

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



DISEÑO DE TALUDES PARA BOTADERO DE DESMONTE EN MINA CORIHUARMI

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

MARIO JUYAKI MAMANI ARACAYO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO, PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

DISEÑO DE TALUDES PARA BOTADERO DE DESMONTE EN MINA CORIHUARMI

PRESENTADO POR:

MARIO JUYAKI MAMANI ARACAYO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

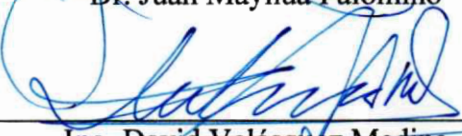
APROBADO POR:

PRESIDENTE:



Dr. Juan Mayhua Palomino

PRIMER MIEMBRO:



Ing. David Velásquez Medina

SEGUNDO MIEMBRO:



M.Se Lucio Quea Gutierrez

Área : Ingeniería de Minas.

Tema : Mecánica de rocas, geomecánica y geotecnia.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 30 de octubre de 2019

DEDICATORIA

A mis padres Mario y Dominga por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, a mis hermanas Maya y Yani por el apoyo incondicional que siempre me brindaron y a esta universidad en la cual aprendí y me formé profesionalmente.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece a la empresa Minera IRL S.A. Unidad Minera Corihuarmi por brindar la información requerida, así como la consultora Vector Perú S.A.C. por usar sus estudios preliminares, los cuales se usaron como base para la realización de este artículo y la consultora CGT Company junto a la cual se realizó este estudio.

ÍNDICE GENERAL**DEDICATORIA****AGRADECIMIENTO****ÍNDICE GENERAL****ÍNDICE DE FIGURAS****ÍNDICE DE TABLAS****RESUMEN**

1. INTRODUCCIÓN	9
2. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3. CONTROLES DE ESTABILIDAD	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	18
5. CONCLUSIONES.....	20
6. AGRADECIMIENTOS	20
7. REFERENCIAS.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Análisis de estabilidad de taludes usando Slide V.6.0.....	16
Figura 2 Puntos de monitoreo topográficos e inclinómetros instalados en el botadero de desmonte.....	18
Figura 3 Secciones de diseño de botadero para análisis de estabilidad.	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resultados de la caracterización de macizo rocoso mediante RMR.....	11
Tabla 2 Resultados de los ensayos de carga puntual.....	11
Tabla 3 Ubicación y profundidad de las calicatas realizadas sobre el botadero de desmonte.	12
Tabla 4 Ensayos realizados con el material extraído de las calicatas.	12
Tabla 5 Ensayos de densidad de campo realizados en las calicatas.....	13
Tabla 6 Resultados de ensayos de compresión triaxial del material extraído de las calicatas.	13
Tabla 7 Parámetros de diseño propuestos para el botadero de desmonte.	14
Tabla 8 Propiedades de materiales para análisis de estabilidad de taludes.	15
Tabla 9 Ubicación de los puntos de monitoreo topográfico.....	17
Tabla 10 Ubicación de los inclinómetros.	17
Tabla 11 Factores de seguridad para condiciones estáticas y pseudoestáticas.....	18
Tabla 12 Desplazamientos y velocidades de desplazamiento de los puntos de monitoreo.....	19

Diseño de taludes para botadero de desmonte en Mina Corihuarmi Slope design for waste dump – Corihuarmi mine

Mario Juyaki Mamani-Aracayo (0000-0001-5384-9057), Bachiller de la Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Av. Floral 1153, Ciudad Universitaria, Puno, Perú, mjuyaki.ma@gmail.com, 931287030

RESUMEN

Objetivos Determinar un diseño de taludes para la Ampliación del Botadero de Desmote de la Unidad Minera Corihuarmi que presente factores de seguridad aceptables para condiciones estáticas y pseudoestáticas. **Método** Para el diseño y posterior análisis de estabilidad es necesario recolectar información del terreno y el material a apilar, estos datos son: densidad in-situ, densidad seca, cohesión del material y ángulo de fricción interna, estos valores normalmente se obtienen mediante ensayos de laboratorio, por lo cual se requiere de una previa inversión económica. **Resultados** Los valores obtenidos del análisis de estabilidad de taludes usando el software Slide V 6.0 indican que con los parámetros de diseño planteados los factores de seguridad están por encima del mínimo considerado, tanto en condición estática y pseudoestática. Se añadió un control topográfico para controlar el posible desplazamiento de la estructura. **Conclusiones** Se verificó la estabilidad del diseño planteado usando el software Slide V 6.0, es importante resaltar que un factor de seguridad pseudoestático mayor a 1.1 no garantiza que la estructura no se vaya a mover durante un evento sísmico, lo que puede ocurrir es que ocurra un mínimo desplazamiento sin ocasionar daños a la estructura. También es de importancia tener controles para verificar la estabilidad de la estructura, como puede ser controles topográficos, instalación de inclinómetros o extensómetros de cable, con estos controles es posible certificar la estabilidad de la estructura.

PALABRAS CLAVE: Estabilidad, caracterización, geomecánica, factor de seguridad, controles.

ABSTRACT

Objectives Calculate a slope design for the “Ampliación del Botadero de Desmonte” of “Unidad Minera Corihuarmi” that presents an acceptable Safety Factor for static and pseudostatic conditions. **Method** For the design and the subsequent stability analysis it is necessary to collect information from the ground and the material to be stacked, these data are: in-situ density, dry density, material cohesion and angle of internal friction, these values are normally obtained by laboratory tests, therefore, a previous economic investment is required. **Results** The values obtained from the slope stability analysis using the Slide V 6.0 software indicate that with the design parameters proposed, safety factors are above the minimum considered, in static and pseudostatic conditions. A topographic control was added to control the possible displacement of the structure. **Conclusions** The stability of the proposed design was verified using the Slide V 6.0 software, it is important to highlight that a pseudostatic safety factor greater than 1.1 does not guarantee that the structure will not move during a seismic event, what can happen is a minimum displacement without casting damage to the structure. It is also important to have controls to verify the stability of the structure, such as topography controls, installation of inclinometers or cable extensometers, with these controls it is possible to certify the stability of the structure.

KEY WORDS: Stability, characterization, geomechanic, safety factor, controls.

1. INTRODUCCIÓN

La empresa Minera IRL S.A. en su Unidad Minera Corihuarmi se dedica a la explotación de oro en tajo abierto ubicado en el departamento de Junín, debido a la naturaleza de la explotación es necesario evacuar el material estéril (desmonte) hacia un depósito cercano para su almacenamiento y disposición final. El proyecto minero designó un área inicial para la disposición de desmonte, pero a causa de un nuevo cálculo de reservas minerales también se incrementó el volumen de desmonte a trasladar, por lo tanto, es necesario una nueva área o ampliación para poder almacenar este nuevo volumen.

La importancia del diseño de taludes tiene como finalidad evitar deslizamientos y posibles fallas de los botaderos o pads, y así evitar posibles impactos ambientales; los cuales pueden ser inmediatos (corto plazo) como pérdida de vidas humanas, destrucción de la estructura, paralización de operaciones mineras, pérdida de vida animal y vegetal debido a la falla, bloqueo de corrientes de agua, y a largo plazo como pérdida permanente de la vida acuática adyacente debido al material que generará ácido en contacto con el cuerpo de agua. (Rennat, 1997)

Para el diseño de taludes teniendo como fin la estabilidad del botadero de desmonte, debe iniciar con un proceso constructivo desde los cimientos, lo cual implica grandes cantidades en movimientos de tierras y por lo tanto una

gran inversión, esta es la razón principal por la cual la evaluación económica es un factor determinante para hallar el diseño óptimo, el cual debería implicar la menor cantidad de movimiento de tierras y que albergue el mayor volumen. (Matteis, 2003)

Para la construcción de botaderos de desmonte debe realizarse un estudio diferente para cada caso, debido a la naturaleza propia de la ubicación del proyecto minero y el material a depositar, tal es el caso de la empresa W&J Minería y construcción SAC, que, al no tener una clasificación de sus desmontes y una correcta secuencia de llenado, se ven en la necesidad de diseñar un botadero que cumpla con la estabilidad buscada. (Cuzco Llanos & Correa Sánchez, 2018)

También se puede rediseñar los taludes de un botadero existente, se toma esta decisión gracias a los monitoreos continuos que se realizan sobre los componentes ya construidos, para mejorar la estabilidad de la estructura y también evitar la percolación de escorrentía que puedan originar aguas ácidas. (Ortiz Quintanilla, 2011)

El presente estudio busca proponer un nuevo diseño de taludes que cumpla con la estabilidad del botadero de desmonte para condiciones estáticas-pseudoestáticas y la capacidad máxima de almacenamiento, para posteriormente realizar el monitoreo de estabilidad de taludes mediante control topográfico de puntos de monitoreo del botadero de desmonte, como también mediante

el uso de inclinómetros y así corroborar la efectividad del diseño.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el diseño de taludes de la Ampliación del Botadero de desmote de la Unidad Minera Corihuarmi es necesario primero la obtención de datos locales (Geología local, características del macizo rocoso, características del material a apilar en el depósito e hidrología), ensayos en laboratorio para obtención de la cohesión, ángulo de fricción y un análisis de estabilidad para hallar el factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

2.1 GEOLOGÍA Y EXPLORACIÓN DEL TERRENO

Los estudios geológicos y geotécnicos anteriores realizados para el primer diseño del botadero demostraron que en la zona circundante se identificaron 05 unidades geotécnicas: Bofedal (Unidad Geotécnica I), Deposito Coluvial y Deposito Coluvio/aluvial (Unidad Geotécnica II), Deposito Morrénico y Coluvio/glacial (Unidad Geotécnica III), Deposito Residual (Unidad Geotécnica IV) y Basamento Rocosos (unidad Geotécnica V) (Minera IRL S.A., 2008).

La cimentación del primer diseño de botadero de desmote se realizó sobre las Unidades Geotécnicas II y V que corresponde a depósitos coluviales y basamento rocoso, respectivamente (Minera IRL S.A., 2008).

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO

Clasificación de macizo rocoso

Para el primer estudio del botadero de desmote se caracterizó la calidad del macizo rocoso mediante el sistema RMR (Bieniawski, 1989), los valores de RQD se tomaron del registro geomecánico de las perforaciones diamantinas realizadas, el espaciamiento de discontinuidades se calculó como valor inverso a la frecuencia de fracturas naturales presentes en el testigo por unidad de longitud, la condición de discontinuidades se ha estimado en forma global, la resistencia de la roca ha sido estimada mediante martillo de geólogo y posteriormente por ensayos de laboratorio, para la condición de agua saturada se asumió que el macizo rocoso se encuentra en una condición de húmeda a saturada, aunque no se encontró presencia del nivel freático cuando se realizaron las perforación de diamantina (Minera IRL S.A., 2008).

Con los datos recolectados se realizó la caracterización del macizo rocoso, clasificándose como roca de calidad mala. Dada la naturaleza del proyecto que no contempla la presencia de cargas concentradas, se puede concluir que la cimentación profunda presenta continuidad, resistencia y condiciones favorables de cimentación para la estructura proyectada (Minera IRL S.A., 2008).

Tabla 1

Resultados de la caracterización de macizo rocoso mediante RMR.

UBICACIÓN	PERFORACIÓN	RMR TOTAL	PROMEDIO	DESCRIPCIÓN
Botadero de	WD05-BH01	22		Roca Mala
Desmante	WD05-BH02	38		Roca Mala

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

Ensayo de carga puntual

Se efectuaron 2 ensayos de cargar puntual en la muestra de roca obtenida de las perforaciones, con la finalidad de obtener su resistencia

compresiva, este ensayo sigue los procedimientos de la norma ASTM D5731 (Committee D18 on Soil and Rock, 2008).

Tabla 2

Resultados de los ensayos de carga puntual.

UBICACIÓN	PERFORACIÓN	PROFUNDIDAD (m)	LITOLOGÍA	CARGA PUNTUAL		GRADO DE DUREZA
				Is (50) (Mpa)	σ_c (Mpa)	
Botadero de	WD-BH01	24.55	Dacita	0.78	17.70	Roca Mala
Desmante	WD-BH02	20.00	Dacita	0.85	19.00	Roca Mala

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

Con los datos anteriores calculados se procede al cálculo de parámetros geotécnicos:

De acuerdo a los criterios de Hoek y Brown, considerando una altura de apilamiento del desmante de 50 m, un valor de GSI=15, roca dacita, resistencia a la compresión uniaxial de 17.7 Mpa y un confinamiento de 2.24 MPa, se obtiene un valor de cohesión de 0.372 Mpa y un ángulo de fricción de 32° (Vector Peru S.A.C., 2009).

2.3 MATERIAL DEL DEPÓSITO DE DESMONTE

Investigaciones geotécnicas

Se realizó excavaciones de calicatas a cielo abierto en el cuerpo del botadero existente, con una profundidad no menor a 3 metros para llegar a la roca según indicación de la norma E.050 de suelos y cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (Minam, 2015).

Tabla 3

Ubicación y profundidad de las calicatas realizadas sobre el botadero de desmonte.

CALICATA	MUESTRA	WGS84 - ZONA 18 S			PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD DE NIVEL FREÁTICO (m)
		ESTE	NORTE	COTA		
TP-01	M-1	409,302	8,610,125	4,852	4.50	N.A.
TP-02	M-2	439,343	8,610,254	4,829	4.20	N.A.
TP-03	M-3	439,428	8,610,154	4,755	5.00	N.A.

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

El material extraído de las calicatas fue sometido a diversos ensayos: Análisis granulométrico por tamizado ASTM D422 (Committee D18 on Soil and Rock, 2007), Límites de Atterberg ASTM D4318 (Committee D18 on Soil and Rock, 2005) y Contenido de Humedad ASTM D2216 (Committee D18 on Soil and Rock, 1998). Se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 4

Ensayos realizados con el material extraído de las calicatas.

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	GRANULOMETRÍA (%)			LÍMITES (%)			C.H. (%)	CLASIFICACIÓN SUCS
		GRAVA	ARENA	FINOS	L.L.	L.P.	I.P.		
MUESTRA									
TP-01 / M-1	4.50	37.4	42.2	20.4	19.0	15.0	4.0	6.7	GC-GM
TP-02 / M-2	4.20	43.3	37.2	19.5	22.0	16.0	6.0	6.2	GC-GM
TP-03 / M-3	5.00	6.7	61.0	32.3	37.0	17.0	20.0	5.2	SC

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

Densidad de campo – Cono de arena

Para estimar la densidad natural del material de desmonte presente en el depósito se realizaron 03 ensayos de densidad de campo (cono de arena) dentro de las calicatas mencionadas, el cual consiste en realizar un pequeño hoyo en el terreno para luego llenarlo de arena, la cual tiene una densidad conocida (Arena Ottawa),

luego se mide el material extraído y el volumen de arena que lo reemplaza, de esta forma se obtiene la densidad húmeda de campo, este procedimiento fue realizado siguiendo las recomendaciones de Norma Técnica Peruana NTP 339.143:1999 (Comité Técnico de Normalización Permanente de Geotecnia, 2000).

Tabla 5

Ensayos de densidad de campo realizados en las calicatas.

CÓDIGO	PROFUNDIDAD	DENSIDAD	HUMEDAD	DENSIDAD	UBICACIÓN / ORIGEN
	(m)	HÚMEDA (gr/cm ³)	(%)	SECA (gr/cm ³)	
SC-01	4.50	1.65	1.80	1.62	TP-01
SC-02	4.20	1.92	1.50	1.89	TP-02
SC-03	5.00	1.75	2.20	1.71	TP-03

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

Ensayo de compresión triaxial

De la misma ubicación de las calicatas realizadas se tomaron 01 muestra por calicata para realizar ensayos de corte triaxial consolidado no drenado (CU), con medición de poros y en condición saturada para muestras

provenientes del material del desmonte de mina. Los ensayos se realizaron según los procedimientos mencionados en la norma ASTM D4767 (Committee D18 on Soil and Rock, 2015).

Tabla 6

Resultados de ensayos de compresión triaxial del material extraído de las calicatas.

SONDAJE	PROFUNDIDAD	SUCS	c	Ø	c'	Ø'
	(m)		(kg/cm ²)	(°)	(kg/cm ²)	(°)
TP-01	4.50	GC-GM	0.00	27.0	0.17	33.7
TP-02	4.20	GC-GM	0.10	31.0	0.29	33.7
TP-03	5.00	SC	0.15	22.8	0.28	27.8

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

2.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros considerados para este diseño son los siguientes:

Tabla 7*Parámetros de diseño propuestos para el botadero de desmonte.*

PARÁMETROS	UND	VALORES
Altura de banco	m	10.00
Ancho de banco	m	11.48
Angulo de talud de banco	°	37
Angulo de talud global	°	22
Berma de seguridad	m	> 3/4 del diámetro de la llanta del vehículo más grande de la mina.
Rampa - ancho	m	>= 3 veces el ancho del vehículo más grande de mina para vías de doble sentido, >= 2 veces el ancho del vehículo más grande de mina para vías de un sentido.
Rampa - gradiente	%	<= 12%
Rampa de alivio	%	>5% diagonales a las vías existentes.

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

Los ángulos de talud de banco y talud global elegidos son los mismos que el Pad de Lixiviación, ya que el material de desmonte presenta las mismas características que el mineral destinado al Pad.

Se eligió una altura de banco de 10 m porque ya se tienen rampas construidas a esas alturas.

El ancho de banco de 11.48 m fue escogido para reducir la velocidad de rodamiento de rocas de mayor tamaño hasta la detención.

2.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Con los datos recolectados del macizo rocoso y el material de desmonte que se depositará se elabora el siguiente cuadro de propiedades de materiales.

Tabla 8
Propiedades de materiales para análisis de estabilidad de taludes.

MATERIAL	DESCRIPCIÓN	γ SECO (kN/m³)	γ SATURADO (kN/m³)	c (kN/m²)	Ø (°)
Desmante	Material de relleno conformado principalmente por roca fragmentada en matriz fina producto de las operaciones mineras.	17	19	23	35
Material Residual	Material conformado por un suelo, arena arcillosa de baja plasticidad, cuya superficie esta afecta a la erosión pluvial (Vector Peru S.A.C., 2009)	18	19	20	28
Macizo Rocoso	Macizo rocoso de origen ígneo volcánico conformado por intercalación de rocas andesíticas y piroclastos (Vector Peru S.A.C., 2009).	22	23	75	28

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

El análisis de estabilidad de taludes del botadero fue realizado utilizando el software Slide V 6.0 (Rocsience), el cual es un programa que provee una total solución del acoplamiento de las ecuaciones de esfuerzo/desplazamiento, equilibrio y constitutivas para determinar los factores mínimos de seguridad contra el

desplazamiento potencial. Los modelos de Slide utilizan valores de debilidad ubicua definidos para cada dominio estructural por conjunto de grupos para tomar en cuenta las propiedades materiales totales del macizo rocoso.

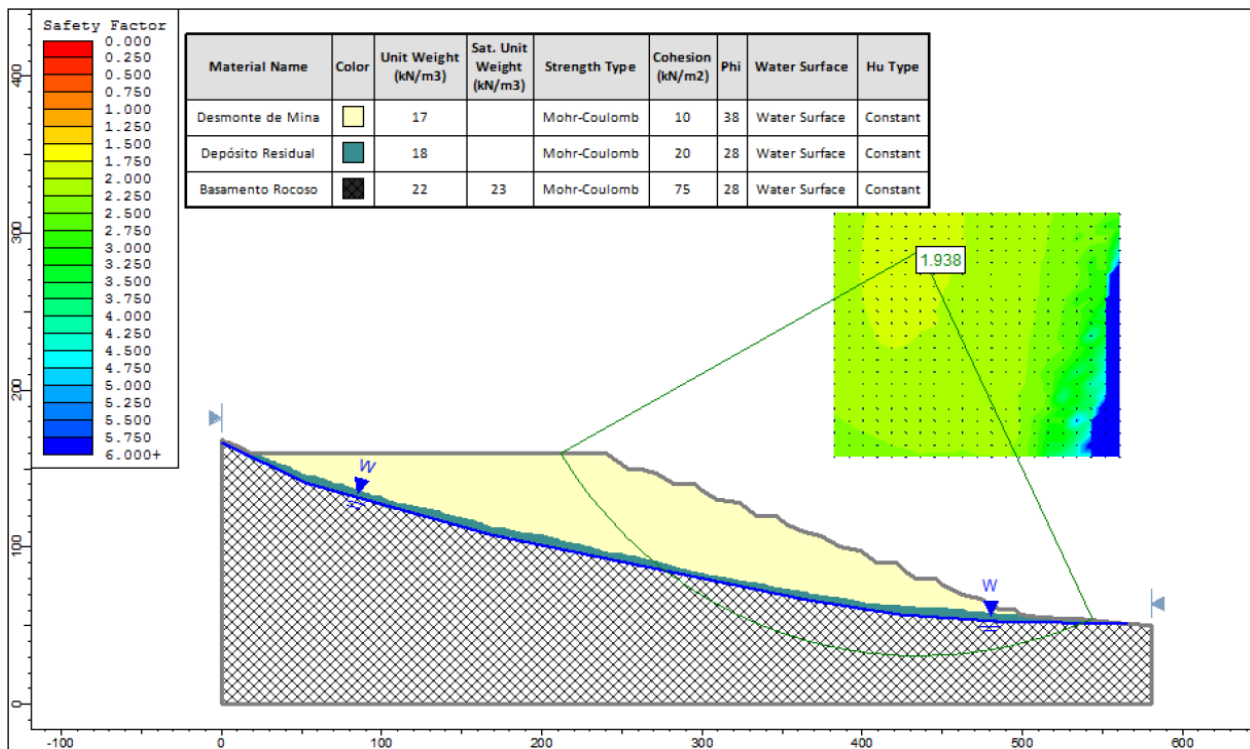


Figura 1 Análisis de estabilidad de taludes usando Slide V.6.0.

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

Al utilizarse los resultados de laboratorio del muestreo de roca intacta y añadir los resultados de las pruebas de laboratorio de los conjuntos de grupos se toma en cuenta la discrepancia RMR y se permite representar con exactitud el macizo rocoso total en los modelos de estabilidad de taludes.

El modelado se llevó a cabo en 2 etapas: en la primera etapa se utilizaron modelos generales dentro de cada dominio para determinar los conjuntos de grupos críticos; y, en la segunda etapas se utilizaron modelos más detallados con geología por capas y condiciones de relleno.

Los criterios de evaluación para el análisis es el siguiente:

- Factor de Seguridad en condición estática: >1.5
- Factor de Seguridad en condición pseudoestática: >1.1
- Aceleración de diseño = 0.19g

3. CONTROLES DE ESTABILIDAD

Una vez realizado la construcción siguiendo el diseño propuesto se debe monitorear la efectividad del mismo, mediante controles de estabilidad, para este caso se tienen 2 tipos de controles.

3.1 MONITOREO TOPOGRÁFICO

Se instalaron 3 puntos de monitoreo en el botadero de desmante (PGBD-01, PGBD-02 y PGBD-03), con la finalidad de monitorear los desplazamientos que pueda tener la estructura.

El levantamiento topográfico de los puntos se realiza una vez al mes para monitorear posibles desplazamientos en cada punto.

Tabla 9
Ubicación de los puntos de monitoreo topográfico.

PUNTOS DE MONITOREO	COORDENADAS UTM WGS84 18S		
	ESTE	NORTE	COTA
PGBD-01	439,199.58	8,610,067.65	4,862.89
PGBD-02	439,254.01	8,610,065.57	4,857.40
PGBD-03	439,198.72	8,610,180.56	4,848.75

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

3.2 CONTROL CON INCLINÓMETROS

Se realizó la instalación de 2 inclinómetros (P-1 y PO-18) ubicados en los primeros niveles del botadero y en la base, para monitorear el desplazamiento del material apilado y el posible desplazamiento de la fundación.

La lectura de inclinómetros se realiza una vez por año, ya que el costo de la lectura de este

tipo de instrumentación es elevado.

Tabla 10
Ubicación de los inclinómetros.

INCLINÓMETROS INSTALADOS	COORDENADAS UTM WGS84 18S		
	ESTE	NORTE	COTA
PO-18	439,577	8,610,332	4,774
P-1	439,506	8,610,305	4,766

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

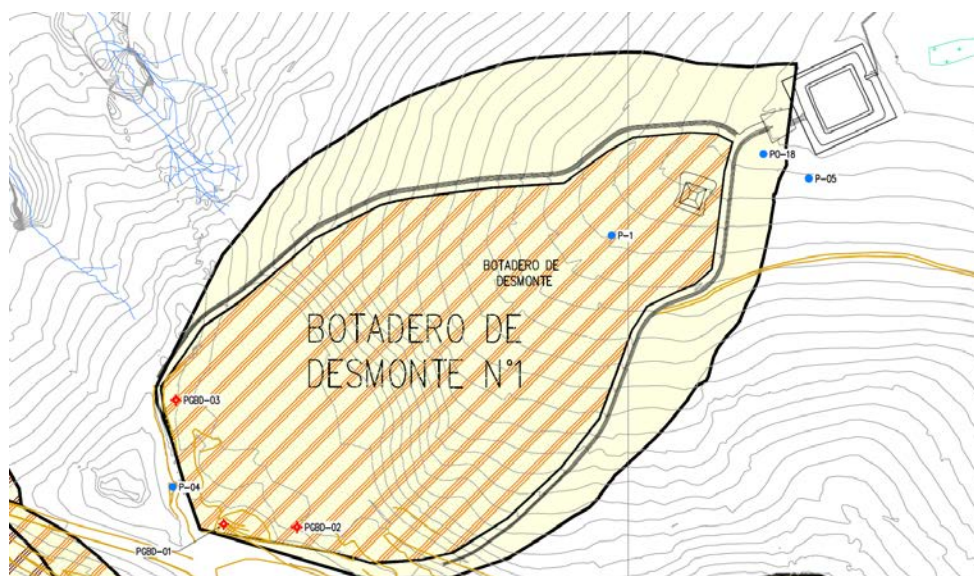


Figura 2 Puntos de monitoreo topográficos e inclinómetros instalados en el botadero de desmonte.

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se realizó el análisis de estabilidad de taludes en 3 secciones usando los parámetros de diseño escogidos, las propiedades de materiales (Peso específico húmedo, peso específico seco, cohesión y ángulo de fricción interna), y la aceleración de diseño propuesta, obteniendo los siguientes valores:

Tabla 11

Factores de seguridad para condiciones estáticas y pseudoestáticas.

SECCIÓN	FACTOR DE SEGURIDAD (F.S.)	
	Estático	Pseudoestático con α
Sección A-A'	1.938	1.168
Sección B-B'	1.799	1.105
Sección C-C'	1.995	1.247

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

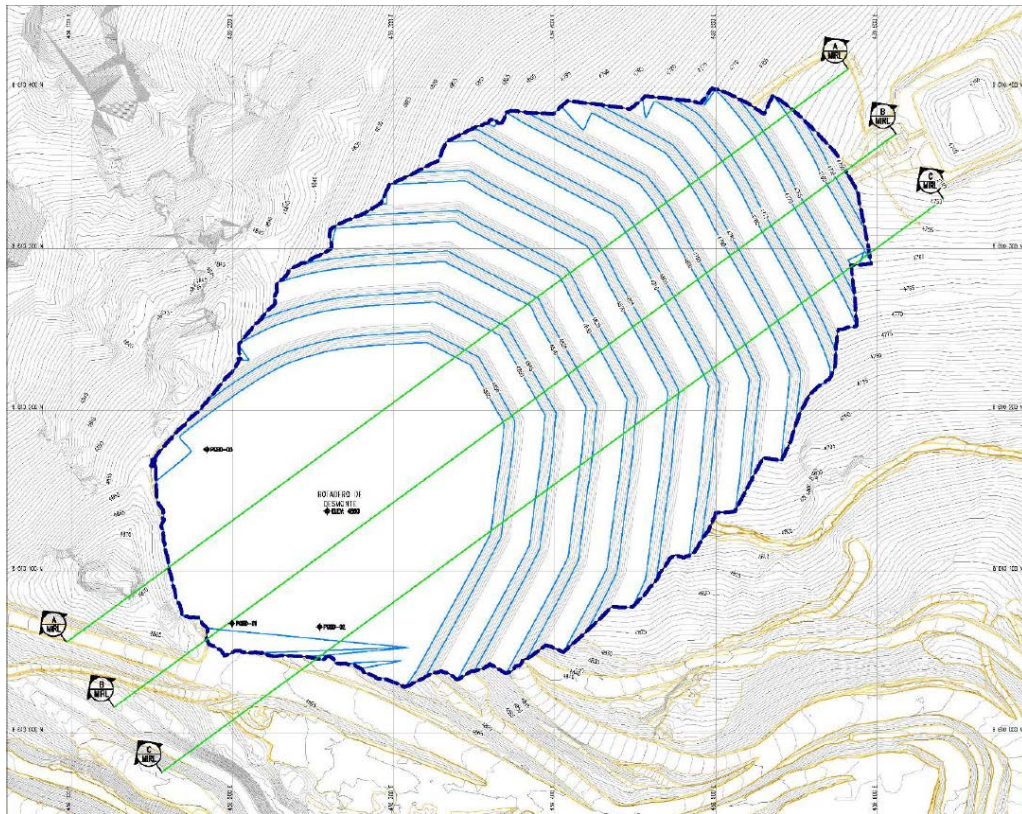


Figura 3 Secciones de diseño de botadero para análisis de estabilidad.

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

Se realizó controles topográficos ubicados en 03 puntos en las banquetas del botadero de desmonte, con el fin de controlar su desplazamiento y verificar la estabilidad del talud a través del tiempo.

Se realizó levantamientos topográficos mensuales durante un año después de iniciar el apilamiento con el nuevo diseño obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 12
Desplazamientos y velocidades de desplazamiento de los puntos de monitoreo.

PUNTOS	VECTOR DE DESPLAZAMIENTO (cm)	VECTOR DE DESPLAZAMIENTO (cm/día)		
		X	Y	Z
PGBD-01	2.60	0.04	0.08	-0.02
PGBD-02	1.32	0.04	-0.01	0.02
PGBD-03	3.18	0.10	0.02	0.00

Fuente: Elaborado en coordinación con CGT Company

Se evidencia que los máximos desplazamientos en los puntos de monitoreo están en 3cm, así como su vector de desplazamiento diario no supera el milímetro diario.

Como monitoreo final se realizan lecturas de los inclinómetros, estos inclinómetros fueron instalados recientemente en el año 2018, por lo cual se realizó la lectura patrón, para corroborar la estabilidad se debe seguir realizando la lectura en periodos anuales para monitorear el desplazamiento, estos inclinómetros suelen tener profundidades promedio de 50m.

5. CONCLUSIONES

Como se ve en los resultados, con los parámetros de diseño planteados y el análisis de estabilidad de taludes mediante el software Slide V 6.0 indica que los factores de seguridad F.S. para la condición estática no disminuye de 1.799 en los 3 análisis superando el mínimo considerado de 1.5, de igual forma para la condición pseudoestática el valor mínimo es 1.105 el cual está muy cercano al valor mínimo 1.1.

Con estos valores podemos interpretar que el diseño propuesto del botadero de desmonte es estable en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

Cabe indicar que un factor de seguridad pseudoestático mayor a 1.0 no indica que el botadero no se moverá durante un evento sísmico, lo que probablemente suceda es que los desplazamientos sean mínimos y que no se

producirán daños asociados al terremoto de diseño (Minera IRL S.A., 2008).

Con respecto al control topográfico de los puntos de monitoreo geotécnicos se evidencia que los valores de desplazamiento mensual no exceden en 3 cm y el desplazamiento por día, 0.1cm, esto indica que el posible origen de los 3cm desplazamiento es debido al asentamiento natural del material depositado continuamente.

Finalmente, este estudio demuestra el proceso y la importancia de la colección de información para el diseño de taludes de un botadero de desmonte; sin embargo el proceso de análisis de estabilidad de taludes no acaba ahí, también es importante tener un control periódico de los posibles desplazamientos de la estructura, pudiendo ser control topográfico (más viable debido a bajo costo en proyectos en operación), instalación de Inclinómetro de superficie (costo elevado y sensible a movimientos de cizalla que podría obturar la tubería instalada, Extensómetro de cable (solo aplicable en estructuras finalizadas), entre otros.

6. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la empresa Minera IRL S.A. Unidad Minera Corihuarmi por brindar la información requerida, así como la consultora Vector Perú S.A.C. por usar sus estudios preliminares, los cuales se usaron como base para la realización de este artículo y la

consultora CGT Company junto a la cual se realizó este estudio.

7. REFERENCIAS

- Bieniawski. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications.pdf* (p. 250). p. 250.
- Comité Técnico de Normalización Permanente de Geotecnia. (2000). *Norma tecnica peruana -NTP 339.143.1999*.
- Committee D18 on Soil and Rock. (1998). ASTM D 2216. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Committee D18 on Soil and Rock. (2005). *ASTM D 4318*. 32.
- Committee D18 on Soil and Rock. (2007). *ASTM D 422*. 15.
- Committee D18 on Soil and Rock. (2008). *ASTM D 5731*. 19.
- Committee D18 on Soil and Rock. (2015). *ASTM D 4767*. 20.
- Cuzco Llanos, C. S., & Correa Sánchez, F. (2018). *Diseño de botaderos para los residuos de la producción de óxido de calcio en la concesión Colquirrumi N° 49-B, Provincia de Hualgayoc, departamento Cajamarca, 2018*. Universidad Privada del Norte.
- Matteis, Á. F. de. (2003). Geología y Geotecnia Tema : Estabilidad de taludes. *Universidad Nacional de Rosario*, 42.
<https://doi.org/10.1126/science.1141199>
- Minam. (2015). Norma E.50 Suelos y cimentaciones - Reglamento nacional de edificaciones. *Norma*, 55.
- Minera IRL S.A. (2008). *Informe de ingeniería botaderos de desmonte y material inadecuado Proyecto Corihuarmi, Yauyos, Lima, Peru*.
- Ortiz Quintanilla, S. M. (2011). *Impacto ambiental producido por los botaderos de desmonte y Pads de lixiviación en la mina Santa Rosa de Puno*. Recuperado de <http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/702/TM0008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rennat, E. A. (1997). *Guia ambiental para la estabilidad de taludes de depositos de desechos solidos de mina*.
- Vector Peru S.A.C. (2009). *Estudio de Ingeniería de Detalle Modificación del Diseño Botadero de Desmonte Proyecto Corihuarmi* (Vol. 2).