

Análisis de estabilidad del deslizamiento La Fortuna en el cantón Camilo Ponce Enríquez

La Fortuna slib stability analysis in Camilo Ponce Enríquez town

**Edison Calderón¹, Aníbal Pulupa¹, Darwin Condoy¹,
Fausto Carranco¹, Danny Burbano², Christian Romero¹**

- ¹ Instituto de Investigación Geológico y Energético. Quito - Ecuador. E-mail: dario.calderon@geoenergia.gob.ec, anibal.pulupa@geoenergia.gob.ec, darwin.condoy@geoenergia.gob.ec, fausto.carranco@geoenergia.gob.ec, christian.romero@geoenergia.gob.ec.
- ² Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología Minas Petróleos y Ambiental. Quito – Ecuador. E-mail: dsurbano@uce.edu.ec.

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 12-06-2023
Fecha de aceptación: 17-08-2023

Resumen

En la comunidad La Fortuna ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez de la provincia del Azuay al sur del Ecuador se reportó un deslizamiento de roca y suelo que generó un talud de 40 m de alto y 20 m de ancho. El mayor condicionante para este deslizamiento fue el alto grado de fracturamiento del macizo rocoso que formó cuñas y diaclasamiento ortogonal favorables a la caída de material.

En esta investigación se analizó la calidad de la roca mediante la clasificación de Bieniawski o Rock Mass Rating (RMR), se evaluó la estabilidad del talud utilizando la clasificación Slope Mass Rating (SMR) y se determinó el factor de seguridad (FS) para diseñar un modelo que permita proponer alternativas para la estabilidad del talud. Se identificaron tres familias de discontinuidades: D-1, D-2 y D-3, que forman planos ortogonales entre sí, la resistencia de la roca fue catalogada como “Dura” con un valor entre 50-100 MPa, el valor de RQD indica que la roca es de calidad “Regular”. De acuerdo a la clasificación SMR el talud del deslizamiento es “Inestable” y presenta superficies de rotura planares y grandes cuñas. El modelo estático indica que tanto la interacción entre las familias de discontinuidades D-1 y D-3, como entre D-1 y D-2 presentan un factor de seguridad por debajo del mínimo requerido según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), confirmando que el talud es inestable.

Se recomienda tratamiento correctivo para el talud, que consiste en instalar un drenaje que permita disminuir la presión intersticial entre las discontinuidades, la construcción de muros al pie del talud, utilizar hormigón proyectado y aplicar refuerzos mediante pernos de anclaje.

Palabras clave: Discontinuidad, Bieniawski, Estabilidad de talud, Factor de seguridad, Modelado geotécnico.

Abstract

In the La Fortuna community located in the Camilo Ponce Enríquez canton of the Azuay province in southern Ecuador, a rock and soil landslide was reported that generated a 40 m high and 20 m wide slope. The major conditioning factor for this landslide was the high degree of fracturing of the rock mass that formed wedges and orthogonal jointing favorable to the fall of material.

In this research the rock quality was analyzed using the Bieniawski or Rock Mass Rating (RMR) classification, the slope stability was evaluated using the Slope Mass Rating (SMR) classification and the factor of safety (FS) was determined to design a model to propose alternatives for slope stability. Three families of discontinuities were identified: D-1, D-2 and D-3, which form orthogonal planes to each other, the rock strength was categorized as “Hard” with a value between 50-100 MPa, the RQD value indicates that the

rock is of "Regular" quality. According to the SMR classification the landslide slope is "Unstable" and presents planar breakage surfaces and large wedges. The static model indicates that both the interaction between the families of discontinuities D-1 and D-3, as well as between D-1 and D-2 present a safety factor below the minimum required according to the Ecuadorian Construction Norm (NEC), confirming that the slope is unstable.

Corrective treatment is recommended for the slope, which consists of installing drainage to reduce the interstitial pressure between the discontinuities, the construction of walls at the foot of the slope, using shotcrete and applying reinforcements by means of anchor bolts.

Keywords: Discontinuity, Bieniawski, Slope stability, Factor of safety, Geotechnical modeling.

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador, debido a sus condiciones geológicas, geográficas y climáticas ha estado siempre expuesto al impacto de diversas amenazas geológicas, generando diferentes tipos de movimientos en masa, que comúnmente son conocidos como deslizamientos o derrumbes [1].

Los procesos geodinámicos externos que afectan a la superficie terrestre dan lugar a movimientos del terreno de diversas características, magnitud y velocidad, donde la acción de la gravedad, el debilitamiento progresivo de los materiales y la actuación de otros fenómenos naturales y ambientales pueden llegar a constituir riesgos geológicos potenciales, modelando

finalmente las geoformas o paisaje de la superficie terrestre.

Un efecto muy común de estos procesos lo representan los denominados movimientos en masa. De acuerdo al Proyecto Multinacional Andino se conoce como movimiento en masa al desplazamiento que se produce a consecuencia de la acción de la gravedad sobre una masa de suelos, detritos o roca [2]. Adicionalmente se debe considerar que estos movimientos resultan variables tanto en velocidad como en distribución espacial de acuerdo a factores geomorfológicos, litológicos y geotécnicos.

Aunque los movimientos en masa se consideran parte del ciclo geomorfológico e influyen en el desarrollo del paisaje, cuando ocurren en zonas con actividad antrópica pueden resultar perjudiciales [3]. El comportamiento de un movimiento en masa depende de las propiedades físico-mecánicas de los materiales involucrados y factores externos, resultando complejo encasillarlos en una clase particular [4].

El término deslizamiento se utiliza para identificar al movimiento de una masa de suelo o roca que ocurre sobre una superficie de falla ladera abajo, los deslizamientos se clasifican en función de la forma que crean sobre la superficie de desplazamiento del material, de esta manera, se denomina como deslizamiento traslacional a aquel que presenta superficies planas u onduladas a favor del talud, mientras que, los deslizamientos rotacionales generan superficies curvas o cóncavas [4, 5].

La zona de estudio se encuentra en la comunidad La Fortuna, la cual está ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez de la provincia del Azuay, al sur del Ecuador (Fig. 1).

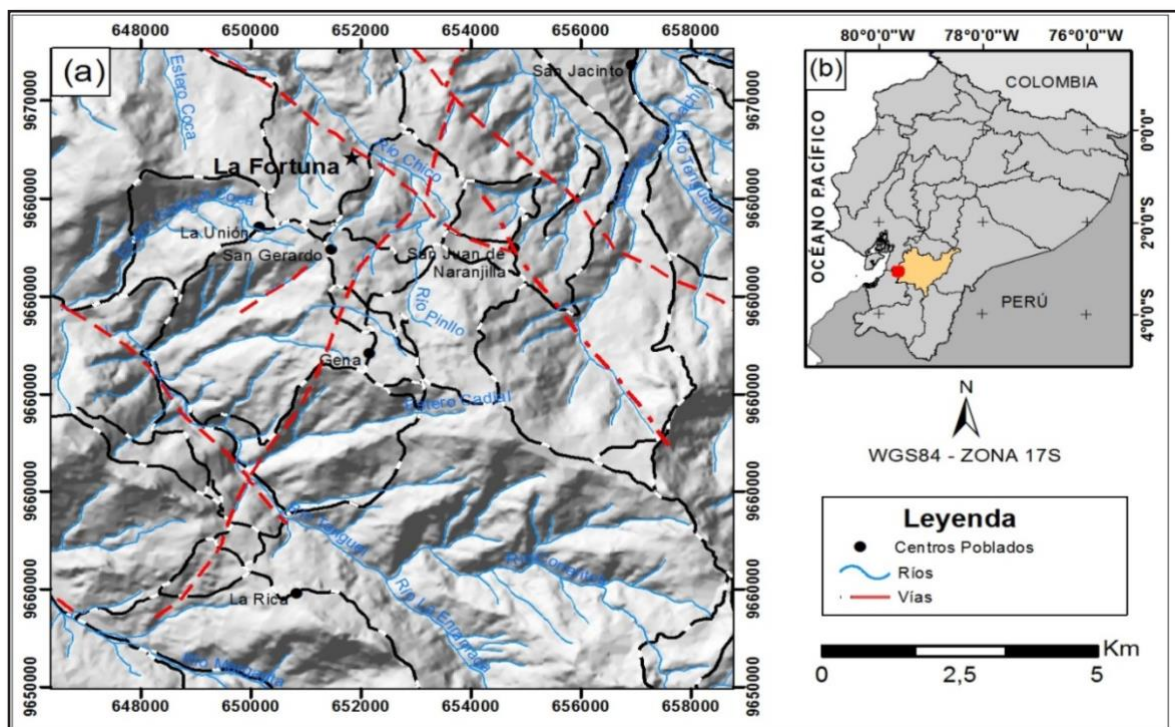


Figura 1: Ubicación del área de estudio

En esta comunidad se reportó un deslizamiento de roca y suelo que generó un talud de 40 m de alto y 20 m de ancho (Fig. 2a). Se consideró que el principal condicionante para este deslizamiento fue el alto diaclasamiento del macizo rocoso que permitió la formación de cuñas y fracturas ortogonales favorables a la caída de material, poniendo en riesgo las viviendas y pequeños negocios existentes en el lugar.

Esta investigación tuvo como objetivos analizar la calidad del macizo rocoso y evaluar la estabilidad del talud.

Para determinar la calidad del macizo rocoso se utilizó la clasificación de Bieniawski (Rock Mass Rating - RMR), para lo cual se relacionaron los parámetros de calidad de la roca (Rock Quality Designation - RQD) y las condiciones de las juntas (discontinuidades).

La evaluación de estabilidad del talud se realizó mediante la clasificación Slope Mass Rating (SMR), para posteriormente determinar el factor de seguridad (FS) y proponer un diseño adecuado y funcional para la estabilidad del talud.

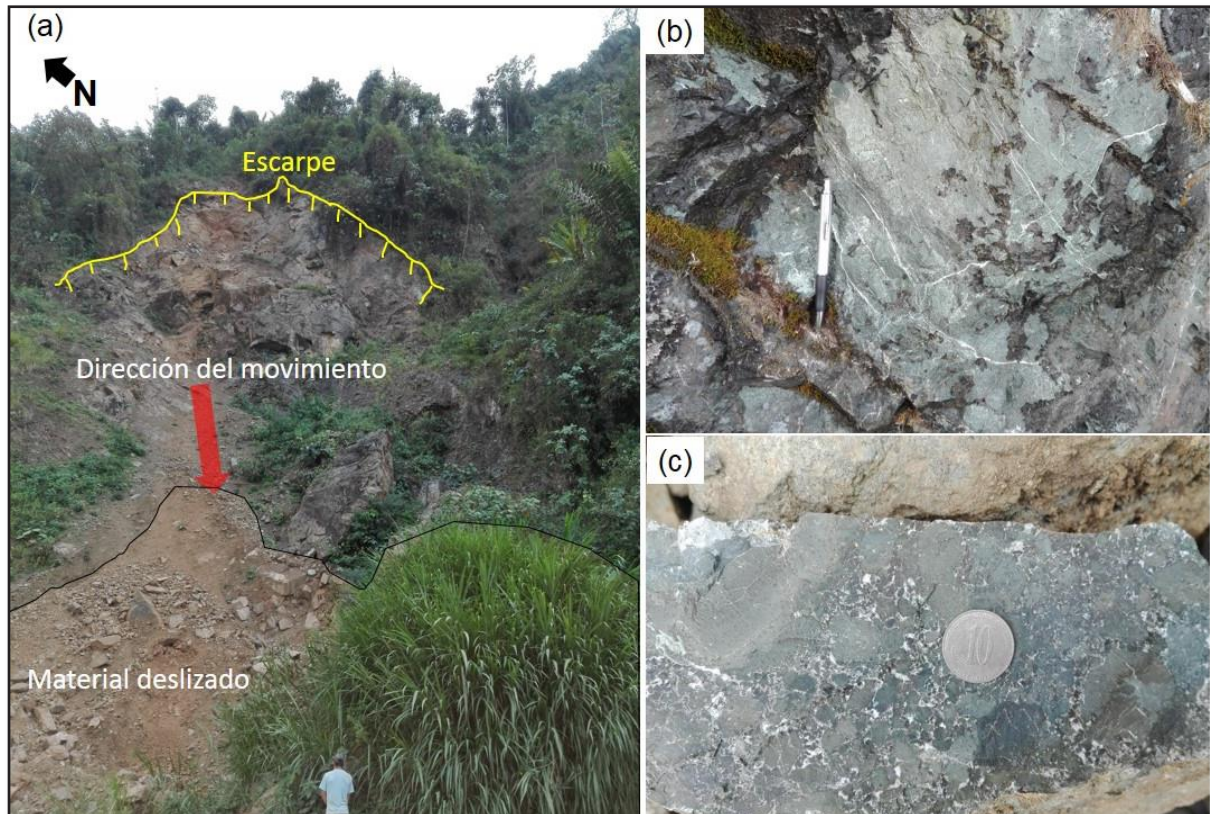


Figura 2: (a) Vista frontal del deslizamiento. (b) Muestra de andesita basáltica con vetillas de cuarzo y calcita. (c) Muestra de brecha fracturada con relleno de cuarzo y calcita (UTM: 651 871E; 9 644 817N)

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1.1 Geología Regional

De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT) del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) cantonal de Camilo Ponce Enríquez, esta zona presenta un relieve irregular, con pendientes mayores a 35°, su clima es tropical con un promedio anual de precipitaciones de 877 mm [7].

La zona de estudio se encuentra en las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental dentro de la Unidad Pallatanga, las rocas de esta unidad provienen de un plateau oceánico de edad cretácica, están conformadas por basaltos, andesitas basálticas, hialoclastitas, tobas y brechas [8].

La principal estructura regional en el área es la Falla Calacalí – Pujilí – Pallatanga, dicha estructura está ubicada al noroeste de la comunidad La Fortuna y presenta una dirección NNE-SSO. Otras estructuras

cercanas al área de interés son la falla San Gerardo de dirección NO-SE, que se dispone paralela al río Chico hasta el sector de San Juan de Naranjilla y un ramal del sistema de la falla río Margarita de dirección NE-SO [9] observadas en la (Fig. 1).

2.1.2 Litología

El deslizamiento permite observar una roca de color gris con tonos azules y verdes, de composición intermedia a básica, ligeramente meteorizada, adicionalmente la roca presenta alteración de tipo hidrotermal y alta resistencia al aplicar un golpe de martillo (índice de campo).

En el talud se identificaron dos tipos de litología, la primera corresponde a una andesita basáltica con textura porfírica de grano fino, mineralógicamente la roca presenta cristales euhedrales de hasta 2 mm de plagioclasa y piroxeno, además de anfíboles, biotita y

magnetita adicionalmente se observan vetillas de cuarzo y calcita (Fig. 2b).

Como segunda litología se identificaron brechas de composición andesítica, con clastos angulosos, afaníticos de color gris y verde oscuro de tamaño centimétrico, con mala esfericidad y mala redondez; presentan fracturación hidráulica y sus aberturas están rellenas de cuarzo y calcita (Fig. 2c).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Comportamiento Geomecánico del Talud

El estudio geotécnico del macizo rocoso consiste en conocer los parámetros geomecánicos para el diseño de obras de ingeniería [10].

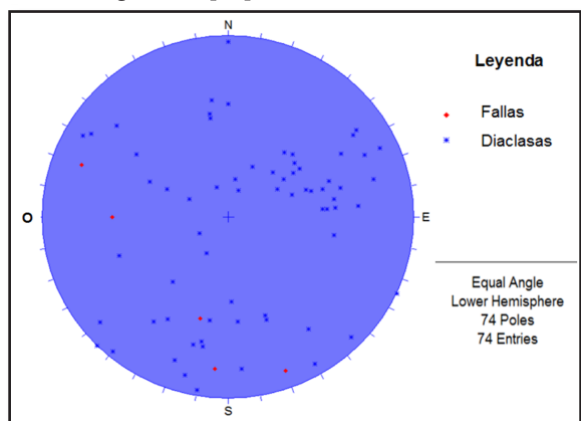


Figura 3: Ubicación de polos de los datos estructurales en el estereograma.

Posteriormente estos datos fueron interpretados, las concentraciones de los polos permitieron determinar tres familias principales de diaclasas denominadas D-1, D-2 y D-3, cuya distribución espacial se muestran en la Fig. 4.

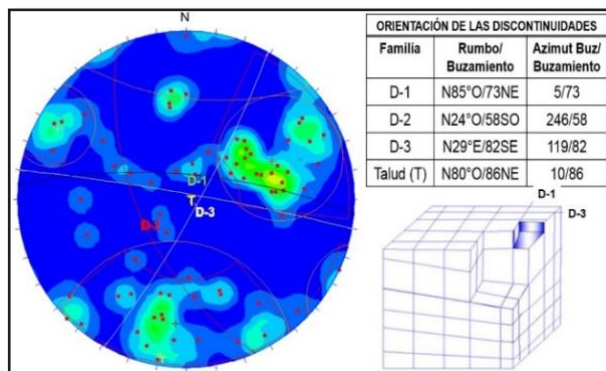


Figura 4: Distribución espacial, concentración de datos y principales familias de discontinuidades presentes en el talud.

Para la valoración del macizo rocoso se utilizó la clasificación geomecánica RMR, de Bieniawski o Sistema de valoración de macizos rocosos, esta clasificación está fundamentada en la valoración y suma de una serie de parámetros de campo que permiten evaluar la calidad del terreno [11], [12], [13], [14].

Estos parámetros son:

- Resistencia a la compresión simple de la roca inalterada

- RQD (Rock Quality Designation)
- Espaciamiento de discontinuidades (Fisuras, diaclasas)
- Estado de las discontinuidades
- Filtraciones

La clasificación del macizo rocoso según RMR se realiza de acuerdo a rangos de valores, así:

Tabla 1: Clasificación del macizo rocoso.

Puntuación	Calidad	Clase
100-81	Muy Buena	I
80-61	Buena	II
60-41	Media	III
40-21	Mala	IV
<20	Muy Mala	V

3.1.1 Resistencia a la compresión simple

Para el cálculo de resistencia a la compresión simple se aplicaron los índices de campo utilizados y sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM), los cuales permiten clasificar la dureza de la muestra de roca en función de la cantidad de golpes de martillo necesarios para fracturarla [13, 14].

3.1.2 Rock Quality Designation (RQD)

Este índice depende directamente del número de fracturas y grado de alteración que presenta el macizo rocoso, fue calculado utilizando la correlación empírica de Palmstrom [1], la cual establece una relación entre el RQD y el parámetro Jv:

$$RQD = 110 - 3,3 * Jv \quad (1)$$

Donde, el valor de Jv corresponde al número total de discontinuidades en cada plano que interceptan una unidad de volumen (1m³):

$$Jv = \frac{\Sigma(N^{\circ} \text{ de discontinuidades en X,Y,Z})}{\text{Longitud de medida en X,Y,Z}} \quad (2)$$

3.1.3 Espaciamiento y estado de las discontinuidades

El espaciado entre discontinuidades condiciona el tamaño de bloque y el comportamiento mecánico del macizo rocoso, estos valores se miden en milímetros y los rangos se clasifican en: Extremadamente Juntas <0.02, Muy Juntas 0.02-0.06, Juntas 0.06-0.2 Moderadamente Juntas 0.2-0.6, Separadas 0.6-2, Muy Separadas 2-6 y Extremadamente Separadas >6.

El estado de las discontinuidades determina el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico del talud [12], [13]. De acuerdo a la ISRM [15] y la clasificación RMR [11], [12], el estado de las discontinuidades se analiza mediante los siguientes parámetros:

Continuidad.- La continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad está relacionada con su extensión superficial, determinada por la longitud según la dirección del plano o su buzamiento; se mide en metros y se clasifica en Muy Baja <1, Baja 1-3, Moderada 3-10, Alta 10-20 y Muy Alta >20.

Abertura.- Es la distancia perpendicular entre las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. Este parámetro puede ser variable en diferentes zonas del macizo rocoso, mientras que en superficie la abertura puede ser alta, este se reduce en profundidad pudiendo incluso cerrarse. Se miden en milímetros y se clasifican en Muy Cerrada <0.1, Cerrada 0.1-0.25, Parcialmente Abierta 0.25-0.5, Abierta 0.5-2.5, Moderadamente Abierta 2.5-10, Ancha >10, Muy ancha 10-100, Extremadamente Ancha 100-1000, Caverosa >1000.

Rugosidad.- Conocida como JRC (Joint Roughness Coefficient) en el criterio de Barton, o como Jr en la clasificación geomecánica Q de Barton, Lien y Lunde. Este parámetro permite evaluar la resistencia al corte de los planos, puesto que, la rugosidad aumenta la resistencia al corte (τ), que decrece con el incremento de la abertura y, por lo general, con el espesor del relleno. La estimación de este parámetro se realizó mediante la comparación visual con los perfiles estándar de rugosidad.

Descripción	Perfil
Rugosa	<p>Escalonada</p>
Suave	
Pulida	
Rugosa	<p>Ondulada</p>
Suave	
Pulida	
Rugosa	<p>Plana</p>
Suave	
Pulida	

Figura 5: Perfiles de rugosidad, la longitud de los perfiles está en el rango entre 1 y 10 metros (ISMR).

Relleno.- Las discontinuidades pueden estar rellenas de un material de naturaleza distinta a la roca de las paredes. El tipo de relleno determina el comportamiento de la discontinuidad, mayoritariamente las diaclasas analizadas presentan rellenos duros menores a 5 mm, generalmente de cuarzo-calcita, aunque se observan también rellenos blandos menores a 5 mm. Debido a que los rellenos duros < 5 mm superan la media de la máxima frecuencia se utiliza este dato para la interpretación.

Presencia de agua.- El agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades, aunque en ciertas rocas permeables, las

filtraciones a través de la matriz rocosa pueden ser importantes. De acuerdo a los valores típicos de permeabilidad primaria para una matriz rocosa (k), propuestos por González de Vallejo [10], para rocas volcánicas se consideran valores en un rango entre 10⁻⁷ y 10⁻¹² m/s.

La totalidad de los datos tomados en campo se registraron en ambiente seco, sin embargo, para la caracterización del talud se consideró un ambiente ligeramente húmedo, puesto que el deslizamiento se generó en la estación lluviosa.

3.3 Clasificación Geomecánica SMR (Slope Mass Rating) para la Estabilidad del Talud

La estabilidad se analizó mediante la clasificación SMR, la cual permite caracterizar taludes rocosos mediante una corrección del RMR_{Básico}, para “predecir” con cierta precisión el comportamiento del talud [2], [3], [4].

Para esta clasificación se utiliza el ángulo de buzamiento y el buzamiento de cada familia de diaclasas (α_j , β_j) y del talud por estudiarse (α_s , β_s), adicionalmente se considera el método de excavación del talud.

Este índice se calcula mediante la siguiente relación:

$$SMR = RMR_{Básico} + (F1 * F2 * F3) + F4 \quad (3)$$

Donde:

F1: depende del paralelismo entre las direcciones de las juntas y el talud.

F2: depende del buzamiento de la familia de juntas.

F3: es la diferencia de buzamientos entre la familia de juntas y el talud.

El producto de los factores F1, F2 y F3 se denomina Factor de Ajuste, utilizando la tabla de factores de ajuste por la orientación de las juntas modificada de Romana se determinan casos como Muy Favorable, Favorable, Normal, Desfavorable y Muy Desfavorable [12, 16].

El valor de F4 depende del método de excavación utilizado y adoptará valores entre 15 y -8 dependiendo de si el talud es natural (+15), ha sido excavado mediante precorte (+10), voladura suave (+8), voladura normal o excavación mecánica (0), o voladura deficiente (-8).

El valor de SMR determina un rango, el cual permite asignar a cada roca a determinada Clase y establece la estabilidad del talud, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2: Clase de estabilidad.

SMR	Descripción	Clase	Estabilidad
81-100	Muy Buena	I	Totalmente estable
61-80	Buena	II	Estable
41-60	Normal	III	Parcialmente estable
21-40	Mala	IV	Inestable
0-20	Muy Mala	V	Totalmente inestable

3.4 Cálculo del Factor de Seguridad (FS)

Para calcular de forma determinística el factor de seguridad del talud, se utilizaron los programas de equilibrio límite Swedge y Rocplane para el análisis de roturas en cuña y de roturas planares, representando las tres familias de discontinuidades D-1, D-2 y D-3, así como el talud del deslizamiento tipo toppling T.

El levantamiento de información se realizó en época seca, sin embargo, se consideró un factor de saturación del 5 % para todos los cálculos.

4. RESULTADOS

4.1. Clasificación Geomecánica RMR (Rock Mass Rating)

Se identificaron tres familias de diaclasas D-1, D-2 y D-3, los grupos de polos analizados permiten definir que las diaclasas forman planos ortogonales, formando prismas de deslizamiento desfavorables al talud.

De acuerdo a la ISRM para determinar el valor de resistencia a la compresión simple de la roca inalterada, si “se requiere más de un golpe del martillo para fracturarse” la roca es “Dura” y se determina un rango de valores entre 50-100 MPa, por lo cual se la clasifica como R4 [15], [16].

El valor obtenido para J_v utilizando la ecuación (2), es de 14,33, el cual de acuerdo a la ISRM corresponde al rango entre 10 y 30 discontinuidades por metro cúbico, por tanto el tamaño de los bloques generados por las discontinuidades es pequeño.

Reemplazando el valor de J_v en la ecuación (1), se obtiene un índice de calidad RQD del 62,7 %, ubicado dentro del rango de 50-75 %, lo que corresponde a una roca de calidad “Regular” con valoración 13 [15], [16].

El estudio del espaciamiento entre discontinuidades señala las diaclasas se encuentran mayoritariamente en el rango de muy juntas (0.02 – 0.06 mm), favoreciendo a la inestabilidad del talud.

Los distintos parámetros registrados durante el análisis del estado de las discontinuidades de acuerdo a la ISRM se indican en la Tabla 3.

Tabla 3: Análisis del estado de las discontinuidades.

Parámetro	Familia D-1	Familia D-2	Familia D-3
Rumbo/ Buzamiento	N85O/73NE	N24O/58SO	N29E/82SE
Espaciamiento (m)	Muy Junta (0,02 - 0,06)	Muy Junta (0,02 - 0,06)	Muy Junta (0,02 - 0,06)
Continuidad (m)	Muy baja <1	Muy baja <1	Baja 1-3
Abertura (mm)	Cerrada (0,1 - 0,25)	Cerrada (0,1 - 0,25)	Abierta (0,5 - 2,5)
Rugosidad	IV. Ondulada rugosa	VIII. Plana lisa	IX. Plana pulida
Meteorización	Moderada	Moderada	Ligera
Relleno (mm)	Blando (<5)	Duro (<5)	Blando (<5)
Agua	Ligeramente húmedo	Ligeramente húmedo	Ligeramente húmedo

Como se observa en la Tabla 4, a cada parámetro de clasificación se le asignó una puntuación de acuerdo a la Clasificación geomecánica de Bieniawski para obtener el valor del $RMR_{Básico}$.

Tabla 4: Clasificación de las familias de juntas según la Clasificación RMR.

Clasificación			
Parámetro	D-1	D-2	D-3
Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	7	7	7
RQD	13	13	13
Separación entre diaclasas (m)	5	5	5
Continuidad (m)	6	6	4
Abertura (mm)	4	4	1
Rugosidad	1	1	0
Relleno (mm)	2	4	2
Meteorización	3	3	5
Agua freática	10	10	10
Clasificación RMR Básico	51	53	47

De la puntuación observada en la Tabla 4 se obtiene un $RMR_{Básico} = 47$, la puntuación se ubica en el rango entre 60 – 41, por lo cual se asigna a la roca a la Clase III con una calidad Media.

3.2. Clasificación Geomecánica SMR (Slope Mass Rating) para la Estabilidad del Talud

Mediante el uso de los factores de ajuste por la orientación de las juntas propuesto por Romana [5], que pueden aumentar o disminuir la posibilidad de ocurrencia de un deslizamiento, se determinan los siguientes factores:

- $F_1 = 0,15$ se estima como un caso “Muy Favorable”;
- $F_2 = 1,00$ es considerado un caso “Desfavorable”;
- $F_3 = -50$ catalogado como “Muy desfavorable”;
- $F_4 = -8$, debido a que se califica a la intervención del deslizamiento con maquinaria como “Voladura deficiente”.

Reemplazando estos valores de factores de ajuste y el $RMR_{Básico}$ en la ecuación (3), se obtiene un $SMR = 31,5$. Este valor nos permite determinar la clase de estabilidad, se ubica en el rango entre 21–40, por lo tanto el talud pertenece a la clase IV, es decir, su calidad es “Mala” y es catalogado como “Inestable”, adicionalmente se observa que las superficies de rotura forman juntas planares o grandes cuñas. Lo expuesto indica que el talud necesita tratamiento correctivo.

3.3. Factor de Seguridad (FS)

Los parámetros resistentes determinados por el criterio de rotura empírico de Mohr-Coulomb son cohesión de 2,930 MPa y ángulo de fricción de 25°.

De la interacción que se indica en la Fig. 6, entre las familias de discontinuidades D-1 y D-3, se obtuvo un factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas de

0,33 por debajo del mínimo requerido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) [20], es decir el talud es inestable.

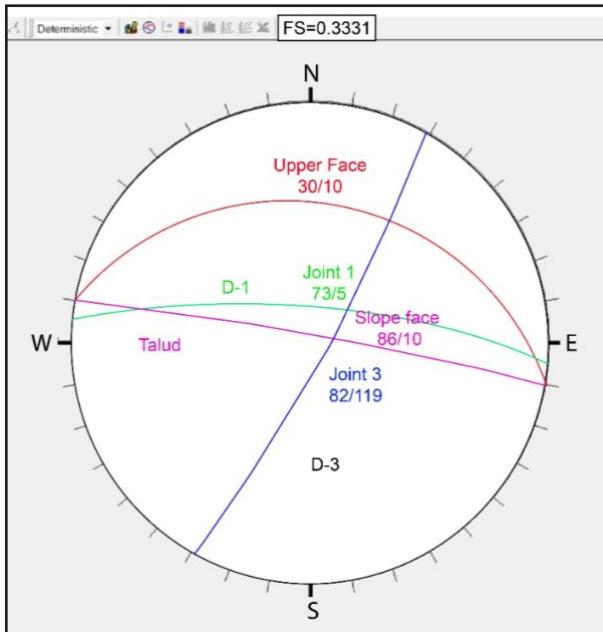


Figura 6: Análisis de inestabilidad entre las diaclasas D-1 y D-3.

El modelado del análisis cinemático de inestabilidad entre estas familias se muestra en la Fig. 7, su resultado permite visualizar la formación de una rotura en cuña de tamaño mediano a grande.

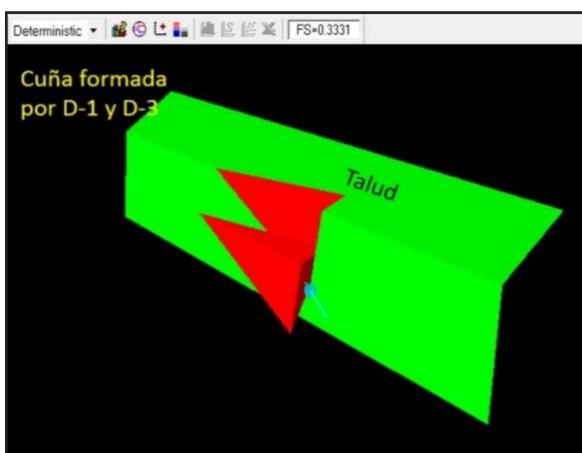


Figura 7: Vista isométrica de cuñas entre las diaclasas D-1 y D-3.

Para las familias de discontinuidades D-1 y D-2 se obtuvo un factor de seguridad de 0,14, también por debajo del mínimo requerido en la NEC [20], representando un talud inestable (Fig. 8).

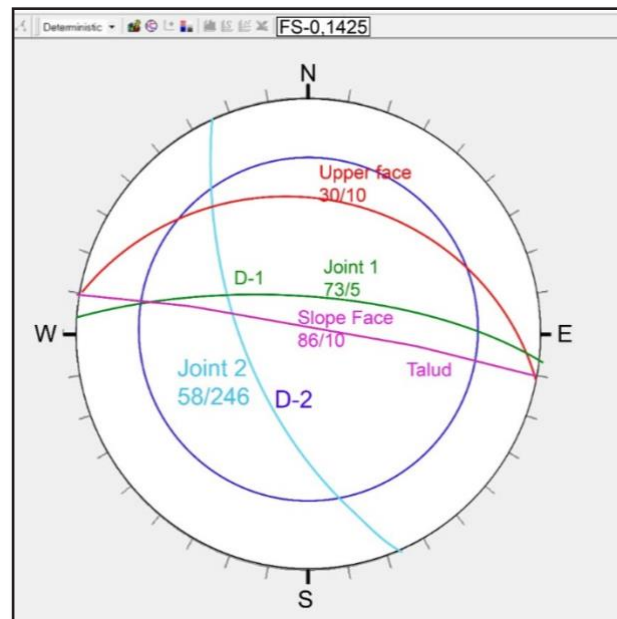


Figura 8: Análisis de inestabilidad entre las diaclasas D-1 y D-2.

El modelado del análisis cinemático de inestabilidad entre las diaclasas D-1 y D-2 arroja como resultado la formación de pequeñas roturas en cuña (Fig. 9).

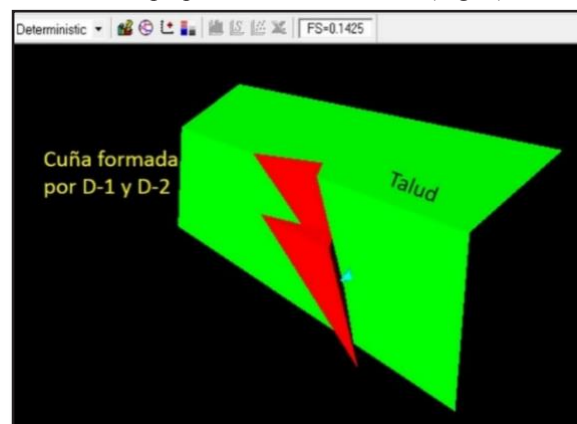


Figura 9: Vista isométrica de cuñas entre las diaclasas D-1 y D-2.

Finalmente, se realizó el diseño geométrico del talud mediante la descomposición de esfuerzos tangenciales y normales que se indica en la Fig. 10.

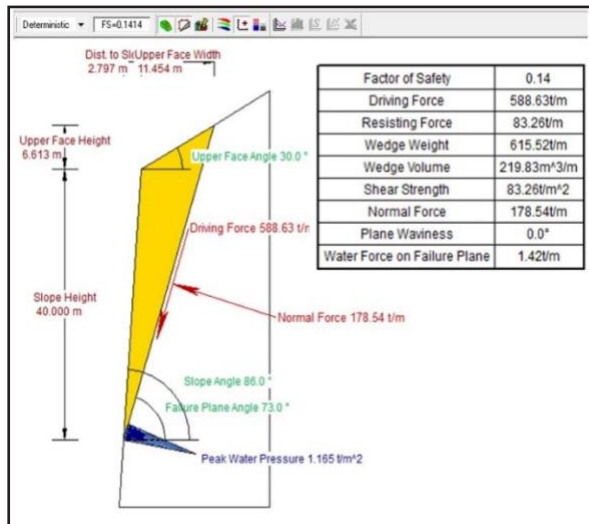


Figura 10: Diseño geométrico del talud.

Se comprueba la presencia de una rotura planar formada por la familia de diaclasas D-1 y el talud como se muestra en la Fig. 11, la misma que presenta un factor de seguridad de 0,14, marcando la inestabilidad de este talud.

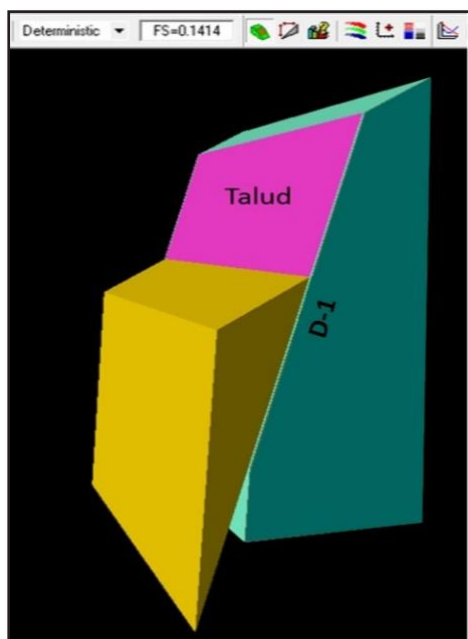


Figura 11: Vista isométrica de rotura planar entre el talud y la diaclasa D-1 con $F_s=0.14$.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

En la zona de estudio la litología dominante corresponde a rocas intermedias a básicas con sectores puntuales de andesitas basálticas y brechas de composición andesítica. Se identifican tres familias principales de diaclasas, D1, D2 y D3, las familias D1 y D3 presentan posiciones casi ortogonales en cuanto a su rumbo.

El macizo rocoso del talud presenta un $RMR_{Básico}$ de 47, por lo tanto, su calidad es “Media” y corresponde a la Clase III de la clasificación de Bieniawski.

Mediante la clasificación geomecánica SMR se obtiene un valor de 31,5, esto determina que el talud es “Inestable” y pertenece a la Clase IV.

El movimiento en masa reportado corresponde a un deslizamiento traslacional generado por roturas planares entre la diaclasa D-1 y el talud y roturas en cuña entre las diaclasas D-1 y D-3 y D-1 y D-2, estos planos de rotura se evidenciaron en campo y el modelamiento realizado en esta investigación.

Entre las familias de discontinuidades D-1 y D-3, el FS en condiciones pseudoestáticas es 0,33 por debajo del mínimo requerido por la NEC.

Para las familias de discontinuidades D-1 y D-2, el FS es 0,14, también por debajo del mínimo requerido en la NEC, representando un talud inestable.

El talud requiere un tratamiento correctivo para su estabilidad.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda disminuir la inclinación actual del talud (86°), para evitar la formación de nuevas roturas planares y por cuñas, considerando que esta medida no garantiza la estabilidad del talud a largo plazo.

Debido a las condiciones actuales del talud y en concordancia con las recomendaciones realizadas por Romana [12], el tratamiento correctivo consiste en instalar un drenaje que permita disminuir la presión intersticial entre las discontinuidades, la construcción de muros al pie del talud, utilizar hormigón proyectado, además de un refuerzo mediante pernos de anclaje.

Realizar un saneo de los bloques que se encuentran en el talud (cuñas en equilibrio límite), previamente a la colocación de los elementos resistentes.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Instituto de Investigación Geológico Minero y Metalúrgico INIGEMM, “Memoria Técnica de los Ensayos metodológicos para la zonificación de la susceptibilidad/Amenaza por movimientos en masa, Zona de Riobamba,.” 2013.

[2] GEMMA, “Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades andinas,.” Movimientos en masa en la región Andina, una guía para la evaluación amenazas, vol. 4, pp. 1–431, 2007.

[3] C. R. Sidle and T. A. Bogaard, “Dynamic earth system and ecological controls of rainfall-initiated landslides,.” Earth-science Rev., vol. 159, pp. 275–291, 2016.

- [4] O. Palacios and A. Sánchez, “Movimientos en masa en la región Andina (una guía para la evaluación de amenazas),” *Ingemmet*, vol. Boletín N°, no. 2, pp. 333–337, 1995.
- [5] D. M. Cruden and D. J. Varnes, “Landslide Types and Processes, Transportation Research Board,” *U.S. Natl. Acad. Sci.*, pp. 36–75, 1993.
- [6] D. M. Cruden and D. J. Varnes, “Landslide Types and Processes. En: ‘Landslides. Investigation and Mitigation’, Eds Turner, A.K. and Schuster, R.L,” *Spec. Rep. 247, Transp. Res. Board, Natl. Res. Council.*, pp. 36–75, 1996.
- [7] GAD Cantonal Camilo Ponce Enríquez, “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Camilo Ponce Enríquez 2014-2030,” 2014.
- [8] W. J. McCourt, P. Duque, and L. Pilatasig, “Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 1°00' and 2°00' S: Quito, Ecuador, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental. CODIGEM-BGS,” *Programa Inf. Cart. Geológica Rep.*, vol. 4, p. 75, 1997.
- [9] Instituto de Investigación Geológico Minero y Metalúrgico INIGEMM, “Mapa Geológico de la hoja de Machala 1: 100 000,” Quito, 2016.
- [10] L. I. González de Vallejo, M. Ferrer, L. Ortuño, and C. Oteo, “Ingeniería Geológica Luis I. González de Vallejo.pdf.” p. 744, 2002.
- [11] Z. T. Bieniawski, “Determining rock mass deformability: experience from case histories,” *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, vol. 15, no. 5, pp. 237–247, 1978, doi: 10.1016/0148-9062(78)90956-7.
- [12] Z. T. Bieniawski, *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering.* John Wiley & Sons Ltd, 1989.
- [13] B. Celada, I. Tardáguila, A. Rodríguez, P. Varona, and Z. T. Bieniawski, “Actualización y mejora del RMR,” *Ingeopres*, vol. 234, no. 1, pp. 18–22, 2014.
- [14] M. Romana, “New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes.” *Proc. Int. Symp. Role Rock Mech.*, 1985.
- [15] ISRM, “Rock characterisation testing and monitoring,” Brown, E. T. Pergamon Press, 1981.
- ISRM Symposium,” in *ISRM Symposium—Cambridge, UK*, 3–6 September 1984, 1984, pp. 231–238.
- [17] A. Palmstrom, “Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD),” *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 20, no. 4, pp. 362–377, 2005, doi: 10.1016/j.tust.2005.01.005.
- [18] M. R. Romana, *A geomechanical classification for slopes: slope mass rating.* 1993. doi: 10.1016/b978-0-08-042066-0.50029-x.
- [19] E. Montalar, “La clasificación geomecánica SMR : aplicación experiencias y validación,” no. May, 2016.
- [20] NEC-SE-GC, “Geotecnia y cimentaciones,” *Norma Ecuatoriana la construcción*, pp. 27–32, 2015.