

Evaluación del Riesgo en Desprendimiento y Caracterización Geomecánica de los Taludes Rocosos en el Sector Quebrada del Diablo, Estado Mérida

Bongiorno F.*; Angulo N.*; Belandria N.*

**Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Grupo de Geología Aplicada Núcleo Pedro Rincón Gutiérrez, La Hechicera, Mérida -5101 – Venezuela
e-mail: { frabon; nbelandria }@ula.ve*

Resumen: El desprendimiento de rocas constituye un alto riesgo con la posibilidad de afectar las vidas o bienes materiales, es por ello, se deben prevenir para mitigar las posibles afectaciones. La presente investigación tiene como objetivo general, evaluar el desprendimiento de rocas y la caracterización geomecánica de taludes rocosos en el sector quebrada del Diablo en el municipio Alberto Adriani perteneciente al estado Mérida. La metodología empleada consiste en las siguientes técnicas: evaluación del riesgo potencial de desprendimiento de rocas [9], las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski, Hoek y Brown y Romana. Dichas técnicas se emplearon en dos taludes ubicados en la zona objeto de estudio. A través de la implementación de estas metodologías y técnicas se determinó que las causas del riesgo potencial de desprendimiento de roca en los taludes A y B, se debe a la influencia principal de la Falla Quebrada del Diablo con movimiento normal, presente entre ambos taludes, siendo éste un motivo primordial en el desprendimiento.

Palabras claves: Geomecánico, Desprendimiento, Talud, Riesgo, Rocoso.

Abstract: Rockslides represent a high risk with the possibility of affecting lives and material goods; therefore, it should be avoided for mitigating the possible effects. The general objective of this research is to evaluate the rockslide and geomechanical characterization of rock slopes in the Quebrada del Diablo sector, Alberto Adriani Municipality, Merida state. The methodology used consists of the following techniques: potential risk evaluation of rockslide [9], the geomechanical classification of Bieniawski, Hoek and Brown and Romana. These techniques were used in two slopes located in the studied area. By implementing these methodologies and techniques it was determined that the causes of the potential risk of rock detachment on the slopes A and B, is mainly due to the influence of the Quebrada del Diablo fault with normal movement present between the two slopes, being this a primary reason for the detachment.

Keywords: Geomechanics, Detachment, Slope, Risk, Rocky

1. INTRODUCCIÓN

Los riesgos naturales son la principal causa que afectan las zonas habitadas, es por ello, que se deben conocer la génesis de estos riesgos debida a que en el momento de proyectar un desarrollo social, este se adapte a los mismos.

Actualmente el sector quebrada del Diablo, perteneciente al municipio Alberto Adriani del estado Mérida, se encuentra en una situación de riesgo geológico, debido a desprendimientos de rocas, que son provocados por la cinemática de las discontinuidades predominantes, generándose deslizamientos debido al diaclasamiento y fallamiento del macizo, por el cual el agua [17] penetra en esas fisuras originando empuje de bloques que provocan caída o desprendimientos de los taludes generados producto de la carretera. Partiendo de la situación descrita, la presente investigación propone realizar una evaluación del riesgo potencial de desprendimiento de

rocas y la utilización de las clasificaciones geomecánicas, para el estudio de la estabilidad de los taludes, ubicados en la zona objeto de estudio. Esto se lleva a cabo a través de un análisis geotécnico que consiste en, diagnosticar factores que originan el desprendimiento y luego determinar las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos, tales como: ángulo de fricción interna y cohesión, a partir de la clase o calidad de los macizos rocosos que se obtienen a través de las clasificaciones geomecánicas de Bieniawski [2], Romana [14], y Hoek y Brown [16].

Asimismo, se realiza la evaluación del riesgo potencial de desprendimiento de rocas [9], la cual permite determinar los riesgos a los que están expuestos los taludes en relación con la autopista estudiada. Esta metodología integra las condiciones geológicas con el eje de la vía. Con esto, se pretende dar el enfoque preventivo en la estabilidad de los taludes, a fin de evitar deslizamientos o desprendimientos que obstruyan la vía del sector quebrada del Diablo.

2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el occidente de Venezuela, específicamente al sur del flanco andino. La zona en particular del estudio se muestra en la Fig. 1, se ubica en el sector quebrada del Diablo, perteneciente al municipio Alberto Adriáni, situada al borde de la carretera Panamericana o Local 008, vía que es nervio central de la zona. Se encuentra entre las siguientes coordenadas: Límite 1: UTM: N 950509, E 212501, Límite 2: UTM: N 950470, E 212501

3. GEOLOGÍA LOCAL Y DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

3.1 Formación Isnotú

Esta formación es de edad Terciario del mioceno. Los elementos más destacados son capas de conglomerados macizos, de hasta 12 metros de espesor, que forman 25 % de la unidad; en la mitad superior los conglomerados son mal escogidos, mal cementados y más gruesos. La mayor parte de la unidad consiste de arcillas macizas de color gris verdoso oscuro que grada localmente a pardo y negro, generalmente arenosas, y localmente carbonáceas y fosilíferas (restos de plantas). También se presentan areniscas mal cementadas y mal escogidas, y limolitas en estratos delgados a macizas, con mucha intergradación lateral entre los cuatro tipos de rocas [7].

3.2 Formación Betijoque

Esta formación comprende mioceno tardío-plioceno. La unidad aflora a lo largo del flanco occidental de Los Andes, desde los estados Trujillo hasta Táchira.

La unidad superior se caracteriza por capas muy macizas de conglomerados gruesos, prácticamente ausentes en la inferior. El rango formacional actual de Betijoque convierte estas dos subdivisiones en miembros. La formación Betijoque es de ambiente continental, de origen fluvial con abanicos y planicies aluviales, corresponde a la facies de la molasa.

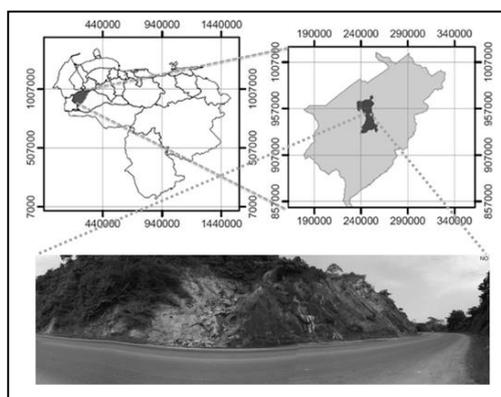


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Es importante mencionar que el sector quebrada del Diablo, zona objeto de estudio de la presente investigación, está

constituido por la formación Betijoque, aspecto éste fundamental que permitió conocer en detalle la litología y otros rasgos geológicos al cual pertenecen los taludes estudiados [7].

3.3 Depósito del cuaternario

La CVET [7], menciona que este periodo está representado por depósitos aluviales (gravas, arenas y arcillas) que se presentan de manera discordante sobre la Formación Betijoque, constituidos en su mayor parte por terrazas y aluviones recientes.

En cuanto a las terrazas, éstas se encuentran depositadas particularmente por los cursos de agua de recorrido longitudinal, más alargadas y estrechas que los abanicos, con valores de pendiente longitudinales y transversales menores. CVET [7] señala que algunos sedimentos aluviales de formaciones consideradas como antiguas, entre ellos la Formación Betijoque, se asemejan mucho a los sedimentos de los bancos aluviales del Pleistoceno superior y bien pudieran corresponder a condiciones morfológicas de glaciaciones más antiguas durante el Pleistoceno y Plioceno superior. Estas terrazas se forman en su mayor parte en los piedemontes de la Cordillera de Los Andes, y se hallan constituidas por material pobremente estratificado y mal seleccionado. Presentan una litología caracterizada por la presencia de gravas, arenas y arcillas.

4. METODOLOGÍA

Para este estudio se ha generado un esquema metodológico que enmarca diferentes etapas: primeramente se recopila toda la información documental enfocada en las temáticas de la investigación, agrupando la información útil de trabajos previos [4-6], referentes al área de estudio y a los tópicos de interés. Además, se adquieren fotografías aéreas y mapas tanto geológicos como topográficos enmarcados en la zona estudiada e información de la geología de [3, 10, 13]. Con respecto a la toma de datos, los mismos fueron recolectados directamente de la zona de estudio y luego se procede a realizar los ensayos de laboratorio. Para cumplir con los objetivos propuestos en un principio de la investigación, en la etapa campo se determinan las causas que originan el desprendimiento de rocas y la desestabilización de taludes en el sector quebrada del Diablo.

El análisis fotogeológico se realiza a partir de las fotografías números 117 y 118, correspondiente a la misión 010493, las cuales cuentan con una escala 1:60.000. Posteriormente se caracteriza el macizo a través de las clasificaciones geomecánicas siguiendo el procedimiento de [8, 11]. La metodología implementada para determinar el riesgo potencial de desprendimiento de rocas en el área de estudio es la propuesta por [1].

4.1 Metodología de Fonseca, Raimat y Caba

a) Altura del Talud (AT): La tabla 1 muestra la medida de la altura de los taludes. La altura se mide con la ayuda del

clinómetro de la brújula de Brunton y relaciones trigonométricas.

b) Efectividad de la cuneta de intercepción (EC): La tabla 2 muestra el puntaje de efectividad de la cuneta. Para ello, se mide la altura e inclinación de ambos taludes; ancho, profundidad y forma de la cuneta.

c) Riesgo medio por vehículo (RMV): En esta fase se utiliza la ecuación 1, basada en la longitud del recorrido IMD (intensidad media diaria) y el límite establecido para el tramo. La tabla 3 muestra los resultados del riesgo.

$$RMV = \frac{IMD \left[\frac{veh}{día} \right] \times longitud\ de\ recorrido [km] \times 100}{Límite\ de\ velocidad\ establecido \left[\frac{km}{h} \right] \times [24h/día]} \quad (1)$$

IMD: Intensidad media diaria

RMV: Riesgo medio por vehículo

d) Distancia de visibilidad (DV): En este punto, se mide la distancia de visibilidad en relación al tramo con dirección Peaje (El Vigía) – Mérida, a través de la ecuación 2. La tabla 4 muestra los porcentajes de visibilidad.

$$\% \text{ Visibilidad} = \frac{longitud\ del\ tramo (m)}{Dis\ tan\ cia\ de\ visibilidad (m)} \times 100 \quad (2)$$

Tabla 1. Puntaje para altura del talud

Puntos	Altura de talud (m)
5	7.5
10	15
30	25
80	30

Tabla 2. Puntaje para efectividad de la cuneta

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

Tabla 3. Puntaje para riesgo medio por vehículo

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

Tabla 4. Puntaje para % visibilidad

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

e) Ancho de la calzada (AC): Para medir el ancho de la calzada se realiza una medida perpendicular a la calzada de la

zona de estudio. La tabla 5 muestra el puntaje para el ancho de la calzada.

f) Características geológicas (CG): para esta etapa se observan directamente las características geológicas del área de estudio. Los dos casos propuestos por esta metodología: 1) las condiciones estructurales, y 2) la diferencia por los grados de erosión, observados en la tabla 6.

g) Tamaño de bloque o volumen de material desprendido (TB): En esta fase se mide el tamaño del bloque. Los puntajes se observan en la tabla 7.

h) Condiciones climáticas y presencia de agua (CC): En esta parte del procedimiento se estudia la presencia de agua en algunas partes de los macizos rocosos objetos de análisis. En la tabla 8 se observan los puntajes asignados.

i) Historia de los desprendimientos (HD): Este punto requiere una recopilación de información de los desprendimientos de las rocas a lo largo del tramo. La tabla 9 muestra las observaciones a considerar.

j) Análisis del riesgo de desprendimiento en carreteras: Para calcular el análisis del riesgo de desprendimiento de carretera, se emplea la ecuación 3, que incluye todos los parámetros evaluados anteriormente y se evalúa el índice en la tabla 10.

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

Tabla 5. Puntaje para ancho de la calzada

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

Tabla 6. Puntaje para la diferencia de los grados de erosión

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

Tabla 7. Puntaje para tamaño de bloque

Puntos	Tamaño del bloque (m)
5	0.3
10	0.6
30	1.0
80	1.2

Tabla 8. Puntaje para influencia del clima y agua en el talud

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

Tabla 9. Puntaje para historia de los desprendimientos

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

Tabla 10. Análisis del riesgo de desprendimiento en carreteras

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

Ambos taludes están constituidos por dos familias de discontinuidades, las cuales se estudia en detalle por técnicas de proyecciones estereográficas [15].

4.2 Clasificación de Bieniawski (RMR)

a) Resistencia de la matriz rocosa: se determina la resistencia de la matriz rocosa empleando los índices de campo, los cuales sirven como primera aproximación del valor de la resistencia [8], la cual permite establecer una estimación cuantitativa del rango de resistencia en roca en función del número de golpes con la piqueta del geólogo.

b) Cálculo del RQD: En este parámetro determina el grado de fracturación del macizo rocoso. Para esto es necesario, primero, tomar el número de familias de diaclasas de los taludes y separación de las mismas. Para la obtención del RQD, se utiliza la metodología explicada en [1]

c) Separación de las discontinuidades: A partir de las mediciones realizadas en campo, se calcula la separación de

la discontinuidad por familia de diaclasas por una longitud determinada.

d) Condiciones de las discontinuidades: en este punto se expresa cada una de las características de las familias de diaclasas de cada Talud.

- Abertura de las discontinuidades: medidas de abertura para cada familia de discontinuidades tomando los valores medios más representativos de cada una de ellas.
- Continuidad o persistencia: se procede a medir la continuidad de las discontinuidades de un área seleccionada para cada talud.
- Rugosidad de las discontinuidades: mediante contacto directo sobre los planos de discontinuidad realizada en la etapa de campo, se mide el tipo de rugosidad presente en ambos taludes.
- Relleno de las discontinuidades: se observa la cantidad de relleno presente entre las discontinuidades de cada talud estudiado.
- Alteración de discontinuidades: tiene por finalidad a través de la observación directa en campo, precisar el grado de meteorización encontrando en cada uno de los taludes, específicamente en las discontinuidades.

e) Presencia de agua: se estima de manera apreciativa, las posibles filtraciones de agua que se encuentra en cada familia de discontinuidades para cada talud.

f) Corrección por orientación de las discontinuidades: partiendo de las direcciones de rumbos y buzamientos hechas en cada talud, y con la ayuda de las proyecciones estereográficas, se obtienen las direcciones de buzamientos medios por cada familia.

Cabe destacar que para la obtención del RMR básico es necesario sumar los cinco primeros parámetros y posteriormente se le resta el parámetro de la corrección por orientación de las discontinuidades [11, 2].

4.3 Clasificación de Hoek y Brown (GSI)

La metodología de Hoek y Brown (GSI) modificada por [16], permite la evaluación del macizo rocoso, considerándose para esto, tres parámetros de la metodología de Bieniawski (rugosidad, meteorización y relleno) y el parámetro J_v (número de discontinuidades por metro cúbico) y representa el valor de la estructura.

4.4 Clasificación de Romana (SMR)

Por medio de esta metodología propuesta por [14] se evalúa la estabilidad de los taludes, considerando en primer lugar el tipo de rotura, el cual puede ser plana, cuña o vuelo, teniendo

en cuenta como base la clasificación de del RMR básico de Bieniawski a la cual se le resta la corrección de cuatro factores de ajuste que depende del paralelismo de la discontinuidad y del talud, del buzamiento de la discontinuidad, de la relación entre el buzamiento de la discontinuidad y del talud y por último un factor de ajuste que depende del método de excavación, de esta manera se evalúa empíricamente la estabilidad de los taludes.

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A partir de la inspección visual de campo se pueden observar las siguientes características:

- Los taludes A y B están litológicamente constituidos por areniscas de grano medio pertenecientes a la Formación Betijoque.
- En el medio de los dos taludes se encuentra un conjunto de materiales rocosos, de manera desordenada, de tamaño heterométrico y difícil acceso.
- De igual modo, se puede observar una pequeña hendidura que contiene agua intermitente entre ambos taludes estudiados.

En el análisis fotogeológico se observa la existencia de facetas triangulares, siendo éstas un parámetro geomorfológico esencial para evidenciar la existencia de una falla geológica.

5.1 Análisis fotogeológico

A partir de las fotografías aéreas correspondientes a la zona de estudio se obtiene lo siguiente:

En cuanto a los rasgos antrópicos en la zona de estudio, se observan carreteras ubicadas al margen de una zona montañosa, Mesa Bolívar – La Palmita – El Vigía, y paralela al colector principal del sistema de drenaje río Chama. Con respecto al relieve, se observa de manera general, que es marcadamente montañoso, por lo cual presenta pendientes inclinadas y una topografía irregular, siendo esto típico del sistema montañoso de la cordillera de Los Andes. Es importante señalar que este relieve en la zona de estudio, se caracteriza por ser medianamente suave. Por otra parte, los cambios en el relieve se observan a través de la delimitación de los posibles contactos formacionales, teniéndose un relieve de carácter alto a medianamente suave. En relación a las geoformas, se detalla una corona de deslizamiento muy cerca de una falla geológica, producto de procesos de denudación, aunado a posibles desplazamientos del material rocoso presente en el área de estudio.

Abarcando la tectónica del área, se puede decir que existen bloques levantados y corridos, se asienta en el modelo general de fallamiento de Los Andes, que obedece a dos (2) sistemas preferenciales: uno de fallas paralelas a la cordillera de carácter dominante y rumbo noreste-suroeste (NE-SO) y

otro sistema de fallas oblicuas a las anteriores con un ángulo cercano a los 30° que se observan en las fotografías aéreas.

Seguidamente se traza una falla, la cual atraviesa el macizo rocoso objeto de estudio, debido a que se observan facetas triangulares y drenajes, siendo esto característica esencial para determinar la presencia de esta falla, la cual es producto de la tectónica del área de estudio, ejerciendo un control sobre este accidente geológico.

La topografía y drenaje se reflejan en la Fig. 2, marcando dos patrones de drenajes, el rectangular no tan marcado, y patrones paralelos en la zona de alta pendiente.

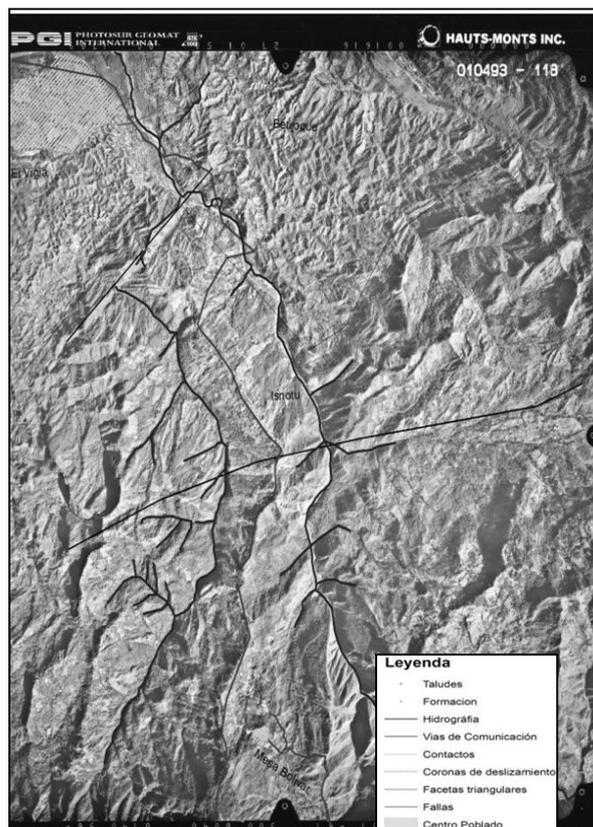


Figura 2. Fotografía aérea editada [15]

Con respecto al patrón rectangular se determina un paralelismo de sus afluentes principales con ángulos rectos y conexiones cortas entre los afluentes. Es por ello, que esta zona específica cumple con un esquema más regular, no hay paralelismo perfecto, no es necesaria la presencia de tributarios menores, y si existen, generalmente son cortos, se presenta una uniformidad entre los ángulos generados (90°). De igual manera, el patrón de drenaje paralelo, se identifica por la presencia de canales paralelos, los cuales tienen una dirección definida por la pendiente regional del terreno. Se debe tener presente que cuando mayor sea la pendiente en una dirección, mayor y más paralelos serán los canales.

En el caso de la litología, el área está constituida por las Formaciones Isnotú, Betijoque, y depósitos del cuaternario,

las cuales son delimitadas a través de un contacto formacional. Este fue corroborado con la ayuda del mapa geológico.

En cuanto a las tonalidades y texturas, se observan que van desde un color gris claro a un gris medianamente oscuro, los cuales representan cambios en la litología por estar directamente asociados al material rocoso presente.

5.2 Resultados de la clasificación de Fonseca, Raïmat y Caba [9]

En la tabla 11 se muestran los valores obtenidos de cada parámetro de esta metodología. Cumpliendo con uno de los objetivos propuesto en un principio de la investigación, el cual es evaluar el riesgo potencial de desprendimiento de roca, se puede puntualizar lo siguiente: se determina que el riesgo potencial de desprendimiento de roca en carretera, específicamente del Talud A es “Poco Peligrosa” mientras en el Talud B, dicho riesgo se categoriza como “Peligrosa”. Asimismo, es importante destacar que estos índices, permiten valorar la prioridad de actuación, las cuales son “Muy baja” para el Talud A; y “Alta” para el Talud B.

5.3 Resultados de la clasificación de Bieniawski (RMR)

En la tabla 12, se muestran los resultados obtenidos de los parámetros correspondientes a la clasificación del macizo rocoso. Para el talud A mostrado en la Fig. 3, las discontinuidades se encuentran en dirección perpendicular al eje de la obra. Además, cabe agregar que, como están en excavación con buzamiento y tienen un ángulo de buzamiento medio de 66° y 36° para cada familia respectivamente, el parámetro de “orientación de discontinuidades” se encuentra como “favorable”.

En el talud B mostrado en la Fig. 4, para determinar la orientación de las discontinuidades se siguen los mismos pasos que en el talud A. Una vez obtenidos en campo las direcciones de rumbo y buzamiento de las discontinuidades, estas se llevan a las proyecciones estereográficas, recolectando direcciones de rumbo y buzamiento medios. Una de las discontinuidades se encuentra perpendicular al eje de la obra y la otra paralela con buzamiento de 36° y 30° el parámetro de “orientación de discontinuidades” se encuentra como “medio”.



Figura 3. Afloramiento del talud A

Tabla 11. Parámetros según (Fonseca, Raïmat y Caba, 2010).

Parámetro	Talud A	Talud B
altura del talud	10	5
efectividad de la cuneta de interceptación	30	30
riesgo medio por vehículo	80	80
distancia de visibilidad	80	80
ancho de la calzada	10	10
características geológicas (diferencia de los grados de erosión)	30	80
tamaño del bloque o volumen del material desprendido	30	80
condiciones climáticas y presencia de agua	10	10
historia de los desprendimientos	30	30
análisis del riesgo de desprendimiento en carreteras	poco peligroso	peligroso
prioridad de actuación	muy baja	alta

Tabla 12. Valores de los parámetros según Bieniawski.

Parámetros	Talud A	Talud B
Resistencia de la matriz rocosa	7	4
RQD	17	17
Separación	8	8
Abertura	5	6
Continuidad	4	4
Rugosidad	5	5
Relleno	6	6
Alteración	3	1
Presencia de agua	10	10
Corrección por orientación	-5	-25

Tabla 13. Resultados del índice RMR.

Talud	RMR	Calidad
A	60	Media a buena
B	36	Media



Figura 4. Afloramiento del talud B

Para el talud A, la tabla 13 muestra una calidad de “media a buena”, ya que el valor es de 60 para el índice RMR, otorgándosele una clase tipo III, y a su vez, esta calidad se ubica con una cohesión entre 0.2 y 0.3 MPa y un ángulo de fricción interna categorizado entre 25° y 35° .

En cuanto al talud B, la tabla 13 muestra que el índice de RMR es de 36, evaluándose según el procedimiento de Bieniawski (1989), con una calidad “media”, una cohesión de 0.2 y 0.3 MPa y un ángulo de fricción interna ubicado entre 25° - 35° .

Relacionando las características vistas en campo de ambos taludes, se puede decir que el talud A tiene mayor resistencia

con respecto al talud B, debido a que este último tiene un mayor grado de meteorización, lo que aumenta su porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia [11]. De lo citado se desprende que la meteorización al ser un proceso de desintegración y descomposición de la roca en la superficie influye directamente en la resistencia del macizo rocoso.

Es por esto, como señala Salcedo [15] que las rocas van perdiendo sus características originales hasta un punto donde su comportamiento geomecánico se hace independiente de la orientación de las discontinuidades.

Tabla 14. Datos por calcular el GSI.

Talud	Rr	Rw	Rf	Jv
A	6	3	6	12
B	6	1	6	8

Tabla 15. Resultados obtenidos de SCR, SR y GSI.

Talud	Src	Sr	Gsi
A	15	36.3	54
B	13	43.4	52

5.4 Resultados de la clasificación de Hoek y Brown (GSI)

En las tablas 14 y 15 se muestran los resultados obtenidos con esta clasificación. La calidad para los dos taludes estudiados se encuentra en el rango de 40 a 60, siéndole asignado una calidad media.

5.5 Resultados de la clasificación de Romana (SMR)

En el caso del talud A para ambas familias, se puede decir que la clasificación geomecánica de taludes, SMR presenta una estabilidad “buena” ya que se encontraron entre los parámetros 61 y 80.

En talud B La clasificación geomecánica de taludes SMR presenta una descripción de “mala” para la familia 1; y “normal” para la familia 2, ya que, en el primer caso se valora con un puntaje de 37; mientras que la familia 2 con un puntaje de 55,75.

6. CONCLUSIONES

La peligrosidad de los taludes, específicamente en el talud B, lo constituye su cercanía a una curva en la autopista, lo que puede ocasionar dificultad a los conductores en cuanto a la visibilidad al momento de reaccionar frente a un desprendimiento de roca u otro riesgo geológico. A través de la interpretación fotogeológica realizada en la etapa de campo, se evidenció la alta actividad tectónica reciente en el área de estudio, esto se constató por la existencia de la Falla Quebrada del Diablo con movimiento normal que atraviesa el macizo rocoso, generando la inestabilidad en este macizo.

Los taludes en estudio se encuentran interceptados por un drenaje intermitente que está controlado por la Falla Quebrada del Diablo. Se puede considerar que el desprendimiento de bloque de arenisca sobre la calzada de la vía, desde altura superior a los 8 m. con pendientes

topográficas, entre 45° y 70°, constituyen un riesgo latente para los transeúntes, pudiendo ocasionar pérdidas humanas.

En estos taludes se precisó que el riesgo potencial de desprendimiento de roca de acuerdo con la metodología de [1] es para el del talud A, poco peligroso y para el talud B, peligroso, esto se debe a que ambos taludes se encuentran cercanos entre sí, permitiendo categorizarlos como peligroso.

En ambos taludes, de acuerdo a la clasificación RMR, se observó que la meteorización oscila de alto a muy alto grado, esto debido a las aguas de escorrentía que se encuentran en ellos, originando cambios químicos y físicos en la superficie de los mismos. Siendo este último el que origina el volcamiento de la roca. Se comprobó que el agua se filtra en las juntas de los taludes, ocasionándoles pérdida de resistencia y del estado tensional, lo que aunado a la falta de apoyo del material suprayacente, puede provocar la inestabilidad, produciendo un movimiento por volcamiento, siendo este otra causal del desprendimiento de roca en los taludes A y B.

De acuerdo a las clasificaciones geomecánicas (RMR, GSI y SMR), aplicadas a los taludes A y B, se determina en el caso del talud A y el talud B. los índices RMR son evaluados con una calidad media; mientras que para el GSI, ambos Taludes, presentan buena calidad de superficie (SR); y en relación al índice SMR, para el talud A se califica como buena, y para el talud B, normal. Es por esta razón que se pueden categorizar estos taludes de forma general como “regular”.

Se determinó que la acción de la gravedad también ha sido una causal en el desprendimiento de roca de los taludes en estudio, especialmente en el talud A, ya que, a través de la aplicación de la proyecciones estereográficas, se constató que no se cumplen todas las condiciones cinemáticas para que exista rotura por vuelco, sin embargo, una de las condiciones para que éste se produzca, es la acción de la gravedad y el empuje de agua que rellena las discontinuidades, aunado a la tectónica reciente, son parámetros importantes para que se genere el desprendimiento de roca. Mientras que el talud B presenta rotura de tipo plana que fue constatado mediante el empleo de las proyecciones.

REFERENCIAS

- [1]. N. Beldria y F. Bongiorno, “Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown, Romana”, Guía práctica didáctica de geotecnia aplicada, Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela, 2012.
- [2]. Z. T. Bieniawski, “Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling”, Balkema, Rotterdam, Chap. 55, 1984, pp. 55-95.
- [3]. T. Boesi, R. Higgs, M. A. Lorente, L. Mompert, J. S. Testamark y R. Falcón, “Facies and sedimentary environments of the cretaceous La Luna Formation in San Pedro del Rio Section, Venezuelan Andes: A multidisciplinary study”, Conferencia Internacional, Venezuela, 1993.
- [4]. F. Bongiorno, E. Díaz, E. Jiménez, y N. Beldria, “Estudio geomorfológico aplicado a la susceptibilidad de terrenos en la

- cuenca alta del río Albarregas, del municipio Libertador, estado Mérida, Venezuela”, *Geominas*, 39 (55), pp. 87-93, 2011.
- [5]. F. Bongiorno, G. Molina, N. Belandria y R. Rivero, “Estudio de las propiedades geomecánicas de los taludes ubicados entre Los Guaimaros y Mesa de Los Indios, Merida – Venezuela”, *Geominas*, 39 (56), pp. 135-142, 2011.
- [6]. F. Bongiorno, Z. Monsalve, N. Belandria, y N. Montilla, “Evaluación geotécnica del río El Topo, autopista Caracas – La Guaira, Venezuela”, *Revista Ciencia e Ingeniería*, Vol. 31, N° 1, pp. 25 – 32, 2010.
- [7]. Comisión Venezolana de Estratigrafía y Terminología– CVET, “Léxico Estratigráfico de Venezuela”, 3era. Edición, Ministerio de Energía y Minas, Bol. Geo. Pub. Especial N°12, 1997.
- [8]. M. Ferrer y L. González, “Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos” (2 ed.). Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España, 2007.
- [9]. R. Fonseca, C. Raímat y Caba J, “Aplicación de membranas flexibles para la prevención de riesgos naturales”, Madrid, España, Editorial Geobruigg Ibérica S.A. 2010.
- [10]. de González, “Geología de Venezuela y de sus cuencas Petrolíferas”, Ediciones Foninves, Tomo I y II, 1980.
- [11]. L. González, M. Ferrer, L. Ortuño y C. Oteo, “Ingeniería geológica”, Madrid: Pearson Educación, 2002.
- [12]. INGEOMIN, “Estudio de susceptibilidad y amenazas geológicas con fines de socialización geocientífica, República Bolivariana de Venezuela”.
- [13]. E. La Marca, “Origen y evolución geológica de la cordillera de Mérida, Andes de Venezuela”, Cuadernos de la escuela de geografía, nueva época, Universidad de los Andes, Mérida, N°1: 1 – 110, pp. 5 – 92, 1997.
- [14]. M. Romana, “Nuevos factores de ajuste para la aplicación de la clasificación de Bieniawski a los taludes”, Jornada Geotécnica Nacional, Madrid, España, 1985.
- [15]. D. Salcedo, “Proyecciones Hemisfericas”. Publicaciones de la Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela, 1978.
- [16]. H. Sönmez y R. Ulusay, “A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies”, *Yerbilimleri*, 26, pp. 77-99, 2002.
- [17]. J. Toapaxi, L. Galiano, M. Castro M, X. Hidalgo y N. Valencia, “Análisis de la Socavación en Cauces Naturales”, *Revista Politécnica*, 35 (3), pp. 83-93, 2015.