

Evaluación de estabilidad en taludes del yacimiento Castellano mediante el cálculo del factor de seguridad

Slopes stability evaluation of Castellano deposit by calculating the safety factor

Helder Vemba Mucuta-Lito^{1*}, Maday Cartaya-Pires¹, Roberto L. Watson-Quesada¹

¹Universidad de Moa, Cuba.

*Autor para la correspondencia: heldervemba88@gmail.com

Resumen

A fin de precisar la condición de estabilidad de los taludes del yacimiento polimetálico Castellano, el objetivo de este estudio fue calcular el factor de seguridad en tres escenarios representados por tres taludes (frentes I, II y III) y bajo dos condiciones: incluyendo en los cálculos el valor del coeficiente sísmico de la región, y no considerarlo. Se utilizó para la modelación y cálculo el software Slide v.6.0. Según los valores obtenidos del factor de seguridad los tres escenarios analizados del yacimiento Castellano son inestables bajo ambas situaciones de sismicidad evaluadas. Los valores del factor de seguridad obtenidos, entre 0,281 y 0,444 están muy por debajo de 1,3 que es el valor límite de estabilidad. Ello indica la necesidad de implementar medidas de estabilización, como pudieran ser las zanjas de drenaje, atendiendo a que se tratan de taludes inactivos sin operaciones de minado.

Palabras clave: factor de seguridad; taludes inestables; deslizamientos; yacimiento Castellano; minería de polimetálicos.

Abstract

The purpose of this study was to calculate the safety factor in three scenarios represented by three slopes (fronts I, II and III) in order to specify the stability condition of slopes from Castellano polymetallic deposit and under two conditions: including the value of the seismic coefficient of the region in the calculations, and not consider it. Slide v.6.0 software was used for

modeling and calculation. According to the values obtained from the safety factor, the three analyzed scenarios of the Castellano deposit are unstable under both situations of seismicity evaluated. Values of the safety factor obtained, between 0,281 and 0,444, are well below 1,3; which is the limit value for stability. All this shows the need to implement stabilization measures, such as the drainage ditches, considering that they are inactive slopes without mining operations.

Keywords: safety factor; unstable slopes; landslides; Castellano deposit; polymetallic mining.

1. INTRODUCCIÓN

El yacimiento polimetálico Castellano, ubicado en la provincia de Pinar del Río, se explota a cielo abierto por la Empresa Minera del Caribe (EMINCAR), usando el método clásico de arranque mediante voladuras. Pertenece administrativamente al municipio de Minas Matahambre y se ubica a unos 3,5 km del poblado de Santa Lucía en el occidente de Cuba. Las coordenadas geográficas Lambert del centro del área son: X: 194 000; Y: 314 000 del sistema Cuba Norte (Figura 1).

La litología del yacimiento es variada, donde se pueden encontrar las rocas en capa suprayacente pizarras, areniscas, areniscas intercaladas y rocas brechosas suprayacentes, lo que condiciona inestabilidad de los taludes en los bancos con rocas agrietadas, erosionadas y alteradas; estos bancos, además, poseen diferentes alturas y ángulos de inclinación, así como un insuficiente drenaje.

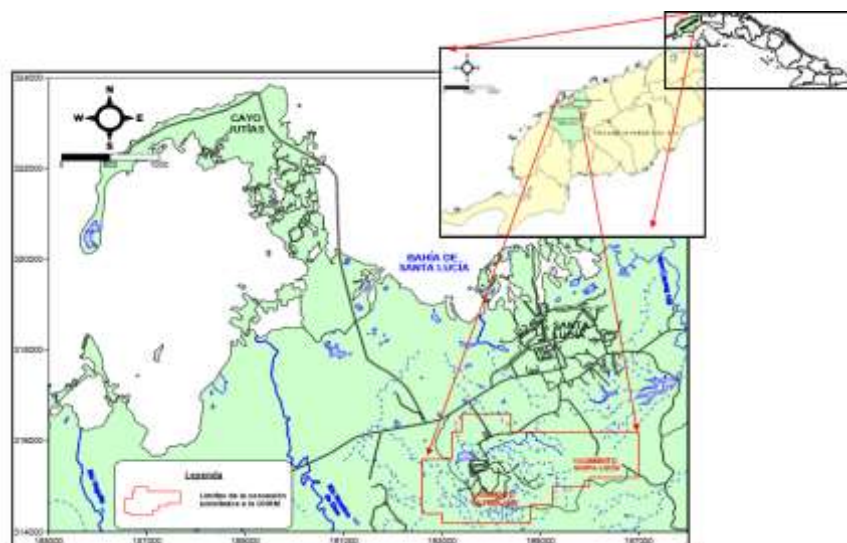


Figura 1. Ubicación geográfica del yacimiento polimetálico Castellano Fuente: Cuni-Calzada (2015).

Desde el punto de vista geológico, el yacimiento Castellano se ubica dentro de las unidades tectónicas de las Alturas Pizarrosas del Norte, en la zona estructuro-facial Guaniguanico. Afloran predominantemente las rocas de la parte meridional de la subzona estructuro-facial Sierra del Rosario, existiendo un marcado predominio en el corte de las formaciones terrígenas del Jurásico inferior al Cretácico inferior (Díaz-Carmona y Estrada-Núñez 2011).

El cuerpo mineralizado suele estar compuesto de una simple unidad o de tres unidades controladas estratigráficamente, una encima de otra, separadas por rocas encajantes formadas por pizarras negras carbonosas, caliza y dolomita (EMINCAR 2017).

La explotación del yacimiento se realiza por bancos de 6 m a 10 m de altura, utilizando el método convencional que emplea retroexcavadoras y camiones. La fragmentación de la roca se realiza mediante operaciones de perforación y voladura.

Durante la explotación de este yacimiento han tenido lugar algunos deslizamientos, atribuidos a diferentes causas: climáticas (abundantes lluvias), geológicas (intensos procesos de meteorización y tectónicas del macizo rocoso), ingenieriles (suelos con bajo ángulo de fricción interna, baja cohesión).

La existencia de una potente corteza de meteorización con un alto grado de agrietamiento de las rocas debido a la erosión y la tectónica del macizo, así como grandes volúmenes de agua subterránea, baja resistencia y alta deformabilidad del medio geológico contribuyen a la rotura del equilibrio en los taludes y cortes y, por consiguiente, al surgimiento e intensificación de los procesos de deslizamiento en la mina (Almaguer 2005; Almaguer y Guardado 2005).

El factor de seguridad (FS) constituye un elemento de referencia para evaluar la estabilidad de un talud (López-Jimeno 2000). Este factor puede entenderse como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla. Su valor permite conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña.

Las normas de seguridad exigen como valor mínimo del FS entre 1,2 y 1, 5 para los taludes finales (Ayala 2006). En el diseño original de explotación de la mina Castellano estas normas fueron respetadas, sin embargo, con la intensificación de los trabajos en los horizontes más profundos e intermedios

el FS alcanza valor de uno, lo que implica un estadio de equilibrio límite, que puede ocasionar deslizamientos.

A fin de precisar la condición actual de estabilidad de los taludes del yacimiento polimetálico Castellano, el objetivo de este estudio fue calcular el FS en tres escenarios distintos, representados por tres taludes, y bajo dos condiciones: considerando la influencia del efecto sísmico de la región y no contemplando este.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó el software *Slide v.6.0*, el cual calcula el factor de seguridad según métodos de equilibrio límites; en este caso aplicando los criterios de Bishop como parámetros de entrada.

2.1. Cálculo del factor de seguridad

El análisis de la estabilidad de taludes incluye un conjunto de procedimientos encaminados a la determinación de un índice que permite cuantificar el estado próximo de rotura de un talud o una ladera sometidos a factores condicionantes actuantes. Se calculó el factor de seguridad (FS), en dependencia de las propiedades físico-mecánicas de los materiales que conforman los taludes (Tabla 1).

Tabla 1. Propiedades físico mecánicas de los materiales del área de estudio

Dominio Geológico			Arenisca (Talud I)	Pizarra (Talud II)	Brecha (Talud III)
Peso unitario	g	kN/m ³	26,68	27,57	26,39
Cohesión de macizo rocoso	c'	MPa	0,985	0,525	1,067
Ángulo de fricción	f'	Grado	33,08	20,26	35,11
Resistencia a compresión simple	σ_c	Mpa	30	61	60

La relación entre el valor del FS y la estabilidad del talud es como sigue:

- FS < 1, talud inestable; el talud ante estas condiciones puede sufrir deslizamientos o roturas.
- FS = 1, condición límite de estabilidad asociada a una inminente rotura.
- FS > 1, se considera talud estable; cuanto mayor sea el factor de seguridad, menor será la posibilidad de que el talud sufra rotura cuando es sometido a condiciones críticas.

Los tres escenarios modelados para el análisis de la estabilidad en este estudio fueron los siguientes:

1. talud drenado (por encima del nivel freático) con grieta de tracción;
2. talud no drenado (por debajo del nivel freático);
3. talud bajo la acción de las cargas externas del equipamiento minero.

Según la norma NC 46-2012 del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI) para la región bajo estudio el coeficiente sísmico es de 0,258. El nivel freático se modeló a tres metros, según el informe hidrogeológico del área de estudio.

Para el cálculo del FS se utilizó el método simplificado de Bishop (ecuaciones 1 y 2):

$$FS = \frac{\sum[C.b+(W-u.b).Tang\phi/m_\alpha]}{\sum W.sen\alpha} \quad (1)$$

$$m_\alpha = \cos.\left(1 + \frac{Tang\alpha.Tang\phi}{FS}\right) \quad (2)$$

Donde:

w – peso de cada dovela

u - presión de los poros en la base de cada dovela, igual a $\gamma_w h_w$

b - Ancho de la dovela.

C, ϕ - Parámetros de resistencia del suelo.

α – Ángulo del radio y la vertical en cada Dovela.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2 muestra los valores obtenidos del FS en los tres frentes y bajo las dos condiciones de sismicidad consideradas.

Tabla 2. Valores de factor de seguridad en cada talud inestable

Frentes	FS sin coeficiente sísmico	FS con coeficiente sísmico
I Con grietas de tracción	0,414	0,281
II Con nivel freático	0,444	0,294
III Con cargas externas	0,340	0,281

3.1. Modelación de estabilidad del talud drenado, con grieta de tracción

La Figura 2 muestra el talud modelado para el primer escenario, con grietas de tracción. Como se aprecia, los valores del FS resultan por debajo del valor uno, lo que evidencia inestabilidad en el talud, incluso cuando se considera la acción sísmica en el frente. En estas condiciones, en el talud existe la posibilidad de rotura o fallo.

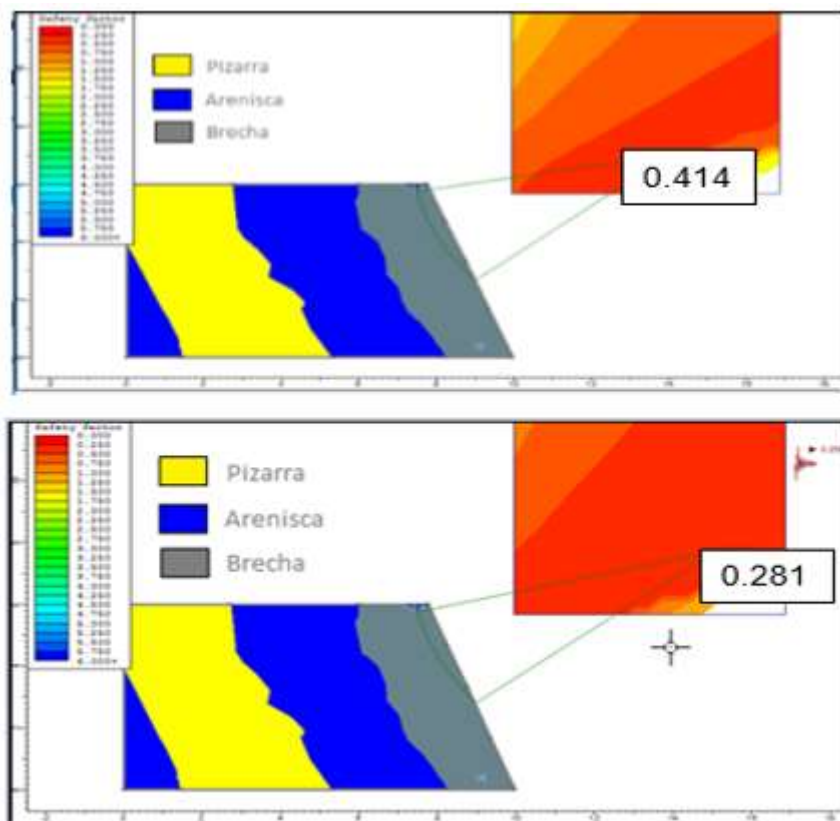


Figura 2. Factor de seguridad para el talud I sin coeficiente sísmico (arriba) y con coeficiente sísmico (abajo).

3.2. Modelación de estabilidad del talud no drenado

Al modelar el talud II, teniendo en cuenta el manto freático, también se obtuvieron valores del FS (Figura 3) por debajo de los valores límites de estabilidad. Esto significa, desde el punto de vista geotécnico, que mientras más cerca de la superficie se encuentra el nivel del agua, las presiones de poros son mayores, lo que influye en la disminución de la cohesión y fricción interna de las rocas, por lo que se debilita más el talud y el FS tiende a disminuir. La consideración del coeficiente sísmico disminuye aún más este valor.

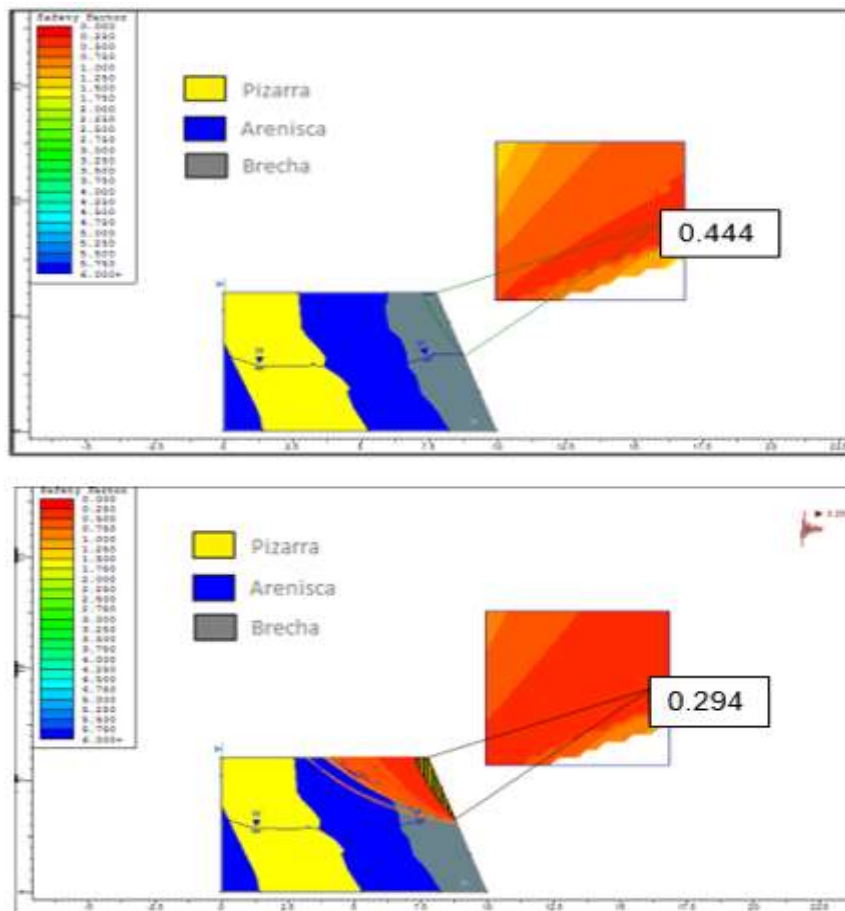


Figura 3. Factor de seguridad para el talud II con nivel freático, sin coeficiente sísmico (arriba) y con coeficiente sísmico (abajo).

Como se observa en la Figura 3, al no considerar el coeficiente de acción sísmica que influye en la región, el factor de seguridad es de 0,444. Ante estas condiciones el talud tendrá mayor posibilidad de rotura. Al considerar la acción sísmica, el factor de seguridad obtenido es de 0,294, lo que refleja igualmente un talud inestable; por lo que este escenario es igualmente inestable y en tales condiciones se producirá la rotura del talud. Además, existe correlación negativa entre aceleración sísmica horizontal (A_h) y FS; significa que a valores mayores de A_h , la componente normal de la gravedad que propicia la estabilidad decrece y las partículas de las rocas sufren mayor aceleración, por lo que el talud disminuye su estabilidad.

3.3. Modelación de estabilidad del talud bajo la acción de las cargas externas del equipamiento minero

En la Figura 4 se muestra la modelación de un perfil del talud III al que se aplican cargas externas de retroexcavadoras Liebherr R974C en el frente.

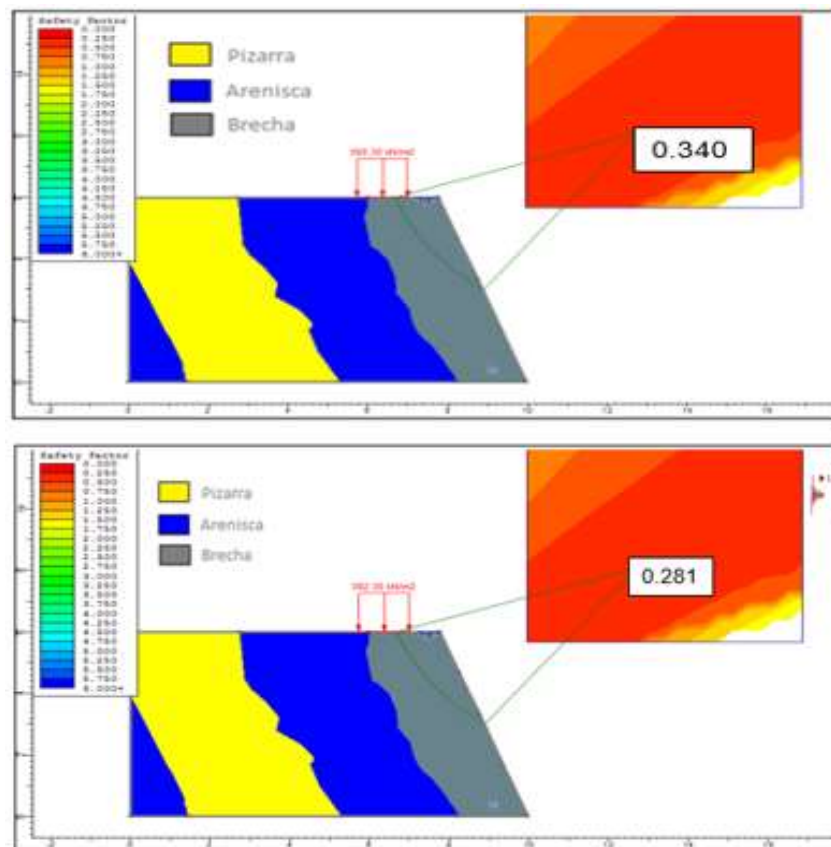


Figura 4. Factor de seguridad para el talud III al aplicar cargas externas en el talud, considerando coeficiente sísmico (arriba) y sin considerarlo (abajo).

La Figura 4 refleja que, al no tener en cuenta el coeficiente de acción sísmica que influye en la región, el factor de seguridad es bajo con un valor de 0,346; condición ante la cual en el talud será mayor la posibilidad de rotura. El análisis de los cálculos al aplicar cargas externas en el talud III, con coeficiente sísmico, muestra que el valor del FS es de 0,281. Este valor representa inestabilidad global del talud con alta posibilidad de rotura, contemplando que están por debajo del valor de referencia del FS para taludes estables.

No obstante a que en los tres escenarios se perciben valores del FS por debajo del valor límite de estabilidad (de 1,3), es evidente que en el escenario donde se aplican cargas externas se obtienen los valores más bajos.

Tener en cuenta el coeficiente de acción sísmica al analizar la estabilidad de los taludes y calcular su factor de seguridad es de gran importancia, ya que es un parámetro que afecta directamente la estabilidad de los taludes en los frentes de extracción.

3.4. Mecanismos de deslizamientos en el yacimiento Castellano

Los deslizamientos de taludes que se producen en el yacimiento Castellano se asocian a mecanismos que responden a diversas y complejas causales y condicionales del fallo, de su movilidad y su dinámica. Los principales riesgos asociados a los fenómenos de deslizamiento en este yacimiento se relacionan con la obstrucción y rotura de los bancos de mina, la inestabilidad de los cortes, las afectaciones en los sistemas de desagüe y drenajes y de las labores de extracción.

El yacimiento en estudio presenta agua en uno de los taludes (frente III), como se observa en la Figura 5, y una intensa erosión que provoca un acarreamiento característico. Durante este proceso las aguas superficiales actúan intensamente arrastrando las partículas finas y muy finas y creando cavidades que llegan a transformarse en grandes cárcavas que alteran, en gran medida, la estabilidad de los taludes; lo que aumenta su resistencia o disminuye el peso total y, por consiguiente, las fuerzas desestabilizadoras.

Los resultados aquí obtenidos evidencian la necesidad de implementar medidas de estabilización, tales como zanjas de drenaje, teniendo en cuenta que constituyen taludes inactivos en los que ya no se ejecutan labores mineras.



Figura 5. Percolación de agua en la base del talud III.

4. CONCLUSIONES

- Atendiendo al valor del factor de seguridad (FS) los tres escenarios analizados del yacimiento Castellano resultan inestables, tanto cuando se considera el coeficiente sísmico como cuando este no es tenido en cuenta.
- Los resultados sugieren la necesidad de implementar medidas de estabilización, como pudieran ser las zanjas de drenaje, considerando

que se trata de taludes inactivos donde ya no se realizan labores mineras

5. REFERENCIAS

- Almaguer, C. Y. 2005: *Evaluación de la susceptibilidad del terreno a la rotura por desarrollo de deslizamiento en el yacimiento Punta Gorda*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 108 p.
- Almaguer, C. Y. y Guardado, L. R. 2005: Caracterización ingeniero geológica del perfil de meteorización de rocas ultra-básicas serpentizado en el territorio de Moa, Cuba. *Minería y Geología*, 21(3).
- Ayala, F. J. 2006: *Manual de Ingeniería de taludes IGE*. España: Instituto Geológico y Minero de España. 3-19.
- Cuni-Calzada, J. 2015: *Aprovechamiento integral de las areniscas intemperizadas del yacimiento castellano*. Tesis de maestría. Universidad de Pinar del Río Hermano Saiz Montes de Ocas. Cuba. 97 p.
- Díaz-Carmona, A. y Estrada-Núñez, N. 2011: Estimación de recursos y reservas del yacimiento polimetálico Castellanos. Pinar del Río, Cuba.
- Empresa Minera del Caribe (EMINCAR S.A). 2017: Proyecto de la Concesión de Explotación y Procesamiento Castellanos. Pinar del Río, Cuba.
- López-Jimeno, C. 2000: *Manual de ingeniería de túneles*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- NC 46-2012: Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción. CENAI, Cuba.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron por igual.

ORCID

HVML, <https://orcid.org/0000-0003-4355-1075>

MCP, <https://orcid.org/0000-0003-0057-5261>

RLWQ, <https://orcid.org/0000-0001-9599-2310>

Recibido: 17/12/2019

Aceptado: 21/07/2020