CODELCO Salvador	**NOTA GEOTECNICA**
A: Claudia Arancibia F. **Jefe de Sustentabilidad** DE: Pablo Valdivia Muñoz **Ingeniero Geotécnico DSAL**	**FECHA: 16/03/2018**
CC: Eduardo Morales P; Manuel Mansilla O.; Alex Tapia G.; Ernesto Ortiz A.; Alejandra Acuña R.	
REF: Bases geotécnicas de diseño y cubicación de Tonelaje Botadero de Escorias Históricas - Potrerillos.	

1. INTRODUCCIÓN

Se solicita el Diseño y Planificación de explotación de Botadero de Escorias, considerando los parámetros geotécnicos, geometría y secuenciamiento de explotación del botadero de escorias.

Las escorias son un subproducto de la fundición de la mena. Antiguamente se consideraban un producto de rechazo de operaciones debido a que no se disponía de la tecnología necesaria para recuperar el cobre contenido en ellas.

El Botadero de Escorias, **ver figura 1**, contiene aproximadamente 9 millones de toneladas con una ley media de 0.79% de cobre y 0.35% de molibdeno. Como los principales minerales de cobre son la bornita, calcopirita y calcosina, entre otros, la recuperación se realizará mediante el proceso de flotación dedicada.



Figura 1: Botadero de Escorias - Potrerillos.

Se realiza un diseño y análisis de estabilidad utilizando programa computacional SLIDE V 6.0 (Rocscience, 2005) utilizando un perfil representativo a nivel global en condición estática, sismo operacional y terremoto Máximo Probable.

2. OBJETIVOS

- Generar las bases Geotécnicas de Diseño y Cubicación de Botadero de Escorias - Potrerillos.

3. ALCANCES

- Se analiza la estabilidad global, al diseño propuesto por Unidad de Geotecnia para el botadero de escorias mencionado.
- Se considera un análisis de un perfil representativo de la explotación.
- El análisis de estabilidad del diseño propuesto se realizó mediante la utilización de técnicas de equilibrio límite en dos dimensiones (Slide v6.0, Rocscience, 2005).
- Los análisis fueron realizados bajo condiciones estáticas y pseudo estáticas (sismo de operación y terremoto máximo probable).
- Los resultados del análisis de estabilidad son expresados en términos del Factor de Seguridad y la Probabilidad de Falla.
- No se considera humedad ni presencia de niveles freáticos al interior del cuerpo del botadero de escorias.
- Las propiedades geotécnicas de los materiales son citados de Análisis de Estabilidad Botaderos de Escorias" Nota Geotécnica NT – DSAL – EE – 10 – 2012 de DERK Ltda.

4. ANTECEDENTES Y FUENTES DE INFORMACIÓN

Los principales antecedentes utilizados en el desarrollo de este informe corresponden a los siguientes:

Informes Técnicos citados:

- DERK Ingeniería y Geología Ltda. (2012): "Análisis de Estabilidad Botaderos de Escorias" Nota Geotécnica NT – DSAL – EE – 10 – 2012 de DERK Ltda. preparado para División Salvador, Codelco CHILE.

5. Bases Geotécnicas de Diseño

El diseño propuesto es evaluado mediante un perfil, **ver figura 2.**

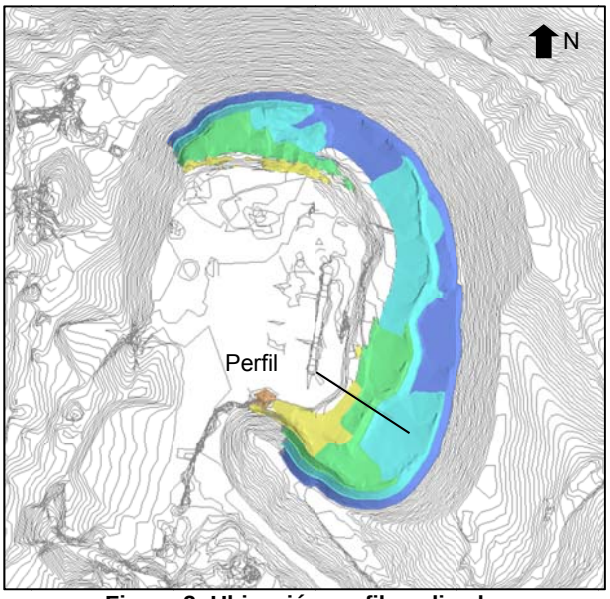


Figura 2: Ubicación perfil analizado.

Material	Altura de Banco (m)	Ancho de Berma (m)	Ángulo de talud (°)	Ángulo Interrampa (°)	Altura interrampa (m)	Berma Desacople (m)
Escorias	5.0	3.0	37	27	25	10

Tabla 1: Parámetros de diseño Botadero de escorias.

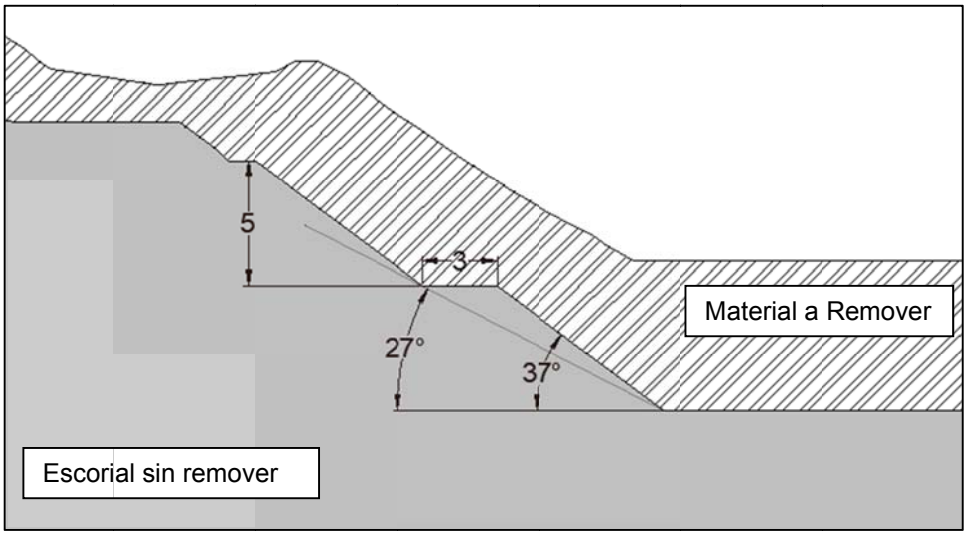


Figura 3: Perfil analizado.

6. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Se considera que el material depositado en el botadero estará caracterizado como un suelo de propiedades de resistencia puramente friccionantes. Los parámetros de resistencia y propiedades índices se presentan en **Tabla 2.**

Material	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción (°)	Peso específico (kN/m3)	Humedad (%)
Fundación	100	37	22	0
Escorias	50	35	19	0

Tabla 2: Parámetros geotécnicos utilizados en análisis.

7. CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD

Los criterios de aceptabilidad considerados, por la Unidad de Geotecnia DSAL para este tipo de instalación minera, en esta evaluación, corresponden a los siguientes:

- Condición Estática **FS** ≥1.20 y **PF** ≤15%
- Condición Sísmica (Sismo Operacional) **FS** ≥1.10 y **PF** ≤25%
- Condición Sísmica (Terremoto Máximo Probable) **FS** ≥1.00 y **PF** ≤50%

Donde:

FS: Factor de Seguridad.
PF: Probabilidad de Falla.

8. PARÁMETROS SÍSMICOS

La sección analizada se estudió para la situación estática y dinámica. La situación dinámica se simuló mediante análisis pseudo-estáticos, donde las fuerzas de inercia debido a movimientos sísmicos, son representadas por una fuerza horizontal equivalente al peso de una potencial masa deslizante multiplicada por el coeficiente sísmico. El valor del coeficiente sísmico horizontal utilizado en este estudio es:

Sismo Operación **Coeficiente sísmico (Kh)** = 0.04

Terremoto Máximo Probable **Coeficiente sísmico (Kh)** = 0.13

9. Cubicación del Botadero de Escorias Históricas - Potrerillos

La extracción del botadero contempla, Figura 4:

Secuenciamiento en etapas mensuales utilizando como diseño: 5 metros de altura en un ángulo de inclinación de 37° (ángulo de reposo del material), con bermas de 3 metros.

Altura máxima de la pila respecto de la fundación es de 50 metros. Ángulo de interrampa de 27° con una altura interrampa de 25 metros. La berma de desacople es de 10 metros.

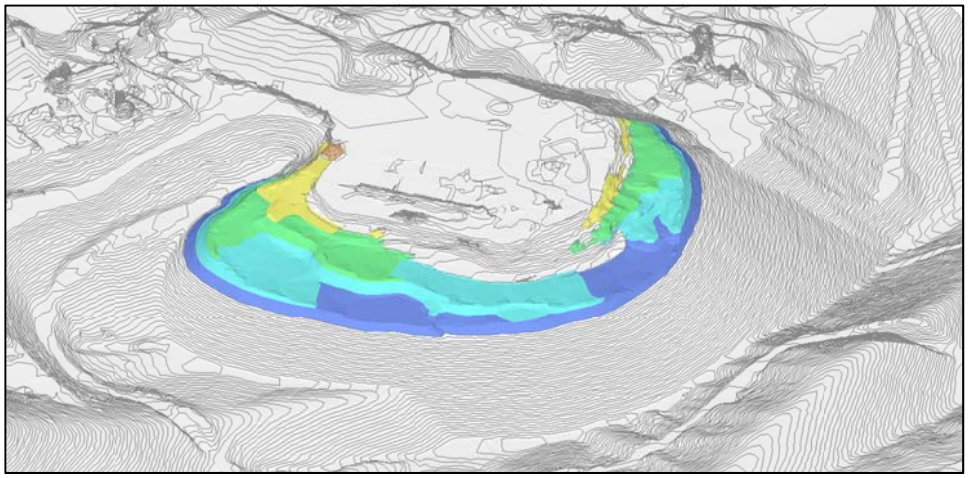


Figura 4: Isométrica Botadero Escorias, diferenciado por banco.

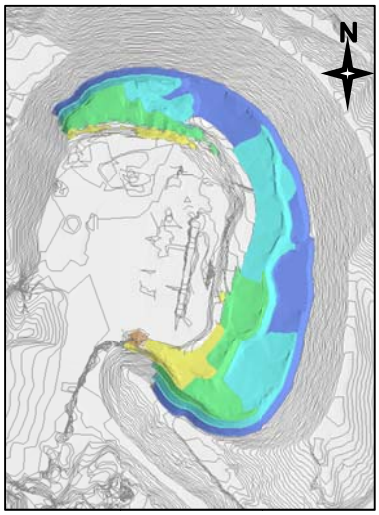


Figura 5: Etapas botadero de Escorias por Banco.

Color	Banco	Tonelaje (ton)
	2895	741.7
	2890	5.356,1
	2885	36.452,1
	2880	102.769,1
	2875	190.794,9
Total		336.114

Tabla 3: Tonelaje por Banco botadero de escorias.

10. ANÁLISIS DE EQUILIBRIO LÍMITE

El procedimiento de análisis utilizado para evaluar la estabilidad del diseño de botadero propuesto fue el siguiente:

Se evaluó la probabilidad de falla en geometría de botadero analizada. Para esto se supuso que la incerteza en las propiedades de resistencia pueden representarse mediante coeficientes de variación del ±10% y del ±40% para el ángulo de fricción y la cohesión, respectivamente.

Luego, para el cálculo de la probabilidad de falla se considerará una distribución normal, aplicadas a parámetros de ángulo de fricción y cohesión.

No se consideró la presencia de niveles freáticos al interior del cuerpo del botadero.

11. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Los resultados del análisis global para la Condición Estática, de Sismo Operacional y de Terremoto Máximo Probable, se presentan en Tabla 4.

FACTORES DE SEGURIDAD Y PROBABILIDAD DE FALLA BOTADERO DE ESCORIAS					
ESTATICO		SISMO OPERACIONAL (SO)		TERREMOTO MÁXIMO PROBABLE (TMP)	
FS	PF (%)	FS	PF (%)	FS	PF (%)
2.9	0.03	2.6	0.08	2.2	0.37

Tabla 4: Resultados análisis de estabilidad global botadero Escorias.

12. CONCLUSIONES

- A nivel global, para condición estática, sismo operacional y terremoto máximo probable la geometría analizada cumple con los criterios de aceptabilidad definidos, para este tipo de plataformas de botadero, por la Unidad de Geotecnia DSAL.
- Podrán existir desprendimientos menores a nivel de capas tipo flujos laminares de acuerdo a la actividad propia de la operación y condición del material, en función del secuenciamiento de extracción y geometrías preliminares que se obtengan. Esto, a juicio de la Unidad Geotecnia, no generaría un efecto en la estabilidad global y a nivel de capas de la Plataforma.

13. RECOMENDACIONES

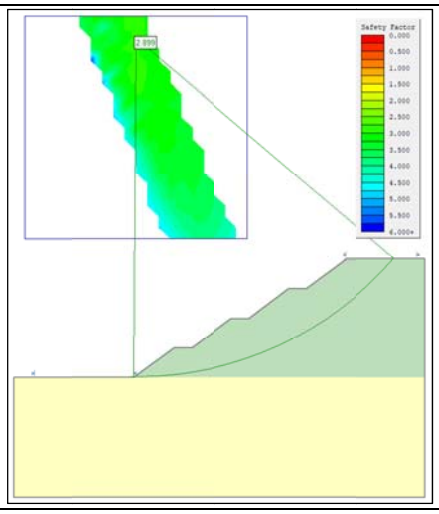
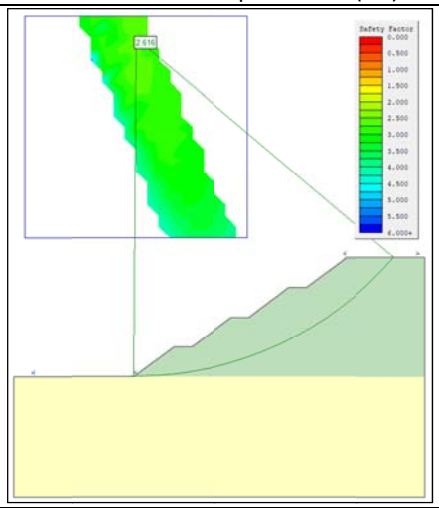
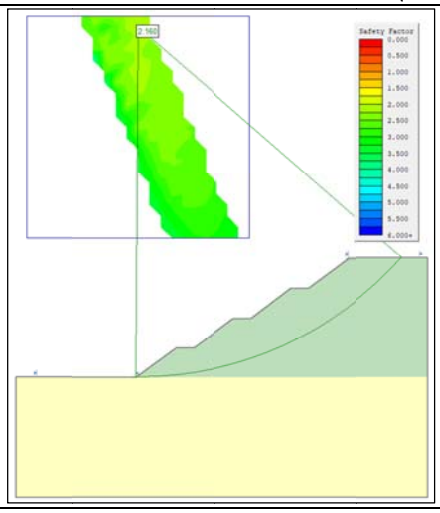
- Implementar el diseño propuesto por Unidad Geotecnia para el botadero de escorias con altura máxima global de 25 m y taludes de 5 m de altura y 37° de inclinación. Además, considerar bermas de 3 m.
- Planificación debe controlar la implementación de diseño mediante mediciones topográficas de pata de botadero, cresta de botadero, ancho de bermas y tonelaje a descargar.
- Se debe realizar inspecciones geotécnicas en terreno que contemplen levantamiento de daño y agrietamiento para fines de análisis retrospectivo y detectar potenciales deslizamientos que permitan tomar medidas en forma proactiva.
- Posterior a un sismo, se recomienda detener la extracción de material de la plataforma hasta que Personal de Geotecnia de turno realice inspección de la condición de la plataforma.
- La extracción de cada capa del Botadero, debe considerar un avance en frente amplia y continua, no en punta o en forma de “lengua aislada” (no generar singularidades geométricas).
- Cuando se detecte la aparición de grietas en las plataformas, estas no se deben tapar antes de ser registradas y evaluadas por personal geotécnico de terreno.

Agradeceremos distribuir a quien corresponda.

Saludos Cordiales.

Pablo Valdivia M.
Ingeniero Geotécnico DSAL.

ANEXO:
RESULTADOS ANÁLISIS ESTABILIDAD BOTADEROS DE ESCORIAS
PROGRAMA SLIDE (ROCSCIENCE, 2005)

Condición Estática	Talud Global
	Factor de Seguridad **2.9** Probabilidad de Falla (%) **0.03** Altura Global analizada (m) **25**
Condición Sismo Operacional (SO)	Talud Global
	Factor de Seguridad **2.6** Probabilidad de Falla (%) **0.08** Altura Global (m) **25**
Condición Terremoto Máximo Probable (TMP)	Talud Global
	Factor de Seguridad **2.2** Probabilidad de Falla (%) **0.37** Altura Global (m) **25**