

## **INFORME SOBRE**

### **REVISIÓN GEOTÉCNICA ESCOMBRERA EL MORRO**

### **PROYECTO PASCUA LAMA**

Preparado para:  
Barrick Exploraciones Argentina S.A.  
Francisco de Villagra 531 Este  
J5402CPI – San Juan, Argentina

Preparado por:  
Golder Associates S.A.  
Avda. Once de Septiembre 2353, piso 2  
Providencia, Chile

Julio 2005

GASA 059-2703

## RESUMEN EJECUTIVO

El Proyecto Pascua Lama contempla la construcción de la escombrera El Morro en la cabecera del Río Turbio, Argentina, entre las elevaciones 4368 m y 4732 m. El Morro tendrá una vida de diez años, entre el año 7 y año 17 de la vida de la mina, y acumulará un total de 270 millones de toneladas, en un área de 170 ha y presentará una altura final de 364 m.

El Morro será construido con material proveniente de los sectores de Esperanza, Frontera, El Morro Norte y finalmente, entre los años 14 y 17 con material proveniente de Penélope, este último un rajo satélite ubicado a 1,5 km al sureste del rajo de Pascua.

El presente informe corresponde a una revisión geológico-geotécnica de las condiciones locales del área de emplazamiento de la escombrera, como también una caracterización geotécnica de los materiales involucrados. Este informe incluye además una evaluación de la estabilidad de taludes, en base a factores de seguridad calculados con métodos de equilibrio límite, y de las distancias de derrame a las que el material que se desprende del talud se desplaza. Finalmente, este informe incluye pautas de monitoreo geotécnico aplicables a las fases de operación y post cierre.

### *Condiciones locales*

El área de emplazamiento de El Morro se caracteriza por extensas áreas de afloramientos rocosos o cubierta por depósitos coluviales de escaso espesor. En la porción suroeste de la cabecera del Río Turbio donde, debido a la presencia de sendas de avalanchas, se observa la depositación de rellenos coluviales areno limosos densos en espesores de hasta 18 m, y que conformarían la parte basal posterior de la escombrera. Esta área, sobre la elevación 4520 m, comprendería un área de aproximadamente 20 ha.

Las pendientes naturales varían entre los 18° y 12°. La presencia de agua en las quebradas es un fenómeno estacional limitado a las temporadas de deshielo. El agua subterránea se encuentra en profundidad y no habría interacción con las obras de superficie.

### *Condiciones geotécnicas*

El material de estéril proveniente de los rajos está conformado en su 90% por rocas graníticas, tobáceas y dioríticas de buena competencia geomecánica, libre de alteraciones (steam heat) que pudieran afectar adversamente el comportamiento geotécnico de la escombrera mediante la disolución de sulfatos. Éste comprende principalmente material anguloso, resistente y durable. Debido a la forma de depositación sobre el talud, el material estéril será segregado de manera de formar una capa relativamente permeable en la base de la escombrera.

Los suelos de fundación, tanto por su composición como espesores están compuestos por materiales densos no susceptibles a licuefacción.

### *Análisis de estabilidad*

La naturaleza de los materiales y la configuración de la escombrera proporcionan factores de seguridad estáticos dentro del rango de aceptabilidad, superiores a 1,1 durante la etapa de operación, y de 1,3 durante la etapa de post cierre. Para las condiciones sísmicas en la

etapa de post cierre, considerando el sismo máximo creíble de 0,30g se obtienen factores de seguridad sobre 1,0 para fallas profundas; para fallas circulares que involucran sólo el material estéril pueden esperarse factores de seguridad menores que 1,0, lo cual significa que, para ausencia de materiales con pérdida de resistencia durante las vibraciones sísmicas, la escombrera experimentará deformaciones, pero necesariamente una falla.

Las principales condicionantes a la estabilidad están dadas por las altas gradientes naturales, del orden de  $16^\circ$  en la porción suroeste del área de emplazamiento sobre las cuales se fundará El Morro durante las etapas iniciales. El operador de la mina deberá enfatizar las medidas de monitoreo para soslayar potenciales problemas de estabilidad e implementar medidas correctivas en forma temprana. En la porción noroeste del área de emplazamiento, El Morro será construido sobre una estrecha quebrada la que proporcionará un grado de confinamiento que mejorará su comportamiento geotécnico global. La interacción de ambos frentes de construcción, sumados a los de Nevada Norte, proporcionará suficiente flexibilidad para operar en forma segura.

Para el caso hipotético de una falla a través del material estéril se estimaron las distancias que podrían recorrer la remoción en masa desde la escombrera. Se empleó un modelo de masa simple que considera el balance de energía de una partícula a lo largo de una trayectoria definida desde la pata de la escombrera hasta su punto de depositación final. Considerando la morfología del terreno, y el escenario de post cierre, se determinó una distancia de 800 m.

#### *Monitoreo geotécnico*

El presente informe proporciona las pautas generales para un monitoreo geotécnico. Las escombreras de Pascua Lama se encontrarán entre los mayores del mundo y requerirán una exhaustiva inspección durante la fase de operación y de post cierre.

El plan de monitoreo de deformaciones consistirá en la inspección visual periódica desarrollada por personal calificado y, si es necesario, complementado con la medición de las tasas de deformación de la cresta de la escombrera, mediante lecturas de prismas topográficos, extensómetros de cable u otros métodos. La frecuencia de las inspecciones visuales es variable dentro de un rango diario a mensual, y ajustable de acuerdo al comportamiento geotécnico de la escombrera. Para el post-cierre, las inspecciones se desarrollan más distanciadas en el tiempo, y dependen de la importancia relativa con se valore la necesidad de contar con dicha información: al ser la escombrera una obra remota (la más remota en el contexto del proyecto Lama) alejada de cualquier otra obra de infraestructura y de acceso de transeúntes, su condición deja de ser relevante con respecto a otras obras de infraestructura permanente del proyecto.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b><u>SECCIÓN</u></b>	<b><u>PÁGINA</u></b>
1 INTRODUCCION	1
2 PLAN MINERO DE JULIO DE 2004	1
2.1 Secuencia de Construcción de El Morro	1
2.2 Composición de la Roca Estéril	2
3 CARACTERIZACION GEOLOGICA GEOTECNICA	3
3.1 Caracterización de las Condiciones Locales Actuales	3
3.1.1 General	3
3.1.2 Pendientes Naturales	3
3.1.3 Geomorfología Resumida	3
3.1.4 Sondajes de Exploración	4
3.2 Caracterización Geológico Geotécnica	5
3.2.1 Modelo Hidrogeológico	5
3.2.2 Parámetros de Resistencia de la Roca Estéril	5
4 REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA ESCOMBRERA EL MORRO	7
4.1 Potenciales Tipos de Falla	7
4.2 Métodos de Análisis	8
4.2.1 Estabilidad Geotécnica	8
4.2.2 Área de Influencia de una Eventual Falla de la escombrera (Run-out)	9
4.3 Criterio de Aceptabilidad	9
4.4 Definición de las Secciones de Análisis	10
4.5 Resultados de los Análisis	11
4.5.1 Equilibrio Límite	11
4.5.2 Distancias de Desplazamiento (Run-out)	12
4.6 Discusión de los Resultados	12
5 MONITOREO GEOTÉCNICO DE ESCOMBRERAS	14
5.1 General	14
5.1.1 Inspecciones visuales	14
5.1.2 Monitoreo de las tasas de deformación de la escombrera	15

5.1.3	Inspección de la escombrera	16
5.2	Registros de Incidentes y Retro Análisis	16
5.2.1	Registros de Incidentes	16
5.2.2	Retro análisis	18

## **1 INTRODUCCION**

El presente informe proporciona una revisión geotécnica de los diseños propuestos para la escombrera El Morro ('El Morro') desarrollado por Barrick Gold Corporation (Barrick) dentro del denominado Plan Minero de Julio de 2004. El presente informe ha sido preparado en apoyo del proceso de permisos del proyecto Pascua Lama de Barrick Exploraciones Argentina S.A. (BEASA), subsidiaria de Barrick en Argentina.

## **2 PLAN MINERO DE JULIO DE 2004**

El Plan Minero de Julio de 2004 fue proporcionado por Barrick en una serie de archivos digitales en formato *dxf*. Estos archivos contienen la configuración anual del rajo de Pascua Lama junto con las configuraciones de las escombreras Nevada Norte y El Morro.

En términos generales, el plan minero considera para El Morro una secuencia de construcción que se extiende desde el año 7 hasta el año 17 de la vida de la mina, con roca estéril proveniente de la explotación de los sectores de Esperanza, Frontera, El Morro Norte y de Penélope; este último un rajo satélite ubicado aproximadamente a 1,5 km al sureste del rajo Pascua Lama.

La Figura 1 muestra la configuración final de El Morro, para una capacidad total de 270 millones de toneladas, una superficie de 170 ha y un talud final de 364 m.

### **2.1 Secuencia de Construcción de El Morro**

En el año 7 y 8, el volteo de roca estéril se desarrolla desde una elevación de 4700 m sobre el área denominada 'Caracoles Sur', en la ladera sur de la cabecera del valle del Río Turbio. La etapa inicial de la escombrera estará fundada sobre terrenos inclinados  $16^\circ$  con respecto a la horizontal. El límite sur-oriental de la escombrera estará confinado contra afloramientos de roca que forman una cuchilla, mientras que hacia el nor-este y a una elevación de 4448 m (aproximadamente 24 m sobre el lecho del valle) la escombrera se apoya principalmente sobre la ladera norte y en menor medida sobre depósitos coluviales del lecho del valle. La ladera norte del valle presenta extensos afloramientos de roca.

En el año 9, El Morro presenta dos frentes de construcción. Caracoles Sur muestra un incremento significativo en superficie que, aunque mantiene la elevación del pie del talud en los 4448 m, cubre prácticamente la totalidad de la ladera sur-poniente de la cabecera del Río Turbio desde los 4700 m. En la ladera opuesta, en el sector de 'Caracoles Norte', se inicia una segunda escombrera desde la elevación 4700 m, sobre una estrecha quebrada con pendiente de  $18^\circ$  con exposición de roca hasta la elevación 4488 m, aproximadamente 64 m sobre el lecho del valle.

Los años 10 y 11 están caracterizados por tasas de construcción menores tanto en Caracoles Sur y Norte; las superficies de éstos aumentan, no obstante las elevaciones de su coronamiento y sus respectivas patas se muestran inalteradas.

En el año 12, ambas escombreras se fusionan en una única escombrera denominada El Morro, el cual comprende desde la elevación 4700 m hasta la 4368 m, que es ahora la ubicación final de la pata del talud.

Desde el año 13 y en forma progresiva en los años 14, 15 y 16, el volteo de roca estéril en El Morro se desarrolla desde la elevación 4732 m cubriendo completamente el perímetro de la plataforma 4700 m y rellenando las excavaciones mineras del rajo El Morro Norte.

## **2.2 Composición de la Roca Estéril**

La construcción de El Morro incluye la depositación de 36 tipos litológicos y de 14 tipos de alteración, cuyas proporciones relativas varían año a año durante la vida de la escombrera. El plan actualizado de construcción de El Morro indica que en términos generales, el 67,5% de la roca estéril corresponde a rocas graníticas, seguidas por rocas tobácicas en una proporción del 13,5% y de rocas dioríticas del orden de 9%, totalizando entre ellas un 90% del total de la roca estéril de El Morro. El 10% restante está conformado por brechas (6%) diques dacíticos (1,4%) y granodioritas (1,3%) y otras unidades del rajo Penélope (1,2%).

Las rocas graníticas depositadas en El Morro provienen de diversos sectores del rajo: principalmente de las cotas superiores de la pared sur, y de los sectores de Frontera y de El Morro Norte. Las rocas tobácicas provienen principalmente del sector de Esperanza, aunque también del sector de Frontera. Las rocas dioríticas provienen del sector de Esperanza. Todos los sectores indicados corresponden a la periferia de las zonas mineralizadas, y por lo tanto no afectan a contenidos de sulfatos hipogénicos caracterizados por una alta solubilidad en ambiente ácido, principal agente de degradación física de la roca.

Para la caracterización geoquímica de la roca estéril, basada en el tipo de alteración predominante, se estableció un modelo simplificado (IIA, 2004) consistente en el siguiente agrupamiento:

1. Zonas de alteración proximal dominada por alunita, adyacente a las zonas mineralizadas principales y que consiste en grupos de alteración de cuarzo-alunita, cuarzo-alunita-dickita, cuarzo-alunita-kaolinita (dickita o kaolinita inclinando hacia afuera a profundidades hasta pirofilita).
2. Una asociación distal con bajo contenido de alunita, hacia afuera de la asociación dominante de alunita, e incluyendo cuarzo-ilita, cuarzo-esmectita, tipos de alteración propilítica y roca de caja no alterada.
3. Una zona de oxidación sulfurada con una abundancia de jarosita como la capa superior de una asociación de alteración más profunda.
4. Una capa de sílice que sobreyace las unidades proximales y distales.
5. Una asociación de alteración de steam heated, dominada por sulfuros, cuarzo, kaolinita y alunita relicta menor. Esto sobreyace la capa de sílice.

De acuerdo a esta clasificación, la composición de El Morro estará conformada por un 46% de material 'Proximal', 32% de material 'Distal', 15,5% de 'Silica cap' y 6,3% de 'Óxidos'. Con esta distribución, la proporción de roca generadora de un ambiente altamente ácido (steam heat) –y conducente a disolución de sulfatos (alunita)– es marginal a nula.

Las Figuras 2 y 3 presentan la distribución de los grupos de alteración con respecto a la producción de estéril anual y total.

### **3 CARACTERIZACION GEOLOGICA GEOTECNICA**

Se incluye una breve descripción de las condiciones locales actuales en el sector de emplazamiento de El Morro. La información presentada corresponde a trabajos de prospección desarrollados principalmente por el equipo de geólogos de Barrick. Además se presenta una caracterización de las condiciones geológicas geotécnicas relevantes para el desarrollo de la evaluación de estabilidad de la escombrera, que incluye la evaluación hidrogeológica y posible desarrollo de una superficie freática (WMC, 2000), una estimación de las propiedades geotécnicas de la roca estéril, una discusión de los análisis de estabilidad y estimaciones de las distancias de potenciales desprendimientos de material en la eventualidad de que ocurra una falla.

#### **3.1 Caracterización de las Condiciones Locales Actuales**

##### **3.1.1 General**

Las condiciones actuales fueron evaluadas basadas en la siguiente información proporcionada por Barrick, la cual permite una buena cobertura del área de El Morro y un buen entendimiento de las condiciones locales de la fundación:

- Fotografías panorámicas para el sector del El Morro,
- Mapas de la geología superficial incluyendo tipos de roca y alteración,
- Mapeo geológico de sondajes de exploración en el sector de El Morro,
- Mapas de ubicación de los sondajes de exploración,
- Fotografías aéreas.

El análisis de la información proporcionada permite determinar que las condiciones de fundación en el sector de El Morro estarán dominadas por suelos coluviales de escaso espesor (del orden de 5 metros o menos) y afloramientos de roca. En las quebradas, la acumulación de los suelos aluviales/coluviales alcanzarían espesores de hasta 18 m en forma localizada. La Figura 4 presenta una planta de la geología superficial en el sector de El Morro.

##### **3.1.2 Pendientes Naturales**

El perfil longitudinal de la Figura 5 muestra que en la cabecera del valle del Río Turbio, las pendientes naturales máximas son del orden de 20° sobre el nivel de coronamiento de la escombrera. Los suelos de fundación presentan pendientes variables de 15° a 10°.

##### **3.1.3 Geomorfología Resumida**

En el sector de Caracoles Norte se observan afloramientos graníticos, levemente argilizados y meteorizados que forman pendientes naturales máximas de 40°. En el sector de Caracoles Sur se observa una predominancia de suelos coluviales en pendientes naturales del orden de 16°. Los flujos de agua son estacionales asociados al deshielo de nieve.

Para la sección del Río Turbio comprendido en el área de El Morro, desde el Portal Lama hasta la confluencia con el sector denominado El Morro Norte, se ha identificado un potencial de aluviones el cual se extendería hasta la elevación 4250, aproximadamente (Golder, 2005).



Asimismo, el estudio APM (2000) ha identificado sendas de avalancha en la parte superior de la cabecera del Río Turbio, distribuidas en el perímetro del circo producido en los sectores de Caracoles Norte y Sur.

No se han observado evidencias de tectonismo activo en el área de emplazamiento de El Morro (Golder, 2005).

### 3.1.4 Sondajes de Exploración

Dentro del perímetro de El Morro se han realizado un total de 25 sondajes de exploración (con métodos de aire reverso) y 9 sondajes geotécnicos (con diamantina). La información de litología y alteración de estos sondajes fue proporcionada por Barrick para la interpretación de las profundidades a la roca. La identificación, ubicación y profundidades a la roca de cada sondaje se presentan en la Tabla 1, mientras que la ubicación relativa en el sector de El Morro se muestra en la Figura 4.

**Tabla 1: Información de Sondajes en el Área de El Morro**

Sondaje		Este	Norte	Azimut	Incl	Prof a la Roca (m)	
(Id)		(m-UTM)	(m-UTM)	(°)	(°)	Inclinada	Vertical
1	RDH-98-17	403.750	6.755.522	180	-70	0	0
2	RDH-98-19	403.824	6.755.813	275	-70	0	0
3	RDH-99-116	403.257	6.755.935	042	-50	0	0
4	RDH-98-7	403.244	6.755.929	235	-70	0	0
5	RDH-98-13	403.112	6.756.043	230	-70	0	0
6	RDH-98-1	402.986	6.755.754	180	-70	0	0
7	RDH-99-137	402.531	6.755.390	240	-60	0	0
8	RDH-99-113	403.372	6.755.782	094	-50	5,0	3,8
9	RDH-98-3	403.253	6.755.502	200	-70	7,0	6,6
10	RDH-98-5	403.250	6.755.506	270	-70	4,0	3,8
11	RDH-98-2	402.637	6.755.990	245	-70	19,0	17,9
12	RDH-98-11	402.471	6.755.598	075	-70	12,0	11,3
13	RDH-99-138	402.634	6.755.318	228	-57	5,0	4,2
14	RDH-98-14	402.782	6.755.219	000	-75	7,0	6,8
15	RDH-98-37	402.788	6.755.210	215	-70	3,0	2,8
16	RDH-98-67	402.516	6.756.308	245	-60	2,0	1,7
17	RDH-98-59	402.523	6.756.309	150	-55	0	0
18	RDH-98-21	402.730	6.756.326	160	-60	0	0
19	RDH-99-191	402.665	6.756.346	250	-50	4,0	3,1
20	RDH-99-195	402.513	6.756.420	245	-50	0	0
21	RDH-98-40	402.746	6.756.470	270	-70	0	0
22	RDH-98-12	402.745	6.756.473	270	-75	1,0	0,95
23	RDH-98-36	402.750	6.756.477	355	-70	1,0	0,95
24	RDH-089	401.585	6.757.339	256	-70		

Sondaje		Este	Norte	Azimut	Incl	Prof a la Roca (m)	
(Id)		(m-UTM)	(m-UTM)	(°)	(°)	Inclinada	Vertical
25	RDH-762	401.532	6.757.180	084	-57		
26	DDH0069 <sup>2</sup>	402.235	6.756.923	249	-27	6,9	3,1
27	DDH0074	402.245	6.756.935	054	-37	18,8	11,3
28	DDH9958	402.169	6.756.775	065	-36	11,3	6,6
29	DDH9985	402.475	6.756.695	064	-35	13,1	7,5
30	DDH9954	402.719	6.756.564	067	-29	3,5	1,7
31	TN-2 <sup>3</sup>	402.776	6.756.687	121	-59	3,8	3,3
32	DDH-99-81	402.000	6.755.800	104	-20	0	0
33	DDH-00-120	402.025	6.755.572	340	-30	0	0
34	DDH-00-97	402.125	6.755.671	300	-48	19	14,1
Notas:							
1. Sondajes de exploración RDH recolectados de la base de datos de Barrick.							
2. Sondajes geotécnicos DDH mapeados por Golder (2000b)							
3. Sondaje geotécnico mapeados por SRK (2001)							

## 3.2 Caracterización Geológico Geotécnica

### 3.2.1 Modelo Hidrogeológico

Para El Morro, las prospecciones realizadas indican que dentro del área de estudio las condiciones prevalecientes corresponden a depósitos coluviales de escaso espesor y afloramientos de roca.

El régimen hidrogeológico natural se encontraría en profundidad en la roca y por lo tanto, en relación a la escombrera, se espera una limitada interacción entre las percolaciones y el régimen de aguas subterráneas.

Sumado a lo anterior, El Morro contará con un sistema de canales perimetrales que interceptarán y conducirán las escorrentías superficiales fuera del área de la escombrera, reduciendo el aporte de la cuenca superior (Golder, 2004).

De acuerdo a las predicciones de WMC (2000) la escombrera desarrollaría una superficie freática en la base de la escombrera de menos de un metro de espesor.

### 3.2.2 Parámetros de Resistencia de la Roca Estéril

De acuerdo a la Sección §2.2 para la composición del estéril, la escombrera El Morro estará conformada por material proveniente de sectores libres de sulfatos solubles que pudieran afectar la estabilidad físico-química de la roca.

Las pruebas de laboratorio para la determinación de las resistencias a la compresión simple (Golder, 2000) sobre muestras de testigos de roca como las que conformarán El Morro indican lo siguiente:

- ✓ Rocas graníticas 60 a 90 MPa
- ✓ Rocas tobácicas 110 MPa

- ✓ Rocas dioríticas 60 MPa
- ✓ Rocas granodioríticas 100 MPa

De acuerdo a la ISRM<sup>1</sup>, rocas con resistencias dentro del rango 50 a 100 MPa clasifican como R4, es decir, como rocas ‘duras’. Es entonces válido suponer que las propiedades geotécnicas de la roca estéril corresponden a un material promedio para roca excavada con métodos de tronadura de características friccionales, resistentes a la abrasión y durables.

El modelo geotécnico desarrollado para El Morro considera los siguientes materiales:

**Tabla 2: Resumen de los Parámetros de Resistencia**

Material	Ángulo de Fricción (°)	Cohesión (kPa)	Comentario
Roca de Fundación	40	1000	Basado en parámetros de resistencia para rocas ubicadas lejos de la zona de mineralizada del rajo de Pascua Lama (Golder, 2000a)
Suelos de Fundación	35	0	MR&G, 1998. A pesar de que no se han desarrollado programas de muestreo y ensayos de suelos, se estima que las condiciones locales en El Morro son similares a las existentes en El Estrecho y con ello los resultados de ensayos de corte directo obtenidos para el Río Del Estrecho son también aplicables.
Roca Estéril	37	0	Basado en registros empíricos, aplicados a escombreras con roca estéril competente de minería metálica. Se adopta valores típicos y representativos <sup>2,3,4</sup> basados en el ángulo de reposo del material.

Escombreras de roca estéril de granulometría gruesa como es el caso de El Morro, presentan típicamente altas conductividades hidráulicas, las cuales permanecen relativamente estables en el tiempo. Reducciones de permeabilidad en dos órdenes de magnitud en la capacidad de infiltración no modificarán significativamente los patrones de flujo (AGRA, 1995).

Los principales parámetros que controlan el comportamiento hidrogeológico de la escombrera son la secuencia de construcción, la segregación producida y de las características de la roca estéril (relación de poros). El rango de posibles respuestas es amplio y extensamente documentado en la literatura. Para El Morro se estiman conductividades hidráulicas variables típicamente entre  $1 \times 10^{-3}$  cm/s a  $1 \times 10^{-4}$  cm/s, consistente con valores medidos en enrocados de presas, y escombreras (AGRA, 1995).

<sup>1</sup> International Society for Rock Mechanics, 1981. “Rock Characterization, testing and monitoring – ISRM suggested methods. Oxford: Pergamon.

<sup>2</sup> B.C. Mine Waste Rock Pile Research Committee and CANMET. “Mined Rock and Oveburden Piles”

<sup>3</sup> AGRA, 1995. “Review of Long Term Geotechnical Stability of Mine Spoil Piles”. 1995.

<sup>4</sup> National Institute for Occupational Safety and Health. “Material Properties Affecting the Stability of a 50-Year-Old Rock Dump in an Active Mine”. Diciembre 1999.



La relación de vacíos observada en calicatas excavadas en escombreras de larga data se estima dentro de un rango de 0,20 a 0,39 (porosidades del orden de 0,25 a 0,64, respectivamente) en suelos que clasifican como GP-GC a GC.



## 4 REVISIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA ESCOMBRERA EL MORRO

### 4.1 Potenciales Tipos de Falla

En términos generales, los siguientes son los principales tipos de falla que afectan a las escombreras.

**Tabla 3: Tipos de Falla, Causas, y Señales de Advertencia**

TIPOS DE FALLA	DIAGRAMA	CAUSAS USUALES	EFFECTOS PROBABLES	SEÑALES DE ADVERTENCIA
Desprendimiento de la cresta de la escombrera. Es un fenómeno frecuente y habitualmente no son analizados, pero son incorporados en los procedimientos de operación.		Altos contenidos de finos y/o humedad en la roca estéril, altas tasas de volteo.	Deformaciones y fallas de escasa magnitud en la cresta de la escombrera.	Un alto ángulo de talud acompañado de agrietamientos y/o deformaciones bajo la cresta de la escombrera.
Desprendimiento de una capa delgada y continua de la cara de la escombrera. Es un fenómeno frecuente y habitualmente no son analizados, pero son incorporados en los procedimientos de operación.		Plano de debilidad aproximadamente paralelo al talud debido a roca estéril de menor calidad geotécnica.	Puede involucrar gran cantidad de material acompañado de grandes distancias de deslizamiento.	Deformación de la cresta de la escombrera, generación de protuberancias de la pata y de la cara del talud, agrietamientos en la plataforma a gran distancia de la cresta.

TIPOS DE FALLA	DIAGRAMA	CAUSAS USUALES	EFFECTOS PROBABLES	SEÑALES DE ADVERTENCIA
Cara Completa, con compromiso de toda la cara del talud desde la cresta hasta la pata sin involucramiento de la fundación. Implican la deformación o remoción de un tonelaje significativo que puede afectar infraestructura localizada aguas abajo. Requiere un exhaustivo monitoreo y evaluación.		Suelos de fundación con altas gradientes, con problemas geotécnicos y/o generación de presiones de poro. Altas tasas de volteo.	Puede provocar fallas locales con involucramiento de secciones de la escombrera.	Protuberancias o derrames de la pata del talud, agrietamientos en la plataforma a distancia variable de la cresta.
Profunda con compromiso de la fundación y parte importante de la masa de la escombrera. Implican la remoción de un tonelaje significativo que puede afectar infraestructura localizada aguas abajo. Requiere un exhaustivo monitoreo y evaluación.		Suelos de fundación con problemas geotécnicos y/o generación de presiones de poro. Altas tasas de volteo.	Puede provocar fallas mayores con involucramiento de secciones significativas de la escombrera.	Filtraciones en la pata del talud, protuberancia o derrame de la pata del talud, agrietamientos en la plataforma a gran distancia de la cresta.

## 4.2 Métodos de Análisis

### 4.2.1 Estabilidad Geotécnica

La presente evaluación geotécnica se desarrolló en base a una serie de análisis de equilibrio límite bi-dimensionales en las secciones críticas de la escombrera, correspondientes a diferentes etapas de construcción, incluida la etapa de post-cierre, para el cálculo de los factores de seguridad asociados. Los análisis incluyeron análisis estáticos y pseudo estáticos.

Para los análisis se utilizó el programa computacional SLIDE 5.0. Para el cálculo de los factores de seguridad se consideraron fallas de tipo 'no-circulares' mediante Janbu Simplificado y 'bloques' mediante Rankine. Para la selección de la superficie de falla se supuso escarpes de alto ángulo (60°) en la parte superior de la escombrera y puntos de

inicio a distancias del orden de un 20% de la altura del talud con respecto a la cresta de la escombrera.

Los análisis bi-dimensionales son en general aplicables para las secciones de análisis consideradas en las cuales no existe una predominancia de los efectos tridimensionales asociados a radios de curvatura, o el efecto del confinamiento en quebradas. En el caso de secciones de análisis trazadas por quebradas estrechas, los factores de seguridad que se obtienen tienden a ser menores a los correspondientes si se incluye el efecto tridimensional.

#### 4.2.2 Área de Influencia de una Eventual Falla de la escombrera (Run-out)

Para la delimitación preliminar del área de influencia asociada a una eventual falla de la escombrera se empleó un modelo de masa simple. Este método se basa en el balance de energía de una masa que se desprendería desde el coronamiento de la escombrera y que se desplaza a lo largo del eje de una trayectoria teórica que se proyecta desde la pata del talud y sobre la topografía del terreno.

El cálculo de la distancia se realiza considerando una velocidad inicial al pie de la escombrera, la cual es función de la altura total del talud, y considerando el perfil longitudinal de la trayectoria. El método considera la energía potencial y cinética de la masa, evaluada a intervalos discretos de la trayectoria, y las pérdidas friccionales a lo largo de su recorrido; las pérdidas de energía se evalúan mediante el ángulo de fricción dinámica, las que dependen de la morfología del terreno y de las características del material de fundación. En el caso de El Morro los materiales de fundación corresponderían a suelos granulares, drenados, de escaso espesor, sin potencial de licuefacción. Para estas condiciones, el rango esperado del ángulo de fricción dinámica estaría comprendido entre los 18° y 25° para eventos de moderada movilidad<sup>5</sup>.

Para los análisis, sólo se consideró el escenario al cierre de la escombrera (Año 16) y ángulos de fricción dinámica de 18°, 20° y 25° dependiendo del grado de confinamiento del tramo analizado. Para cada análisis se identificaron los rasgos topográficos más significativos para diferenciar los tramos confinados (es decir, sin potencial de disipar energía) y los tramos no-confinados de la trayectoria, los cuales se muestran en las correspondiente figuras.

Estos parámetros deberían proporcionar una estimación razonable de las distancias de desplazamiento. Sin embargo, estos resultados deberían tomarse con precaución al ubicar infraestructura aguas abajo de la escombrera, debido a las incertidumbres del método.

### 4.3 Criterio de Aceptabilidad

Los criterios de aceptabilidad adoptados para la escombrera están basados en la experiencia y en la práctica habitual de obras de este tipo en proyectos mineros, sin dejar de lado las consecuencias de una eventual falla, tanto respecto a pérdidas fatales como económicas y ambientales.

---

<sup>5</sup> Mined Rock and Overburden Piles”, Interim Report, February 1995. BC Mine Waste Rock Pile Research Committee

El criterio de aceptabilidad está expresado en términos del Factor de Seguridad (FdS) obtenido de los análisis de equilibrio límite bi-dimensional, siendo el FdS la razón entre las fuerzas resistentes y las fuerzas solicitantes que actúan sobre una sección de la escombrera.

Se proponen los siguientes valores límites para la evaluación de los resultados.

- Corto Plazo (durante la operación) FdS entre 1,1 y 1,3
- Largo Plazo (post cierre) FdS entre 1,3 y 1,5

Estos FdS son consistentes con la práctica en minas metálicas y están correspondientemente documentadas<sup>6</sup>.

#### 4.4 Definición de las Secciones de Análisis

Se analizaron las siguientes tres secciones de la escombrera, para el Año 11 y Año 16, consideradas las más críticas para la evaluación de estabilidad, principalmente por la altura del talud, y los ángulos de inclinación de la fundación. La ubicación de las secciones analizadas se presenta en la Figura 6.

Las secciones analizadas consideran ángulos de talud de la escombrera de 37°, consistente con valores informados en la literatura (ver referencias 2 y 3) y de observaciones directas a escombreras existentes, incluyendo la escombrera del portal Alex, en el lado chileno del proyecto.

**Tabla 4 Secciones de Análisis**

Sección	Configuración	Altura del Talud	Descripción
A	Año 11	252 m	<p>Esta sección corresponde al escombrera Caracoles Sur en su cuarto año de operación. La plataforma principal está en la elevación 4700 m, mientras que la pata del talud se ubica en los 4448 m. La interpretación geológica para este sector indicaría que sobre los 4520 m, la roca se encontraría aproximadamente a unos 15 m de profundidad, mientras que bajo esta elevación, predominarían afloramientos de roca y roca sub superficial (4m de profundidad para los análisis). Los suelos de fundación están inclinados 16° con respecto a la horizontal.</p> <p>Para esta configuración, los métodos de equilibrio límite proporcionan una buena representatividad de los resultados sobre la sección de análisis.</p>
B	Año 11	212 m	<p>Esta sección corresponde al escombrera Caracoles Norte en su tercer año de operación. La plataforma principal está en la elevación 4700 m, mientras que la pata del talud se ubica en los 4488 m. La interpretación geomorfológica para este sector indicaría que corresponde a una estrecha quebrada dominada por afloramientos de roca, con una gradiente de 16° con respecto a la horizontal.</p> <p>Para esta configuración, los métodos de equilibrio límite proporcionan una estimación conservadora de los resultados</p>

---

<sup>6</sup> B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, 1991, U.S. Bureau of Mines, 1982, Mine Enforcement and Safety Administration, 1975

Sección	Configuración	Altura del Talud	Descripción
C	Año 17 y siguientes	364 m	sobre la sección de análisis.
			Esta sección corresponde al escombrera El Morro en su configuración final. La plataforma principal está en la elevación 4732 m, mientras que la pata del talud se ubica en los 4368 m. La interpretación geológica para este sector indicaría que para la cabecera del Río Turbio, hacia el oeste y suroeste, y sobre los 4520 m, la roca se encontraría aproximadamente a unos 15 m de profundidad, mientras que bajo esta elevación, predominarían afloramientos de roca y roca sub superficial (4m de profundidad para los análisis). Los suelos de fundación a lo largo del eje del valle presentan inclinaciones del orden de 13° con respecto a la horizontal.  Para esta configuración, los métodos de equilibrio límite proporcionan una buena representatividad de los resultados sobre la sección de análisis.

## 4.5 Resultados de los Análisis

### 4.5.1 Equilibrio Límite

La Tabla 5 presenta un resumen de los resultados de equilibrio límite obtenidos con SLIDE. Los resultados graficados se muestran en las Figuras 7 a 14.

**Tabla 5 Resumen de los Factores de Seguridad**

Sección (Etapa)	Condición de la Fundación Pendiente	Material	Altura Total (m)	Etapas de la Mina	Tipo de Falla	Factor de Seguridad Estático	Pseudo estático	Aceleración de Fluencia
A (Año 11)	16,5°	Coluvio y afloramientos	252	Operación	Circular Profunda	1,17 1,31	Nota 1	0,08g 0,15g
B (Año 11)	18,5°	Afloramientos	212	Operación	Circular Profunda	1,24 1,30		0,11g 0,15g
C (Final)	12,8°	Coluvio	364	Operación Post cierre	Circular Profunda	1,12 1,40	0,90 <sup>(2,3)</sup> 1,07 <sup>(2)</sup>	0,09g 0,20g

Notas:

1. No se han desarrollado sismos de operación para el proyecto Pascua Lama. La aplicación del sismo MCE (aceleración máxima de 0,30g) sobre estas configuraciones puede conducir a conclusiones equivocadas. En su lugar se han calculado las aceleraciones de fluencia, la cual representa la aceleración horizontal a la cual el factor de seguridad del talud es 1,0.
2. Para los análisis pseudos estáticos se aplicó una aceleración de 0,15g, correspondiente al 50% del MCE (S&S, 2000), de acuerdo a los estándares para análisis pseudos estáticos.
3. Factores de seguridad menor que 1,0 en condiciones sísmicas no implican que la escombrera falle. Las condiciones locales de El Morro indican una fundación competente sin potencial de licuefacción, y un material de estéril que no experimentará pérdida de resistencia debido a vibraciones. Cuando las vibraciones cesen, la escombrera reestablecerá los factores de seguridad previos al sismo. En cada pulso del sismo en que la aceleración exceda la aceleración de fluencia, la escombrera experimentará movimientos. La deformación por efectos del sismo se reflejará como asentamientos y agrietamientos en la plataforma, especialmente próximos a la cresta y atenuándose con la distancia, planchones de material deslizándose por la cara de la escombrera,



#### 4.5.2 Distancias de Desplazamiento (Run-out)

La escombrera de El Morro estará emplazada sobre una fundación competente y drenada con factores de seguridad iguales o superiores a uno.

La práctica habitual para la localización de infraestructura supone el deslizamiento en masa del talud, de manera de estimar distancias de afectación hacia aguas abajo y disponer un criterio de seguridad.

La Tabla 6 presenta un resumen de las estimaciones de las distancias de afectación asociadas a una falla hipotética de la escombrera, calculadas con el modelo de masa simple. Para este análisis se consideraron dos potenciales trayectorias, como las mostradas en la Figura 15, la cual también presenta la distribución de los ángulos de fricción dinámica que se usaron.

**Tabla 6 Estimación de Distancias de Run-out para El Morro**

Escenario	Altura Total	Distancia Recorrida <sup>1</sup>	Rango de Elevación en la que el Run Out se detiene
Trayectoria 1	364 m	800 m	4232 m
Trayectoria 2	180 m	630 m	4392 m

Notas:

1. La distancia recorrida ha sido calculada utilizando ángulos de fricción dinámicos de 18° en tramos confinados y de 20° a 25° en tramos no-confinados de la trayectoria.

La Figura 16 muestra aproximadamente la extensión del área cubierta por el material desprendido, las cuales no necesariamente corresponden a una única falla, sino mas bien el efecto acumulativo de varias fallas a lo largo de la cresta de la escombrera. Además, el área mostrada corresponde aproximadamente a la extensión de los aluviones observados en el estudio geomorfológicos del sector superior del Río Turbio (Golder, 2005).

#### 4.6 Discusión de los Resultados

Los resultados de los análisis de estabilidad deberían ser revisados en conjunto con la experiencia práctica adquirida mediante la observación metódica del comportamiento de escombreras en regiones montañosas. Con este fin, la Figura 17 muestra la relación entre la altura, y la gradiente del terreno para escombreras que colapsaron en algún momento de su vida. Estos datos corresponden a observaciones de escombreras de minas de carbón en B.C., Canadá de los que se desprende que son la altura de la escombrera y la gradiente del terreno sobre el que se funda los factores más relevantes que condicionan su comportamiento.

La Figura 17 muestra la relación altura vs gradiente sólo para escombreras colapsados, y no incluye deliberadamente otras escombreras que, a pesar de estar incluidos dentro del área delimitada por fallas, aún se encuentran en pie. El objetivo de la figura es simplemente para indicar que la probabilidad de falla aumenta ya sea con la altura o bien con la gradiente.

Los resultados de los análisis, sumados a la inspección de la secuencia de construcción de la escombrera señalan lo siguiente:

- ✓ Las etapas iniciales de la escombrera El Morro presentarían suelos de fundación con gradientes relativamente altas del terreno, del orden de  $16^\circ$ . La transición desde una fundación de gradiente moderada alta a una moderada baja ocurre más bien tarde en el desarrollo de la configuración final de la escombrera de El Morro. Para esta etapa final, de acuerdo a la Figura 17, la escombrera se encontraría en el límite del área delimitada como marginalmente estable.

Debe agregarse lo siguiente:

- Los factores de seguridad estáticos determinados de los análisis están comprendidos dentro del rango de aceptabilidad con factores de seguridad superiores a 1,1 durante la etapa de operación, y de 1,3 durante la etapa de post cierre.
  - Durante la operación deberá ponerse énfasis en el monitoreo geotécnico, especialmente de las fases iniciales de la escombrera, de modo de adoptar medidas correctivas que mitiguen la probabilidad de falla, como por ejemplo la reducción de la tasa de volteo de material, la dirección de avance del frente, etc.
- ✓ Para la mayoría de los años, las acumulaciones de nieve en Pascua Lama son delgadas y no impactarán significativamente la estabilidad de El Morro. Sin embargo, en años húmedos se han registrado acumulaciones de hasta 10 m. La experiencia en el norte de Canadá sugiere que acumulaciones de nieve de hasta 1 m en los taludes no impactan significativamente la operación de grandes escombreras. Capas delgadas de nieve son típicamente interrumpidas y empujadas desde la cara en la medida que el material se deposita. Formaciones de nieve más gruesas pueden eventualmente ser atrapadas como capas continuas en la escombrera y formar un plano de debilidad o saturar capas de finos en la medida que ocurre el deshielo. Las escombreras de Pascua Lama, es decir Nevada Norte, Caracoles Sur y Caracoles Norte presentan caras en direcciones relativamente opuestas, aumentando las probabilidades que las acumulaciones de nieve ocurran en un sector más que en el otro. Esto permite a la mina la opción de operar los frentes con las menores acumulaciones de nieve.
  - ✓ Durante el año 12, el plan minero muestra el avance de la pie del talud en forma ortogonal desde una fundación con gradiente moderada ( $13^\circ$ ) hasta una zona de desnivel de aproximadamente 50 m de altura con una gradiente de 56% ( $29^\circ$ ).

La altura de escombrera para este período podría alcanzar del orden de 250 m a 300 m y de acuerdo a la Figura 17, es razonable esperar fallas del talud con compromiso de la cara completa. En general esta es una situación manejable durante la operación e involucra la modificación del plan de construcción de modo que:

- el crecimiento intensivo de Caracoles Norte permita proporcionar un contrafuerte en la pata del Caracoles Sur, o
- un crecimiento del Caracoles Sur de manera de presentar un avance paralelo a las curvas de nivel hasta cruzar el valle.

- ✓ Posterior al Año 13 de la mina y hasta el fin de la vida de la escombrera, el desarrollo de El Morro tiene lugar sobre la plataforma en los 4700 m, cuando las condiciones generales de los taludes ya han sido establecidas.
- ✓ Para el post cierre, los factores de seguridad para el escenario sísmico son del orden de 1,2 dentro de un entorno morfológico confinado, lo que permite limitar el potencial de desprendimiento de material desde la cara de la escombrera. Las distancias calculadas son del orden de 800 m desde la pata de la escombrera final.

## **5 MONITOREO GEOTÉCNICO DE ESCOMBRERAS**

### **5.1 General**

Las fallas de escombreras están habitualmente precedidos por señales de advertencia tales como un aumento de las tasas de deformación y de agrietamiento de la plataforma, o aumento de las presiones de poros en la fundación.

El objetivo de un programa de monitoreo comprende lo siguiente:

- Proporcionar advertencia temprana de las condiciones que pueden conducir a una falla de manera que puedan adoptarse medidas de prevención o mitigación;
- Proporcionar advertencia temprana de falla de manera que el personal y equipo puede ser evacuado del área en riesgo; y
- Recolectar y evaluar información que permita confirmar o eliminar los supuestos adoptados durante las etapas de diseño y proporcionar información que permitirá que el diseño de la escombrera sea modificado durante la vida de la mina con el objetivo de mejorar el comportamiento global de la escombrera.

Un programa de monitoreo geotécnico consiste en la inspección visual periódica y la medición de las tasas de deformación que puede experimentar el coronamiento de la escombrera, a ser desarrollado regularmente por el personal debidamente capacitado de la mina, y por la revisión y evaluación periódica de la información acumulada por parte del ingeniero geotécnico responsable de la mina.

#### **5.1.1 Inspecciones visuales**

La inspección visual periódica de la escombrera es crítico para una operación segura. Los principales indicadores visuales de problemas son los siguientes:

- Agrietamiento excesivo de la superficie;
- Las bermas de seguridad no perduran en su lugar;
- Se requiere agregar material adicional para el perfilado de la plataforma;
- Señales de protuberancias en la cara del talud;
- Deformación e indicación de protuberancias en la pata y la fundación de la escombrera; y
- Cambios en la tasa o calidad de las filtraciones desde la pata de la escombrera.

En la práctica, el método más común de monitoreo de taludes es la inspección visual. La capacitación del personal de ingeniería, topografía, y de operaciones como también los operadores de la maquinaria que frecuentemente transitan por la escombrera en aspectos claves para la identificación de señales de problemas ha resultado también en una práctica eficaz.

Para cada frente activo de la escombrera debería mantenerse un Libro de Observaciones. El Libro de Observaciones debería ser llenado por cada Jefe de Turno al final del turno y debería contener toda la información pertinente relacionada al frente, incluyendo:

- Designación del frente;
- Fecha;
- Mapa basado en un levantamiento topográfico reciente con diagramas que ilustren la ubicación aproximada del coronamiento y pata de la escombrera;
- Longitud del frente activo;
- Instrumentación de monitoreo en uso;
- Irregularidades observadas, por ejemplo la formación de nuevos agrietamientos;
- Velocidad de avance aproximada del coronamiento;
- Una descripción del material depositado (por ejemplo suelo residual, roca meteorizada, roca competente);
- Condiciones climáticas;
- Problemas de drenaje;
- Restricciones actuales o instrucciones en relación al desarrollo del frente activo; y
- Las conclusiones en relación a investigaciones o discusiones de cualquier condición especial que haya sido destacada al Jefe de Turno por cualquier persona que haya visitado la escombrera durante el turno.

El ingeniero geotécnico responsable por la escombrera debería revisar el Libro de Observaciones con una frecuencia diaria.

#### 5.1.2 Monitoreo de las tasas de deformación de la escombrera

Las escombreras de estéril típicamente no fallan sin evidenciar señales de advertencia previas. La práctica operacional ha demostrado que el monitoreo de deformaciones de escombreras mediante prismas o extensómetros de cable son un método simple y efectivo para proporcionar un aviso temprano de inestabilidad. En la Figura 18 se muestra una disposición típica de dos extensómetros en línea para el monitoreo de un talud.

Los prismas o extensómetros deberían ser ubicados en todas las áreas activas o recientemente activas. Típicamente, los extensómetros están dispuesto en intervalos de aproximadamente 100 m a lo largo de la cresta activa de la escombrera; el trípode posterior, con el plomo y la escala de medición, debe ser ubicado a resguardo de cualquier agrietamiento alejado de la cresta de la escombrera. En áreas activas, se recomienda efectuar las mediciones del cable en intervalos de cuatro horas y la tasa de desplazamiento calculada inmediatamente. Los extensómetros en áreas inactivas deberían ser medidos al menos una vez por turno. Los gráficos con los resultados de las mediciones proporcionarán

rápidamente una tendencia del movimiento, de modo de evidenciar cualquier indicación de comportamiento anormal.

Mientras se observa el comportamiento de El Morro, y se desarrollan criterios específicos para la operación segura, se recomienda una tasa de deformación crítica de 500 mm/día; cualquier tasa de deformación que exceda los 500 mm/día deberá ser considerada de inquietud y ameritará la restricción de las operaciones en el área comprometida. Las tasas de deformación críticas pueden y deberán ser ajustadas en la medida que se evalúe la información de monitoreo disponible. Las secciones de la escombrera que hayan sido restringidas debido a altas tasas de deformación no deberían ser reactivadas sino hasta que se registren tasas de deformación aceptables por un período de 24 horas.

Los gráficos de la información de monitoreo debería ser revisada por el ingeniero responsable de la escombrera en forma diaria.

### 5.1.3 Inspección de la escombrera

Con el fin de asegurar que cualquier cambio o irregularidad en el comportamiento, apariencia o método de construcción de la escombrera sea registrado, deberá efectuarse una inspección detallada de la escombrera en forma periódica. Esta inspección deberá ser desarrollada por el ingeniero geotécnico responsable designado. Deberá mantenerse un registro fotográfico de la escombrera, actualizado mensualmente, con vistas panorámicas desde una estación de control fija. Los formularios estándar de inspección se incluyen en el Anexo A.

Durante las etapas iniciales de construcción de la escombrera, cuando el comportamiento esperado aún es incierto, las inspecciones detalladas deberían efectuarse al menos una vez al mes. Una vez que la escombrera esté establecido y las condicionantes del comportamiento de la escombrera sean mejor comprendidas, la frecuencia de inspección puede ser reducida a intervalos trimestrales.

Para las etapas de post cierre, las inspecciones deberían seguir un patrón periódico, dependiendo del historial de la escombrera durante su vida. Estas inspecciones deben desarrollarse preferentemente en la época de deshielo. Adicionalmente, posterior a cada sismo de relevancia debería realizarse una inspección para constatar la condición de la escombrera.

## 5.2 Registros de Incidentes y Retro Análisis

Para el mejor entendimiento de las condicionantes de inestabilidad en la escombrera será necesario elaborar un exhaustivo informe, evaluación y retro análisis de las fallas relevantes que ocurran durante la construcción, con el fin de generar procedimientos de operación más seguros.

### 5.2.1 Registros de Incidentes

El registro de incidentes debe ser una descripción clara y completa de la falla que proporcionará la información necesaria para entender las causas y mecanismos involucrados y permitir el retro análisis. El Anexo A incluye un formato tipo para el registro de los incidentes. El formato proporcionado responde a una lista de chequeo, y

podría ser complementado con información adicional. A continuación se presenta una descripción de la información que debería ser incluida en el registro de incidentes.

Ubicación de la Falla y Fecha:

Este campo debería incluir la ubicación y elevación de la falla en términos de las coordenadas locales de la mina, como asimismo debe registrarse la fecha y hora de la falla.

Geometría de la Falla:

En la medida de lo posible, tanto la topografía del terreno como la topografía de la condición pre- y post-falla de la escombrera debería estar disponible. En forma alternativa a la topografía de detalle, debería disponerse de la ubicación de la cresta y patas de la escombrera y cuantos puntos intermedios sean prácticos de obtener.

Con la información recopilada debería construirse una sección a lo largo de la falla y del runout, incluyendo el área de depositación. Cuando la falla involucre distintos tipos de material, debería indicarse una estimación relativa de los porcentajes correspondientes a cada uno, y su ubicación en el resultado de remoción en masa.

Las condiciones de la fundación deberían también describirse en detalle. Esto debería incluir los tipos de suelos y las condiciones piezométricas.

Volumen de la Falla:

Las estimaciones del volumen involucrado en la falla deben calcularse sobre la información topográfica y los perfiles.

Run Out:

El informe debe contener una descripción de las distancias que recorren los materiales desprendidos de la escombrera, desde la pata original del talud, hasta el límite más lejano, y una estimación del ángulo total definido desde la cresta original hasta el límite más lejano con respecto a la horizontal.

Descripción del material:

Debería proporcionarse una descripción completa del material removido. Esto debería incluir el tipo de material y granulometría del material removido como también sobre la superficie de falla. Asimismo debería registrarse las variaciones de los tipos de material a lo largo de la masa removida. Debería obtenerse registros fotográficos desde varias ubicaciones y distintos niveles de detalle.

Debería proporcionar una estimación del contenido de humedad de la masa removida y del material no afectado por la falla.

Información piezométrica y de filtraciones:

Este campo debe incluir la información piezométrica disponible para la escombrera o suelos de fundación e información respecto a las filtraciones observadas en la pata del talud u observaciones respecto a la saturación del suelo de fundación, ya sea antes o después la falla.

Información de monitoreo:

Este campo debería incluir un registro completo de los monitoreos para el período previo a la falla. Estos incluirán los registros de las inspecciones visuales como también la información cuantitativa de los desplazamientos de la cresta.

Información climatológica:

Este campo debería incluir los registros de precipitación y temperatura para el período previo a la ocurrencia de la falla.

Tasas de volteo:

Este campo incluye una estimación de las tasas de volteo de material. Si no se disponen de registros, pueden estimarse las velocidades de avance de la cresta mediante la comparación de levantamientos topográficos consecutivos de la cresta y pata.

Información sobre movimientos telúricos:

Cualquier sismo que pudiera tener algún efecto sobre el comportamiento de la escombrera debe ser documentado.

#### 5.2.2 Retro análisis

El empleo de retro análisis es un medio útil para la calibración de los modelos que describen el comportamiento de la escombrera. En el momento de la falla, la geometría de la superficie de falla y el factor de seguridad son conocidos con certeza. Debería desarrollarse estudios paramétricos para evaluar la importancia relativa y posibles valores de las condiciones piezométricas y resistencias al corte y para refinar los supuestos hechos en el diseño inicial.

## REFERENCIAS

- A.P.M.. “Sector Porfiada. Sendas de Avalanchas Preliminar.”, Mayo del 2000
- Golder Associates, “Review on Proposed Pit Design for the Pascua Project, Chile”, December 2000a.
- Golder Associates, “Registro Geotécnico de Sondajes de Exploración. Proyecto Pascua Lama”, Agosto 2000b.
- Golder Associates, “Preliminary Geotechnical Review of Waste Rock Dumps and Pit Slope Stability, for the Paris Option, Pascua Lama Project”, January 2002.
- Golder Associates, “Conceptual Water Management Plan For El Morro Waste Rock Facility at the Pascua Lama Project”, October 2004.
- Golder Associates, “Geologic Hazards Assessment Río Canito and Río Turbio Sub-basins. Lama Project”. Febrero 2005.
- Knight Piésold, “Proyecto Pascua Lama. Informe Impacto Ambiental. Etapa de Explotación”. Noviembre 2004.
- Leonardson, R.W. et al, “Geology, Alteration, Mineralization and Geochemistry of the Pascua Acid Sulfate Au-Ag-Cu Deposit, Chile and Argentina”, 2003.
- MR&G, “Informe de Resultados, Proyecto MR&G-21-98. Granulometría y Clasificación USCS, Proyecto Pascua”. 1998.
- SyS Ingenieros Consultores Ltda., “Assessment of Seismic Risk and Design Bases for the Facilities of the Pascua Lama Project”, Agosto 2000.
- SRK Consultores. “Site Investigations 2000-2001 Field Season. Geotechnical Investigations at Tunnel & Overland Conveyor areas-Data Report”, Mayo 2001.
- Water Management Consultants, “Hydrologic Modeling Evaluation for the Pascua Lama Gold Mine”, March 2000.
- Water Management Consultants, “Pascua Lama Investment Study: Geochemical Degradation Vulnerability of Waste Rock Assemblages”, March 2004a.
- Water Management Consultants, “Pascua Lama Investment Study: Water Quality Criteria for Use in Treatment Plant Design for the Estrecho and El Morro Waste Rock Facilities”, March 2004b.



## **ANEXO A**

### **FORMULARIOS MONITOREO GEOTECNICO**

## DESCRIPCION DE LA ESCOMBRERA

DESIGNACION DEL FRENTE \_\_\_\_\_

FECHA DE INSPECCION \_\_\_\_\_

FECHA DE INSPECCION PREVIA \_\_\_\_\_

NOMBRE DEL INSPECTOR \_\_\_\_\_

FIRMA DEL INSPECTOR \_\_\_\_\_

## RESUMEN DE LAS ACCIONES ADOPTADAS DESDE LA INSPECCION PREVIA

---

---

---

---

---

---

---

---

## RESUMEN DE LA INSPECCION

### ACCION REQUERIDA

PARAMETRO	NINGUNA	REVISION INMEDIATA POR GERENTE DE MINA	REVISION INMEDIATA POR ASESOR TECNICO	EMERGENCIA SE REQUIERE ACCION
CONDICION GENERAL DEL AREA				
CONDICIONES DE CONSTRUCCION Y DEL SITIO				
CONDICIONES DEL TALUD Y DE LA PLATAFORMA				
FILTRACIONES				
EROSION				
DESVIOS DE AGUAS				
FLUJO A TRAVES DE LA ESCOMBRERA				
INSTRUMENTACION				
CONSIDERACIONES ADICIONALES				

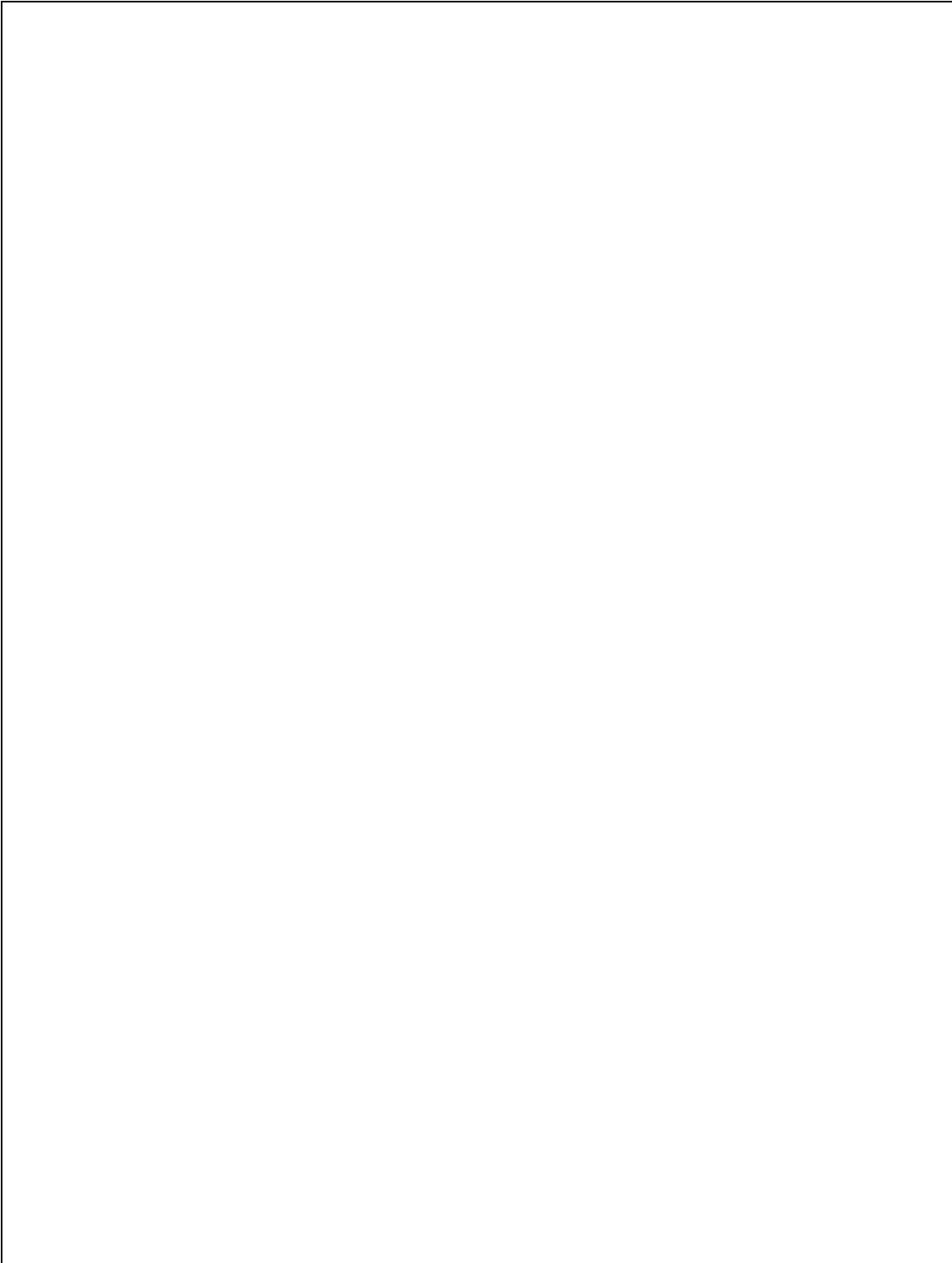
FORMULARIO DE INSPECCION DE LA ESCOMBRERA  
LISTA DE CHEQUEO

PAG 2 DE 4

	CAMBIOS C/R INSPECCIONES ANTERIORES	DESVIACIÓN C/R AL DISEÑO	ACCIÓN TOMADA
CONDICIONES GENERALES DEL AREA  Desarrollo aguas abajo y talud abajo Condiciones de la cuenca Características del curso de agua			
CONDICIONES CONSTRUCTIVAS Y DEL SITIO  Preparación de la fundación Colocación de materiales Caminos de carguío y de acceso Apariencia general del sitio y mantenimiento Otros			
CONDICIONES DEL TALUD Y DE LA PLATAFORMA  Agrietamiento de la plataforma Agrietamiento en la cresta Agrietamiento en el talud Gradiente excesiva en la cresta Protuberancia del talud Derrame en la pata Otros			
FILTRACIONES  De la cara del talud De los drenes De las laderas naturales Otros			
EROSION  Sobre la cara de la escombrera Sobre todas las caras			
DESVIO DE CURSOS DE AGUA  Colmatación Erosión Riprap o refuerzo Punto de descarga			
CAUDAL A TRAVÉS DE LOS DRENES  Colmatación en la bocatoma Erosión de finos Punto de descarga			
INSTRUMENTACION  Extensómetros de cable Monolitos topográficos Otros			
CONSIDERACIONES ADICIONALES  Calidad del agua Cobertura del suelo Vegetación Otros			

[illegible]

\*DIAGRAMA O PLANO DE LA ESCOMBRERA Y AREA CON PROBLEMAS  
OBSERVADOS



## REGISTRO DE INCIDENTES (FORMULARIO TIPO)

PLATAFORMA O FRENTE

FECHA DE LA FALLA

HORA DE LA FALLA

UBICACIÓN

Norte

Este

Elevación de la Plataforma

Elevación de la Pata

TIPO DE FALLA Y GEOMETRIA

Describir la superficie de falla en términos de la forma y materiales involucrados. Incluir además una topografía detallada de la situación pre y post falla y secciones si es posible.

VOLUMEN DEL MATERIAL FALLADO (m<sup>3</sup>)

DISTANCIA DE DESPRENDIMIENTO O RUN OUT

(pata de la escombrera hasta extremo más lejano del desprendimiento)

ANGULO DE RUNOUT (desde la cresta de la escombrera hasta extremo más lejano del desprendimiento)

VELOCIDAD DE LA FALLA (estimado)

DESCRIPCION DEL MATERIAL

Porcentaje de cada tipo de material involucrado. Para cada material, incluir una estimación de la granulometría y resistencia si es posible. Adjuntar información adicional si está disponible.

CONDICIONES DE LA FUNDACIÓN

Describir la estratigrafía, tamaño de partículas, ángulos de talud, zonas de filtración.

CONDICIONES PIEZOMETRICAS

Describir condiciones piezométricas (escombrera saturado o drenado, niveles piezométricos altos o bajos en la fundación)

INFORMACION DE MONITOREO

Tasas de movimiento y precedentes.

INFORMACION CLIMATICA

Cualquier evento de precipitación significativo.

TASAS DE VOLTEO

INFORMACION SISMICA

Cualquier indicio de sismicidad natural.

ANTECEDENTES DE FALLAS PREVIAS (S/N)

Adjuntar informes