 5+125. El valor SMR es 52.8, lo que lo ubica como calidad aceptable, por lo cual se puede considerar que la estabilidad del mismo es regular. Son apreciables las

vetas de calcita y los bloques desprendidos, se considera que existe roturas en cuña en pequeños tramos del mismo. Lo que puede corroborar que la calidad del mismo es aceptable.

- * El afloramiento 9, se encuentra ubicado en la progresiva 6+375. El valor SMR es de 39 el cual da como resultado una calidad aceptable aunque baja. La estabilidad de este afloramiento es baja, ya que se puede observar gran cantidad de bloques desprendidos en la parte baja del talud, los cuales se presume sean debido a la existencia de roturas en cuña.

- * El último afloramiento seleccionado, está ubicado en la progresiva 11+250. El valor SMR es de 27.8, lo cual indica que su calidad es mediocre. Este afloramiento se presenta como inestable; lo que es reforzado con lo observado en el trabajo de campo, ya que la abundancia de agua y los bloques desprendidos limitan su cohesión. Este afloramiento presentó una falla durante el desarrollo de este trabajo, que se presume pudo provenir de una rotura del tipo cuña facilitada por la abundancia de agua.

Es recomendable que en los afloramientos 1 y 9 se realicen estudios para el sostenimiento de los mismos, ya que del trabajo de campo preliminar se obtuvieron valores SMR muy bajos y se puede presumir que fallen en un periodo de tiempo medio. Estos estudios pueden venir acompañados por investigaciones de factibilidad de riesgo que complementen los valores obtenidos en el trabajo de campo y del análisis del SMR.

En los afloramientos 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 se recomienda que, aunque los valores de SMR se encuentren en el rango de aceptable y bueno, no se

descuiden y realizar trabajos de mantenimiento que prevengan una posible falla; si la misma llegase a ocurrir evitar al máximo las pérdidas tanto económicas como humanas.

En el afloramiento 10, como ya se produjo la falla, se recomienda que el trabajo a realizarse para estabilizar el macizo tome en cuenta el origen del agua que se encontraba fluyendo por la pared del mismo; de manera de evitar que dicho trabajo de sostenimiento realizado al talud colapse.