



Curso: “Control de Sedimentos en Minería a Cielo Abierto”

ESCOMBRERAS

Material compilado por:

Prof. Aurora B. Piña D.

**Departamento de Minas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica,
Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela**



CONCEPTO DE ESCOMBRERA:

ESCOMBRERA ES UNA ACUMULACIÓN CONTROLADA O NO, QUE CONTIENE EL MATERIAL ROCOSO PROVENIENTE DE UNA EXPLOTACION MINERA, QUE NO TIENE VALOR ECONÓMICO (GANGA Ó ESTÉRIL) Y SE ENCUENTRA ASOCIADO A LA MENA.



ESCOMBRERA ORIENTAL, MINA NORTE



CONCEPTO DE ESCOMBRERA:

Las rocas estériles procedentes de la cobertura de las operaciones de cielo abierto o de las labores de preparación en las subterráneas se depositan, generalmente, como fragmentos gruesos en montones que constituyen las denominadas escombreras o botaderos.



ESCOMBRERA OCCIDENTAL, MINA NORTE



CONCEPTO DE ESCOMBRERA:

Los botaderos de mina son utilizados como lugares de acopio o apilamiento para colocar rocas estériles o pobres que deben eliminarse o removerse, para acceder a una mena o veta de carbón. En este contexto, los botaderos de mina han sido denominados vertederos, escombreras, entre otros. De hecho el término "escombrera" se emplea como término universal en muchos países. El término "botadero" parece ser oriundo de Norteamérica y es común en operaciones de minas metálicas, sin embargo, no siempre es utilizado en minas de carbón, donde aún puede hacerse referencia a "escombrera".

www.infomine.com/edumine





CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

Los factores básicos que se deben considerar en el diseño de un esquema de eliminación de rocas de mina y desmonte puede dividirse en cinco categorías generales:

- Factores Mineros,
- Restricciones Físicas,
- Impacto Ambiental,
- Estabilidad a Corto y Largo Plazo y
- Consideraciones Sociales/Políticas.



www.infomine.com/edumine



CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

Factores Mineros:

Incluyen aquellos aspectos relacionados al acarreo de materiales y programación de la mina. Por ejemplo, el transporte, por lo general, es muy importante para los costos de disposición final de rocas de mina y deforestación; así, se hace necesario ubicar las escombreras lo más cerca posible a la fuente, con acarreo a nivel o cuesta abajo hacia la escombrera. La flexibilidad de la programación también puede ser un factor importante, particularmente, para minas grandes donde se necesitan varias escombreras. Los requerimientos de equipos (tractores y patrones) también pueden variar dependiendo del tipo y ubicación de la escombrera.





CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

Restricciones Físicas:

La cantidad de materiales de la escombrera y la configuración, ubicación y capacidad básicas de un determinado terreno donde se ubica la misma pueden tener restricciones físicas importantes sobre el diseño. Los terrenos pueden estar limitados por características topográficas tales como corrientes o taludes de cimentación excesivamente inclinados. El acceso a algunos terrenos puede ser imposible o demasiado costoso. Dependiendo de la geometría del lugar, tener varias escombreras es mejor que tener una grande. La configuración y ubicación del terreno también pueden definir la técnica de construcción óptima.

www.infomine.com/edumine





CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

Impacto Ambiental:

Los impactos ambientales potenciales tienen influencia y en muchos casos, controlan el diseño de la escombrera. Los requisitos para las instalaciones de sedimentación pueden favorecer más a un terreno que a otro. Cuando se predice el drenaje de roca ácida, las medidas de mitigación requeridas pueden variar considerablemente entre los terrenos alternativos. El impacto potencial de las fallas en la escombrera también puede tener influencia en el diseño y debe ser evaluado. Adicionalmente, los requisitos de restauración y estética pueden variar de un terreno a otro, lo cual debe ser considerado en el proceso de diseño.





CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

Estabilidad a Corto y Largo Plazo:

La estabilidad de la escombrera de mina depende de la configuración, ubicación, forma de la cimentación y condiciones de la misma, así como de las características más importantes y la cimentación y su variación con el tiempo, metodología de la construcción, entre otros factores. Las consideraciones de estabilidad pueden variar dependiendo del nivel percibido de peligro o del periodo de exposición de la escombrera (por ejemplo, a corto plazo construcción durable vs. a largo plazo (abandono). De esta manera, se debe evaluar el potencial de varios tipos de inestabilidad, que pueden tener impacto en la seguridad de la operación o en el ambiente. Se deben tomar las medidas necesarias para reducir el riesgo de inestabilidad a un nivel aceptable. Así mismo, se debe analizar la estabilidad de la escombrera, así como el potencial para la erosión superficial de las pendientes restauradas.

www.infomine.com/edumine



CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

Consideraciones Sociales/Políticas:

Los proyectos de desarrollo de recursos de cualquier lugar están sujetos a la creciente necesidad de regulación y permisos más estrictos. Los asuntos como protección ambiental, conservación de los recursos, concesión de explotación de tierras vírgenes, importancia arqueológica, estética, y competencia por usos de tierra reciben una mayor atención por parte del público y el Estado. Los operadores de minas deben evaluar la percepción del público y la aceptación política de las alternativas de eliminación de rocas de mina y desmonte en la primera etapa del proceso de diseño.



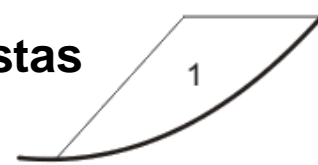
www.infomine.com/edumine



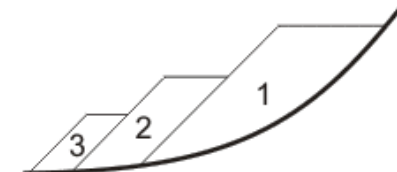
TIPOS DE ESCOMBRERAS:

Los tipos de escombreras que se pueden distinguir de acuerdo a la secuencia de constructiva de las misma, en terrenos con pendiente que es el caso mas habitual, son cuatro:

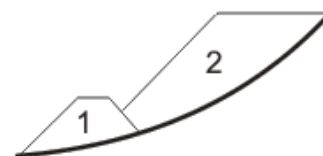
- Vertido libre
- Vertido por fases adosadas
- Dique de retención en pie
- Fases ascendentes superpuestas



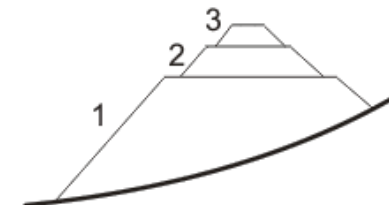
Vertido libre



Vertido por fases adosadas



Dique de retención de pie



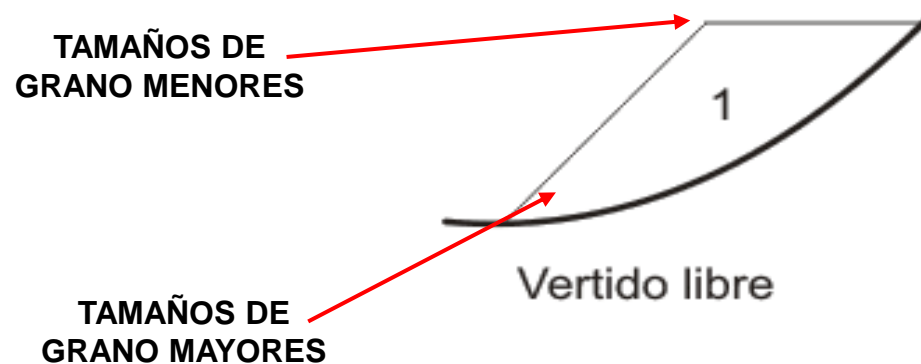
Fases ascendentes superpuestas



TIPOS DE ESCOMBRERAS:

Vertido libre:

Solo es aconsejable en escombreras de pequeñas dimensiones y cuando no exista riesgo de rodadura de rocas aguas abajo. Se caracteriza por presentar en cada momento un talud que coincide con el ángulo de reposo de los estériles y una segregación por tamaños muy acusada. De los cuatro tipos es el mas desfavorable geotecnicamente, aunque ha sido el mas utilizado hasta épocas recientes.



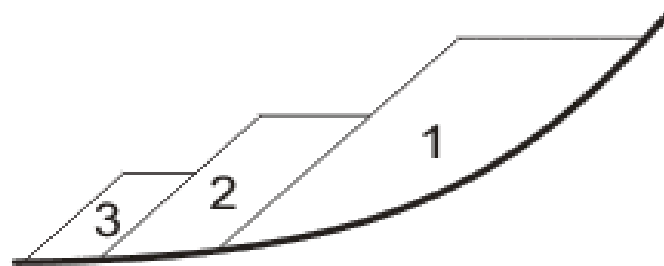
<http://www.textoscientificos.com/mineria/escombreras/tipos>



TIPOS DE ESCOMBRERAS:

Vertido por fases adosadas:

Proporcionan unos factores de seguridad mayores, pues se consiguen unos taludes medios finales mas bajos. La altura total puede llegar a suponer una limitación por consideraciones practicas de acceso a los niveles inferiores.



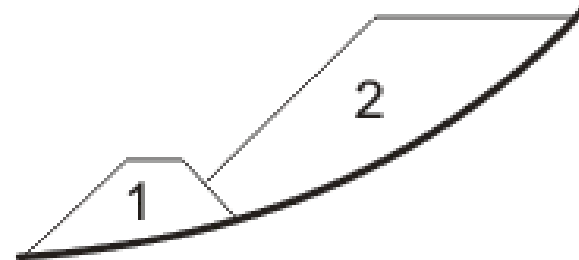
Vertido por fases adosadas



TIPOS DE ESCOMBRERAS:

Dique de retención en pie:

Se aplica cuando los estériles que se van a verter no son homogéneos y presentan diferentes litologías y características geotécnicas, puede ser conveniente el levantamiento de un dique de pie con los materiales mas gruesos y resistentes, de manera que actúen de muro de contención del resto de los estériles depositados.



Dique de retención de pie



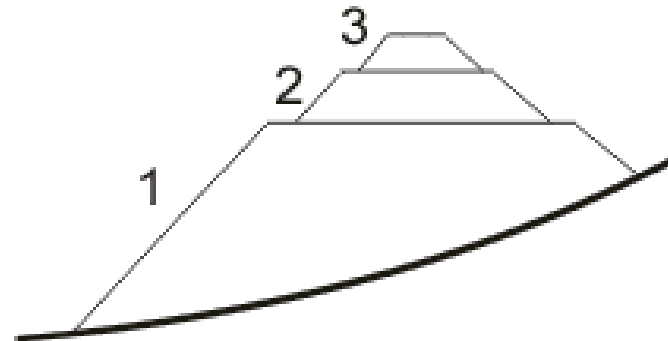
TIPOS DE ESCOMBRERAS:

Fases ascendentes superpuestas:

Aporta una mayor estabilidad , por cuanto se disminuyen los taludes finales y se consigue una mayor compactación de los materiales.

El procedimiento de vertido determina en gran medida el método de construcción ó de desarrollo de la escombrera.

Comúnmente, se reconocen dos métodos de vertido: a) por tongadas y, b) por basculamiento final.



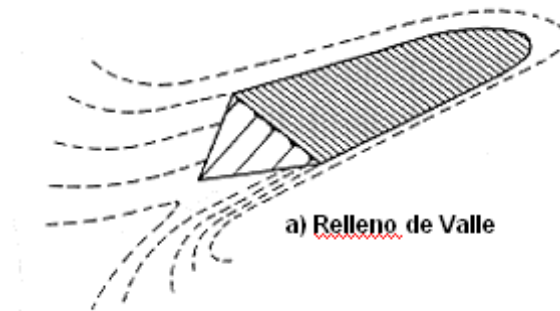
Fases ascendentes superpuestas



TIPOS DE ESCOMBRERAS:

Relleno de Valle:

Los rellenos de valle llenan el valle parcial o totalmente. La superficie de la escombrera, por lo general, es escalonada para prevenir el almacenamiento de agua en la parte superior del valle. Los rellenos de valle que no llenan totalmente el valle pueden requerir la construcción de alcantarillas, canales de drenaje o desviaciones, dependiendo del tamaño y de las características de la captación río arriba.



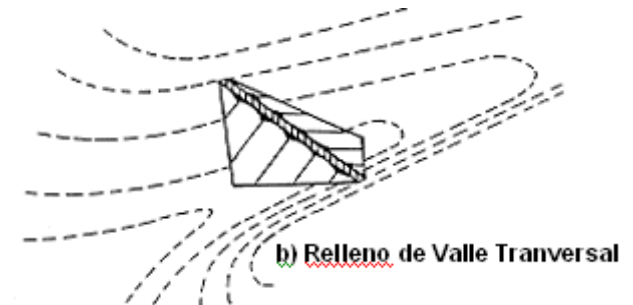
Tipos de escombreras de Mina Básicos (modificado posteriormente por Wahler (1979)).



TIPOS DE ESCOMBRERAS:

Relleno de Valle Transversal:

El relleno de valle transversal es una variación del relleno de Valle. Los bancos se extienden desde un lado del valle, a lo largo del drenaje, hacia el otro lado del valle. La parte del valle río arriba no se encuentra completamente llena y los taludes de relleno se establecen tanto río arriba como río abajo. Para evitar el almacenamiento de agua, el relleno de valle transversal, por lo general, requiere de provisiones específicas para conducir el agua hacia o alrededor del relleno (por ejemplo, las desviaciones y/o alcantarillas o canales de drenaje).



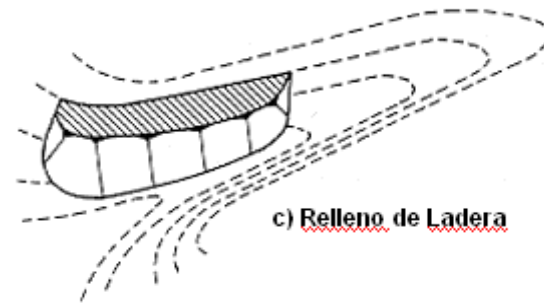
Tipos de escombreras de Mina Básicos (modificado posteriormente por Wahler (1979)).



TIPOS DE ESCOMBRERAS:

Rellenos a Media Ladera:

Los rellenos a media ladera son construidos en una ladera y no bloquean ningún curso de drenaje mayor. Las laderas de las escombreras, usualmente, se inclinan en la misma dirección general de la cimentación. Las bases de los rellenos a media ladera pueden ubicarse en la ladera o en el terreno plano en la parte inferior del valle.



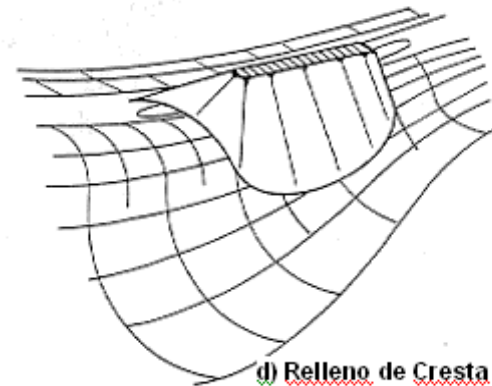
Tipos de escombreras de Mina Básicos (modificado posteriormente por Wahler (1979)).



TIPOS DE ESCOMBRERAS:

Rellenos de Cresta de Loma:

Los rellenos de Cresta de Loma son casos especiales de rellenos a media ladera, donde los taludes de relleno están formados por ambos lados por la línea de loma o cresta.



d) Relleno de Cresta Rígida

Tipos de escombreras de Mina Básicos (modificado posteriormente por Wahler (1979)).



TIPOS DE ESCOMBRERAS:

Rellenos Apilados:

Los rellenos apilados: rellenos Entongados o Apilados, comprenden montículos de desechos con taludes formados por todos lados. Los taludes de cimentación son generalmente planos o ligeramente inclinados.



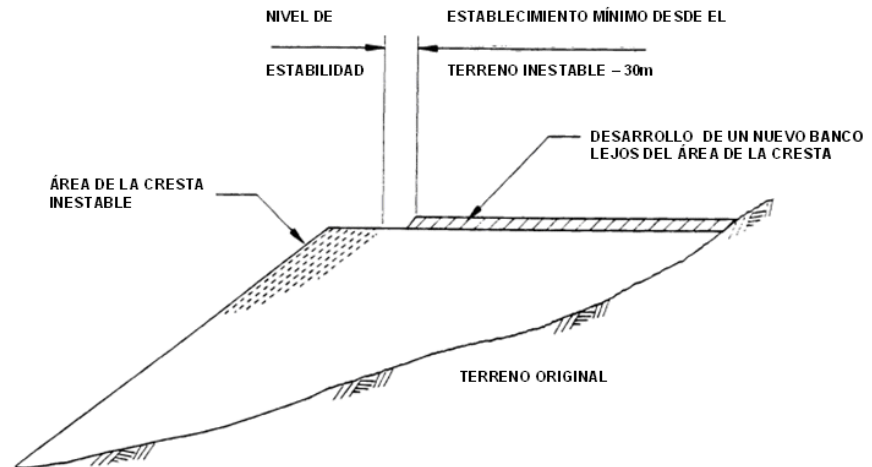
Tipos de escombreras de Mina Básicos (modificado posteriormente por Wahler (1979)).



TIPOS DE ESCOMBRERAS:

Otros Rellenos:

También pueden existir otros tipos de rellenos o rellenos para propósitos específicos, que no se pueden describir utilizando uno de los tipos antes mencionados, o rellenos que incorporan más de un tipo básico (por ejemplo, rellenos combinados).



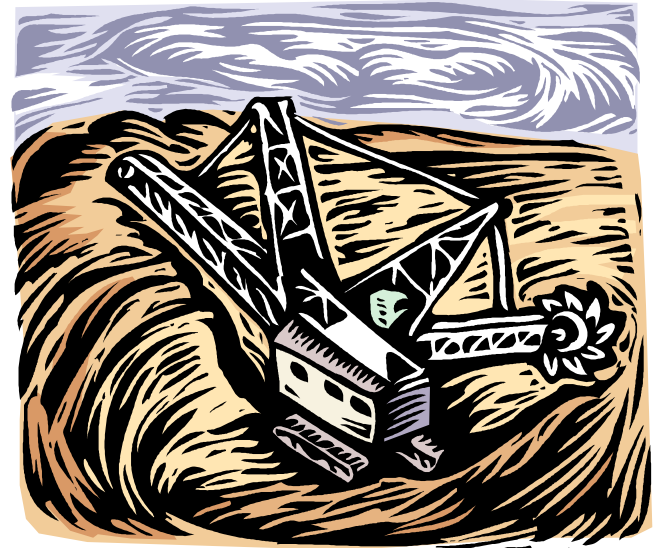
Tipos de escombreras de Mina Básicos (modificado posteriormente por Wahler (1979)).



CONFIGURACIÓN DE LA ESCOMBRERA:

La configuración y el tamaño de la escombrera de mina tiene una relación directa con su estabilidad y tamaño potencial de las fallas (Lau y otros (1986); Taylor y Greenwood (1981); Nichols (1981); y Blight (1981)). Las variables geométricas primarias son:

- ALTURA,
- VOLÚMEN y
- ÁNGULO DEL TALUD.

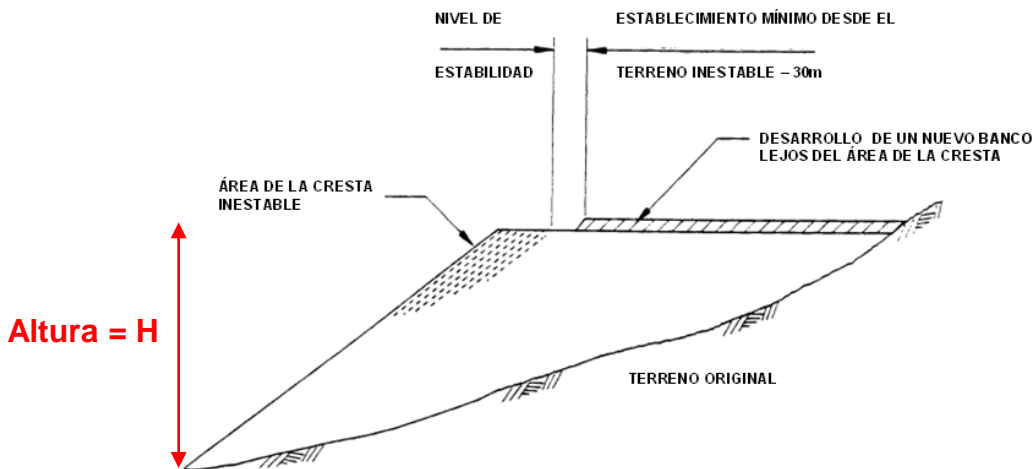




CONFIGURACIÓN DE LA ESCOMBRERA:

Altura:

Definida como la distancia vertical desde la cresta de la escombrera hasta la superficie del terreno en la base de la misma. Los tamaños de las escombreras generalmente varían de 20m hasta más de 400m.





CONFIGURACIÓN DE LA ESCOMBRERA:

Volúmen:

Generalmente expresado en términos de metros cúbicos por banco (volumen in situ antes de la excavación). Se considera que los escombreras pequeños contienen menos de 1 millón de m^3 aproximadamente, mientras que los grandes escombreras, más de 50 millones de m^3 . Los de tamaño mediano, tienen volúmenes que varían entre 1 y 50 millones de m^3 .

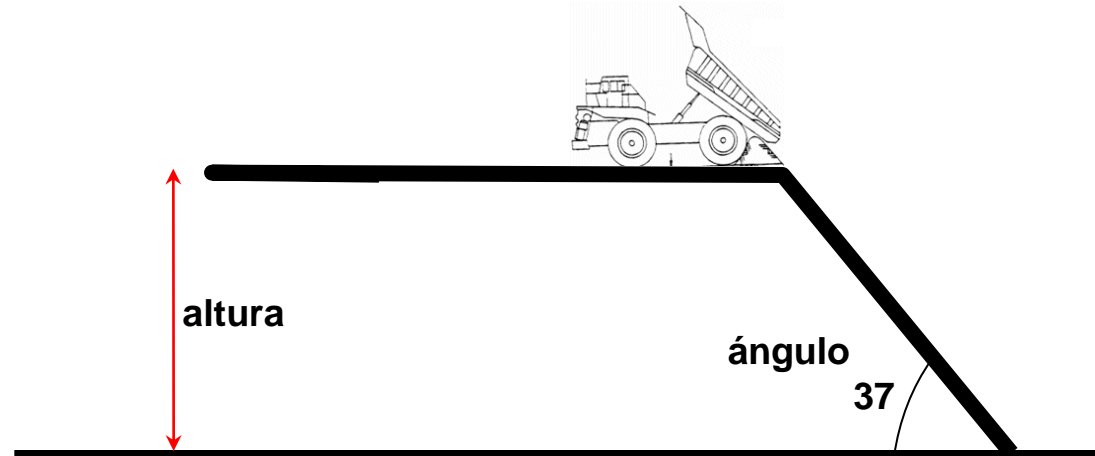
TAMAÑO	PEQUEÑO	MEDIANO	GRANDE
MILLONES MCB	< 1	1 - 50	> 50



CONFIGURACIÓN DE LA ESCOMBRERA:

Ángulo del Talud:

El ángulo total de la escombrera medido desde la cresta, desde la plataforma más alta hasta la base. El rango normal de los taludes de escombreras es de 26° , lo que constituye un ángulo común adoptado para remediación y 37° un ángulo de reposo promedio de vertido libre.

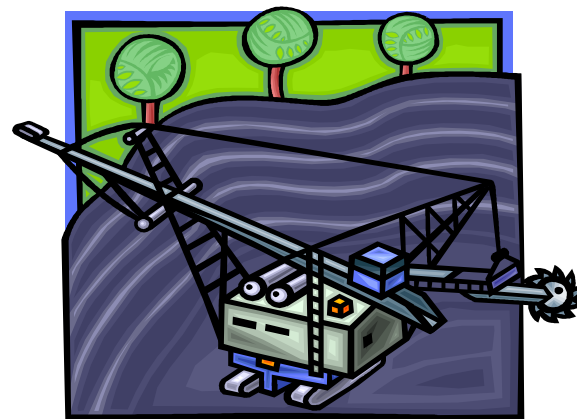


www.infomine.com/edumine



MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN:

Las escombreras, por lo general, se construyen en una serie de elevaciones o plataformas ya sea en secuencia ascendente o descendente. La construcción de taludes cuesta arriba (ascendente) es ventajosa, ya que la base de cada banco se apoya en el banco anterior. El método de construcción seleccionado se basa en una combinación de factores que incluyen: la minimización de la distancia de acarreo, accesibilidad, capacidad disponible y estabilidad del escombrera (lo que generalmente es crítico durante y poco después de la construcción).





SEGURIDAD:

La preocupación más importante en relación a la estabilidad de una escombrera consiste en la seguridad de su personal y equipo.

Un objetivo primario del diseño y secuencia de construcción es minimizar la posibilidad de que ocurra una falla sin o con mínima advertencia.

Sin embargo, la garantía de seguridad es, en gran medida, un tema operacional.





SEGURIDAD:

Las situaciones que tienden a generar fallas sorprendidas y por lo tanto, son por naturaleza peligrosas incluyen:

- vaciado cuesta abajo sobre el terreno inclinado, particularmente taludes de 25° a 30°
- vaciado de materiales con constituyentes de grano fino que confieren un componente cohesivo para la resistencia y que pueden inducir a que los taludes de construcción sean más inclinados que el ángulo de reposo normal;
- relleno rápido a un nivel que no permite la disipación de la presión intersticial y el desarrollo total de la resistencia entre las partículas;
- relleno excesivo de quebradas de modo que se pierdan los efectos de confinamiento;
- combinación de dos o más de los factores antes mencionados.

www.infomine.com/edumine



RIESGOS AMBIENTALES:

Al evaluar el riesgo potencial del medio ambiente dado por un esquema de escombrera específico, se deben considerar una serie de escenarios para el rendimiento del escombrera, incluyendo la evaluación de los impactos que se generan por los peores casos de falla. El peor caso de falla comprende la evaluación de la potencial distancia máxima de escorrentía y los impactos relacionados al terreno, cursos de agua e instalaciones, si los hubiere, a lo largo del deslizamiento.



www.infomine.com/edumine



TIPOS DE FALLAS:

Modo de Falla	Descripción	Ilustración	Factores Claves que Contribuyen a la Inestabilidad
<p>DERRUMBE DEL BORDE (Derrumbe de la cresta, falla de superficie o astilla). Podemos considerarla dentro de las fallas circulares.</p>	<p>Falla superficial que comprende la traslación talud abajo del material desde el área de la cresta en paralelo a la pared de la escombrera La falla no se extiende hasta la cimentación.</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Sobreinclinación de la cresta debido a la presencia de finos o ángulo de reposo empinado aparentemente estable de bloques de roca gruesa - Materiales de desmoronamiento que forman capas de permeabilidad bajas en paralelo a la pared de la escombrera - Altas precipitaciones - Índices de avance rápido de la cresta - Probablemente, puede ocurrir en escombreras construidas por medio de vaciado por un extremo en bancos densos o empujando los materiales desde la cresta

www.infomine.com/edumine



TIPOS DE FALLAS:


DERRUMBE DEL BORDE:

- El derrumbe del borde, también conocido como derrumbe de la cresta o falla de astilla, es probablemente el modo de falla que más se observa,
- Este tipo de falla, por lo general, proviene de la sobreinclinación del área de la cresta del talud de la escombrera. La sobreinclinación puede deberse a la presencia de finos o materiales residuales cohesivos.
- Las fuertes precipitaciones también pueden generar una falla en este caso.
- Los derrumbes del borde, en general, ocasionan la pérdida del área de la cresta de la escombrera; sin embargo, el volumen de la escombrera y los cimientos de la escombrera no están involucrados en la falla.
- Es más probable que el derrumbe del borde ocurra en taludes contruidos por vaciados por un extremo en bancos densos, o cuando el material de la escombrera contiene una gran cantidad de finos o es degradable.

www.infomine.com/edumine



TIPOS DE FALLAS:

Modo de Falla	Descripción	Ilustración	Factores Claves que Contribuyen a la Inestabilidad
FALLA PLANA (Falla bi-planar)	<p>Deslizamiento por un plano de debilidad simple en el embanque. También puede comprender corte a través de la base si el plano de debilidad no se presenta en la pared de la escombrera. Similar al derrumbe del borde pero la superficie de falla es generalmente más profunda en la masa y genera una sustancial fracturación de la cresta.</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Creación de un plano de debilidad que se presenta en o en paralelo a la pared de la escombrera, posiblemente debido a una zona de residuos de baja calidad, desmonte o nieve - Altas presiones intersticiales en la escombrera - También, ver factores para derrumbe del borde



TIPOS DE FALLAS:


FALLA PLANAR:

- La falla plana del embanque comprende el deslizamiento a lo largo de un único plano de debilidad,
- Los planos de debilidad pueden constituirse durante la construcción si los materiales finos o de mala calidad de la escombrera, tales como el desmonte, son vaciados en la cresta del mismo y forman zonas o capas paralelas a la pared de la escombrera,
- Las presiones intersticiales altas en la escombrera también pueden contribuir a que se presenten fallas planas.





TIPOS DE FALLAS:

Modo de Falla	Descripción	Ilustración	Factores Claves que Contribuyen a la Inestabilidad
FALLA ROTACIONAL (Arco circular, deslizamiento)	<p>Falla de masa a lo largo de una superficie de falla circular o curva en el material de la escombrera. Las fallas de deslizamiento comprenden derrumbes rotacionales ampliamente expandidos caracterizados por el abultamiento en la base de la escombrera</p>		<ul style="list-style-type: none"> - escombrera homogénea compuesta de materiales de grano fino y débiles - Altura excesiva de la escombrera en materiales cohesivos - Altas presiones intersticiales en la escombrera - Falta de soporte o confinamiento lateral (por ejemplo, efecto 3-D)



TIPOS DE FALLAS:

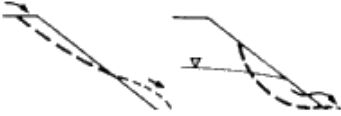
FALLA ROTACIONAL:

- La falla rotacional del embanque comprende fallas masivas en el talud a lo largo de una superficie de falla circular o curvilínea formada dentro del embanque,
- La falla de movimiento gradual, por lo general, se manifiesta a través de un abultamiento progresivo y a largo plazo en la base de los taludes,
- Las fallas rotacionales comúnmente se relacionan a los embanques homogéneos que están compuestos de materiales de grano fino o débil,
- En el caso de materiales cohesivos (por ejemplo, botes superficiales), estos se pueden precipitar debido a la construcción de botaderos o bancos individuales muy altos o muy inclinados,
- Las fallas rotacionales también pueden presentarse por altas presiones intersticiales de agua en el botadero.

www.infomine.com/edumine



TIPOS DE FALLAS:

Modo de Falla	Descripción	Ilustración	Factores Claves que Contribuyen a la Inestabilidad
<p>FALLAS DE FLUJO (Flujo de detritos, flujo de lodo, deslizamientos del flujo)</p>	<p>Fallas superficiales que comprenden el derrumbe de materiales de la escombrera saturados o parcialmente saturados. Los flujos del material se deslizan en un estado semifluido</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Flujos superficiales concentrados que descargan en la cresta del escombrera - Altas precipitaciones, alta filtración, y/o desarrollo de napa freática aislada que genera la saturación de los materiales de la escombrera cercanos a la superficie



TIPOS DE FALLAS:

FALLA DE FLUJO:

- Los flujos comprenden flujos de detritos, flujos de barro y deslizamientos de flujo,
- Estas fallas comprenden derrumbes superficiales y fluidización posterior de materiales del talud saturados o parcialmente saturados en la cresta o en la pared del mismo,
- El volumen y la velocidad del flujo pueden incrementar la inclinación del talud como resultado de la erosión del material subyacente y el incremento del momento,
- Los flujos pueden desarrollarse como respuesta a la saturación del talud o taludes debido a la alta precipitación e infiltración, desarrollo de la napa freática aislada y/o concentración de los flujos superficiales en los taludes,
- El potencial para las fallas por flujo es mayor debido a la baja densidad, rellenos sueltos compuestos de materiales finos y es menor debido a rellenos consolidados muy densos con pocos finos.

www.infomine.com/edumine



ASENTAMIENTO:

Como resultado de las características de los materiales y los métodos de construcción comúnmente utilizados, las escombreras de mina están sujetos a asentamientos sustancialmente mayores que la mayoría de los otros tipos de embanques técnicos.

El potencial para la interrupción del drenaje y la formación de fisuras debido al asentamiento diferencial es grande y se debe tomar en cuenta al momento del diseño de la escombrera. A manera de comparación, el asentamiento de las represas construidas utilizando relleno de roca estéril (reportado por Clements (1984)) está en el orden de un porcentaje menor de la altura total. OSM (1989) sugiere que para planificar las medidas de drenaje, los estimados de asentamiento en base al 1% de la altura de la escombrera sean adecuados.

www.infomine.com/edumine



SEGURIDAD:

Bermas

- **Se deben mantener bermas de seguridad en todas las crestas de la escombrera de la mina.**

Plataforma de la escombrera

- **La condición de la plataforma de la escombrera debe ser monitoreada visualmente en busca de cualquier signo de inestabilidad,**
- **Es responsabilidad de la persona encargada de la escombrera y/o del operador del tractor asegurar que la superficie de la escombrera se mantenga en buenas condiciones con respecto al tránsito,**
- **La plataforma de la escombrera debe mantenerse con un grado ascendente hacia la cresta. Debido al continuo asentamiento de un botadero activo, esto requerirá un trabajo periódico. Debe mantenerse un grado no menor a 2%.**

www.infomine.com/edumine



SEGURIDAD:

Señales

Debe mantenerse una señalización adecuada en las plataformas de la escombreras y en las vías de acceso para asegurar un tránsito fluido. Las señales se requieren para marcar claramente las áreas de vaciado activas y cerradas, la dirección del viaje, los cruces, entre otras.

Iluminación de la escombreras

La mayor parte de las minas mantienen iluminación en los botaderos para operaciones nocturnas. Las luces deben ser adecuadas para iluminar efectivamente el área de vaciado activa. Las luces deben colocarse de tal forma que se evite el reflejo de la luz directamente sobre los ojos del operador del camión durante el proceso de acercamiento o de vaciado.

www.infomine.com/edumine



SEGURIDAD:

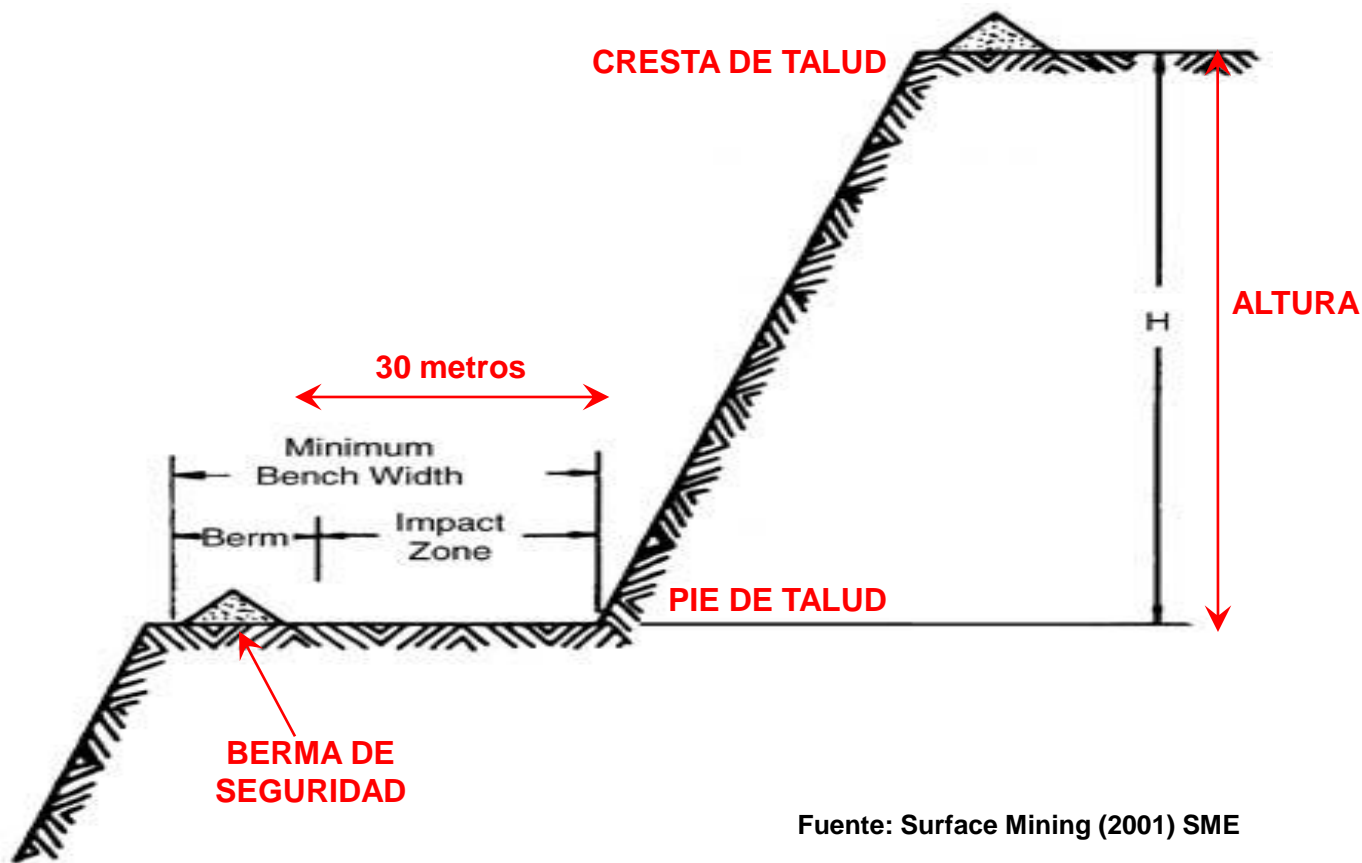
Vías de Acceso

- **Mantener las condiciones de las vías de acceso es beneficioso por razones de seguridad y de mantenimiento de vehículos. Debe tenerse cuidado al remover cualquier roca suelta de estas vías.**
- **La inspección visual de las vías cercanas a la cresta de la escombreras debe revelar cualquier problema ocasionado por desmoronamiento o ruptura.**
- **Los operadores de camiones de acarreo, las personas encargadas de la escombreras, los operadores de tractor y cualquier otra persona que visite rutinariamente los botaderos debe estar capacitada para reconocer estos problemas y reportarlos inmediatamente a sus superiores.**

www.infomine.com/edumine



SEGURIDAD: Configuración del talud



Fuente: Surface Mining (2001) SME

www.infomine.com/edumine



CALIDAD DE LOS MATERIALES:

La resistencia y la durabilidad del material de la escombreras pueden variar considerablemente.

Como materiales de ingeniería/construcción, las partículas angulares de roca dura y durable son ideales.

Al otro lado del espectro, están los materiales con alto contenido de finos o que tienen poca durabilidad y tienden a quebrarse con el tiempo.

El material con alto porcentaje de partículas débiles o material que se deteriora con el tiempo puede provocar una serie de problemas tales como permeabilidad debido a la desintegración del tamaño de grano que genera la acumulación de agua intersticial y una resistencia de corte más baja. Esto puede reducir la estabilidad de la escombreras.

www.infomine.com/edumine



CALIDAD DE LOS MATERIALES:

El desmonte (suelo o material de deforestación) debe retirarse de las escombreras de minas, ya que obstaculiza el drenaje y presenta zonas de resistencia de corte más baja.

El desmonte o deforestación debe colocarse en sitios específicamente designados y diseñados (escombreras de capa vegetal) o en terrenos para pilas de escombreras.





DRENAJES:

El control del agua es la mayor preocupación en la construcción y operación de las escombreras. Las fuentes principales de agua que deben considerarse en términos de drenaje desde y alrededor de las escombreras de mina son:

- La escorrentía de un talud desde la cima de la escombrera;**
- una precipitación (lluvia) que cae directamente en la escombrera o talud;**
- Una filtración desde y dentro de la cimentación de la escombrera (manantiales) y**
- Una escorrentía aguas arriba de la escombrera, para botaderos de relleno de valle.**
- Las principales preocupaciones relacionadas con estas diversas fuentes de agua son la estabilidad de las escombreras, la calidad del agua drenaje abajo de la escombrera y la erosión de los taludes.**

www.infomine.com/edumine



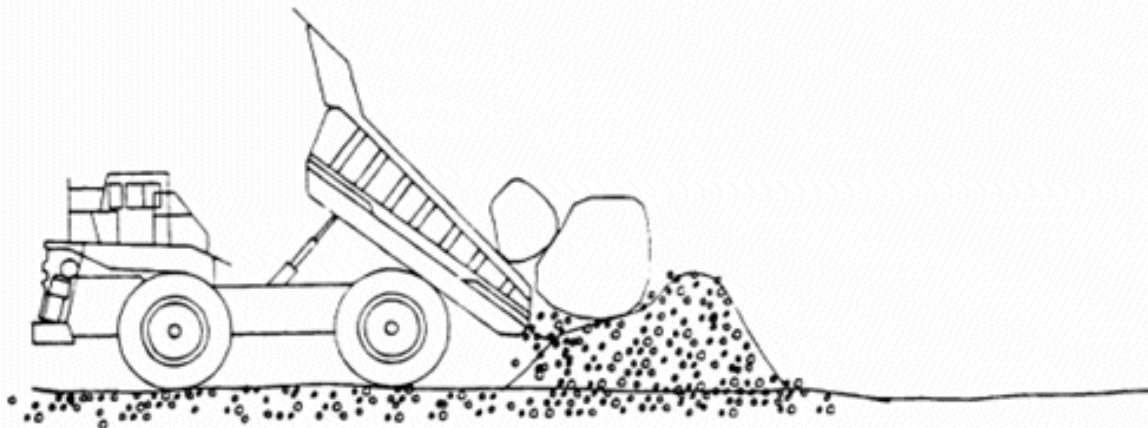
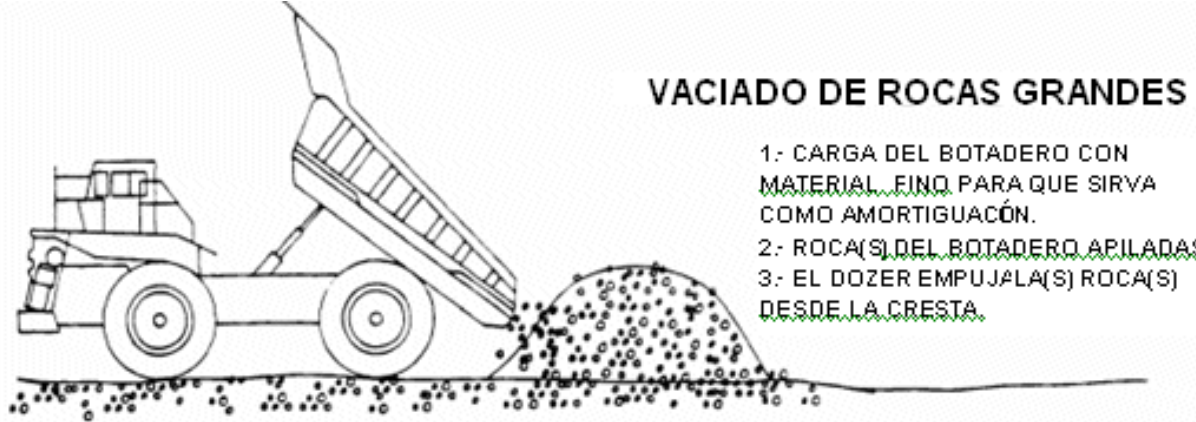
PROCEDIMIENTOS DE VACIADO:



www.infomine.com/edumine



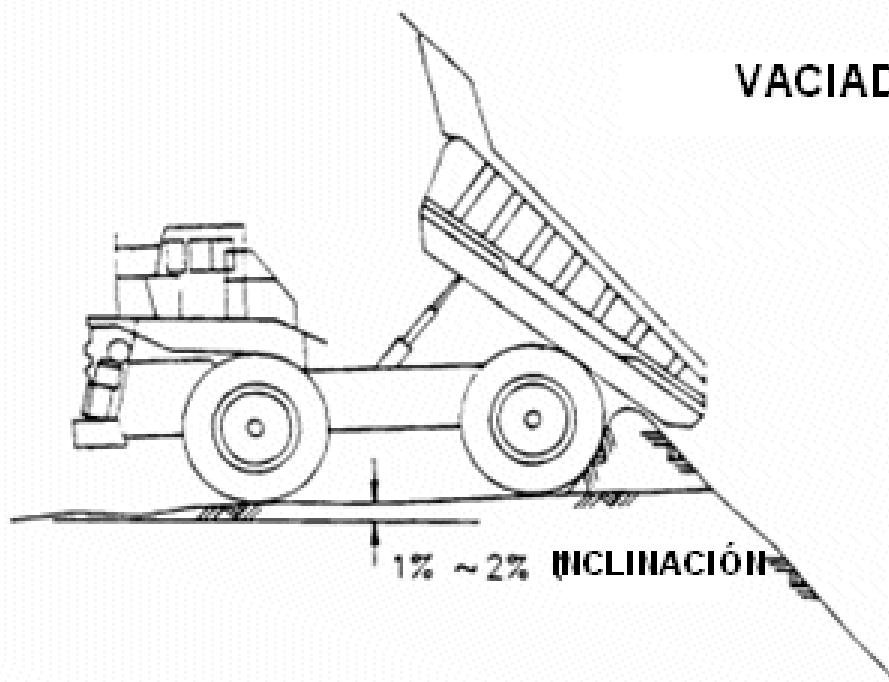
VACIADO DE ROCAS GRANDES:



www.infomine.com/edumine



VACIADO EN LA CRESTA:



VACIADO EN LA CRESTA



PROCEDIMIENTOS DEL CAMIÓN DE ACARREO:

- La circulación de los camiones de acarreo debe seguir el sentido de las agujas del reloj en la plataforma del botadero para brindar a los conductores una vista libre de obstáculos de la cresta del botadero antes del retroceso.
- Al acercarse al área de vaciado, el conductor debe disminuir la velocidad del camión y revisar el área para verificar las condiciones del suelo y la berma, el personal y otros vehículos. El área debe ser segura y estar libre antes de retroceder.
- Los camiones de acarreo deben ser orientados básicamente en dirección perpendicular a la berma mientras vacían sus cargas.



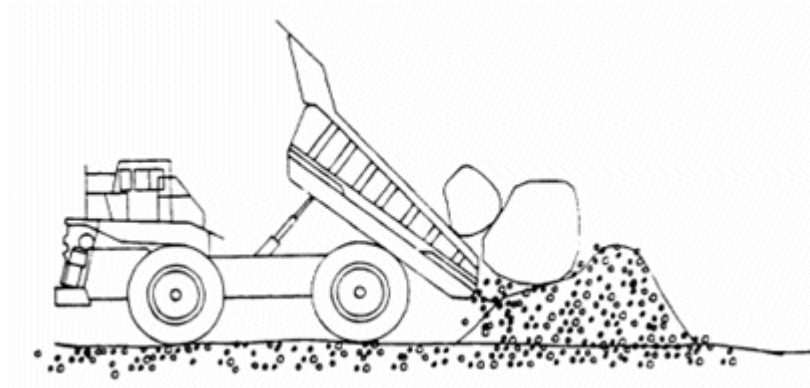
www.infomine.com/edumine



TRATAMIENTO DE MATERIAL DE GRAN TAMAÑO:

Si los camiones de acarreo llegan al botadero con este material de gran tamaño, se dan las siguientes recomendaciones:

- Las cargas que consisten en rocas grandes no deben vaciarse sobre el borde.
- No es seguro y puede dañar el equipo.
- Dichas cargas deben vaciarse en pequeñas cantidades y empujarse sobre el borde.





TRATAMIENTO DE MATERIAL DE GRAN TAMAÑO:

- **Primero debe vaciarse una carga de material fino para que sirva de amortiguación para las rocas grandes, la carga de gran tamaño debe luego apoyarse en la pila de material fino; el camión vaciará la(s) roca(s) grande(s) sobre la pila de los finos.**
- **Cuando el camión haya abandonado el área, el tractor debe empujar el material sobre el borde.**
- **Los camiones con carga tienen derecho de pase.**
- **Los camiones no se retirarán de la berma hasta que la tolva haya descendido.**
- **Las cargas deben arrojarse una a la vez. Un segundo camión no debe retroceder a la berma hasta que el primer camión haya bajado su tolva y se haya retirado.**
- **Los camiones no deben avanzar o retroceder hasta la que tolva haya descendido completamente.**

www.infomine.com/edumine



PROCEDIMIENTOS CON TRACTORES (DOZERS):

- Los tractores se utilizan para mantener la superficie del botadero y la berma de seguridad del botadero, además para empujar el material sobre el borde cuando es necesario.
- Cuando se requiera, se vaciarán una o más cargas en pequeñas cantidades desde la cresta para proporcionar el material para la construcción y mantenimiento de la berma o la superficie y nivel del botadero.

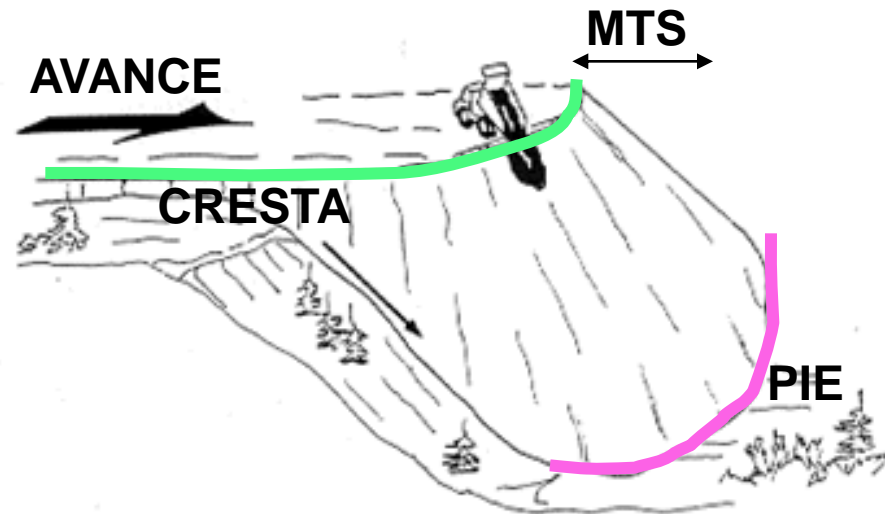


www.infomine.com/edumine



ÍNDICE DE CARGA:

• Los índices de descarga de la cresta son reportados en términos de volumen de vaciado por metro lineal de cresta por día ($\text{m}^3/\text{m}/\text{día}$) o en metros por día ($\text{m}/\text{día}$) del avance de la cresta. Por lo general, los metros por día del avance de la cresta es una figura de mayor utilidad y debería ser adoptada como el valor reportado.





MONITOREO DEL BOTADERO Y ESCOMBRERA:

Durante la construcción de las escombreras de mina, se dan deformaciones internas debido a los cambios en las tensiones totales y las presiones intersticiales así como debido a filtraciones y efectos secundarios.

- Los movimientos en los cimientos y otros factores provocan deformaciones.**
- Estas deformaciones pueden provocar el asentamiento del material o un desplazamiento de corte a lo largo de la superficie de la falla.**
- El asentamiento del material del botadero no es necesariamente indicativo de falla en los taludes mientras que un desplazamiento del corte sí lo es (Robertson (1982)).**





COMPRESIÓN DEL MONITOREO:

“Para la mayoría del personal de operaciones la necesidad de seguridad es obvia, pero los requerimientos más técnicos relacionados a la prueba de diseño, aunque apegado a la seguridad, pueden no ser tan claros.


Para ilustrar este punto, **un operador de un camión de acarreo** no necesitaría que le digan que debe mantenerse alejado de una sección visiblemente rota y altamente deformada de la cresta del botadero, especialmente si ha visto los resultados de fallas pasadas en los botaderos.

Sin embargo, si se le dice al mismo operador "Manténgase alejado de la plataforma 1590 porque las presiones piezométricas de la cimentación están incrementándose“, él puede no mostrar el mismo respeto, aún cuando una falla mucho más grande pueda ser inminente.”

www.infomine.com/edumine




TIPOS DE FALLAS, CAUSAS Y SIGNOS PREVENTIVOS:

Tipo de Falla	Diagrama	Causa Común	Posibles Efectos	Signos Preventivos
<p>Falla circular en la cresta</p>		<p>Cresta sobreinclinada debido al alto contenido de finos, índice de vaciado rápido, material húmedo</p>	<p>Falla de la cresta a pequeña escala, asentamiento en la cresta del botadero</p>	<p>Ruptura de la cresta, asentamiento cerca de la cresta, talud empinado debajo de la cresta, índices crecientes de desplazamiento de la cresta</p>




TIPOS DE FALLAS, CAUSAS Y SIGNOS PREVENTIVOS:

Tipo de Falla	Diagrama	Causa Común	Posibles Efectos	Signos Preventivos
Falla de cimentación		<p>Material débil en la cimentación, índice de carga rápida, altas presiones intersticiales en la cimentación, efectos de voladuras o terremotos</p>	<p>Puede causar una falla grande que involucre una parte importante del botadero</p>	<p>Filtración en la base, abultamiento o expansión de la base del botadero, rupturas detrás de la cresta del botadero</p>




TIPOS DE FALLAS, CAUSAS Y SIGNOS PREVENTIVOS:

Tipo de Falla	Diagrama	Causa Común	Posibles Efectos	Signos Preventivos
Falla rotacional		<p>Material débil en el botadero o cimentación, altas presiones intersticiales, índices de carga rápida. Puede involucrar solo el material del botadero o incluir también la cimentación. Puede ser circular o no circular en la configuración</p>	<p>Puede provocar fallas que involucran solo gran parte del botadero, o el botadero y la cimentación (se ilustran dos superficies típicas de falla)</p>	<p>Abultamiento en la base, ruptura y asentamiento detrás de la cresta, vibración de roca, posibles rocas escarpadas detrás de la cresta</p>



TIPOS DE FALLAS, CAUSAS Y SIGNOS PREVENTIVOS:

Tipo de Falla	Diagrama	Causa Común	Posibles Efectos	Signos Preventivos
Falla planar		<p>Plano de debilidad en el material del botadero aproximadamente paralelo a la pared del botadero debido a material pobre, lentes de nieve o carga rápida</p>	<p>Puede comprender una importante cantidad de material con una gran distancia de deslizamiento</p>	<p>Derrumbe de la cresta del botadero, abultamiento de la base o pared, rupturas de la plataforma detrás de la cresta</p>



INSPECCIONES VISUALES DE LA ESCOMBRERA:

Las observaciones visuales son críticas para mantener una operación de vaciado segura.

Los indicadores visuales de áreas problemáticas en un botadero son:

- ruptura excesiva de la superficie;**
- bermas de seguridad fuera de lugar;**
- necesidad de aumentar la superficie;**
- protuberancia en la pared del botadero; y**
- filtración en la base o en el cimiento.**

Estas observaciones son importantes para implementar prácticas de descarga apropiadas.



www.infomine.com/edumine



OBSERVACIONES DESDE LA CRESTA:

Las inspecciones visuales regulares de la cresta del botadero pueden detectar signos iniciales de inestabilidad tales como:

- rocas sueltas o derrumbes menores originados durante el asentamiento del material;
- rupturas que indican que el grado de asentamiento
- todas las rupturas deben rellenarse para formar una vía de acceso plano hacia la cresta del botadero y para controlar la filtración de agua superficial.

Los operadores de camiones de acarreo y de tractores deben estar atentos ante la aparición de rupturas y derrumbes en la cresta del botadero y deben notificar al jefe de turno inmediatamente de encontrar alguna.





OBSERVACIONES DESDE LA CRESTA:

La inestabilidad potencial de los botaderos se puede manifestar por medio de una ligera curvatura cóncava cuando el observador mira desde la cima de la berma hacia la base siguiendo la línea de caída. Esta curvatura puede ocurrir por la aparición de protuberancias en la base o sobreinclinación de la cresta; y la sobreinclinación del talud directamente debajo de la cresta es frecuentemente el resultado de la rápida acumulación de material fino cerca de la cresta. La acumulación del material con frecuencia será más inclinado que el ángulo de reposo y es muy probable que conduzca a fallas de astillas en la pared y posiblemente involucre la cresta.



Falla de astilla



OBSERVACIONES DESDE EL TALUD:

Indicadores visuales de inestabilidad en el botadero son las protuberancias formadas durante el asentamiento del material. **El abultamiento puede desarrollarse en la cresta, en el centro o en la base del talud del botadero.** El abultamiento de la cresta y del centro es provocado por la sobreinclinación del talud más allá del ángulo usual de reposo y puede darse por la poca segregación de material del botadero, por el índice excesivo de descarga o por la presencia de zonas de material saturado. Si se observa una protuberancia, puede ser un indicador de inestabilidad potencial. **Puede no ser serio ya que el continuo vaciado por un extremo regresará gradualmente al talud a su ángulo de reposo.** Sin embargo, si la sobre inclinación continúa, una amplia área de la cresta puede verse afectada y el vaciado debe discontinuarse hasta que el movimiento del talud disminuya.

www.infomine.com/edumine



OBSERVACIONES DESDE EL TALUD:

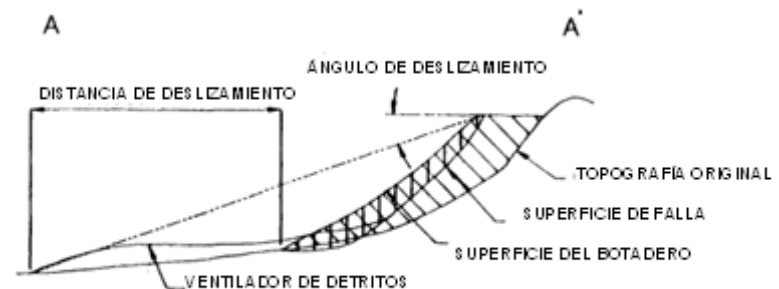
La protuberancia en la base es un indicativo de un asentamiento a gran escala. Las fallas en los botaderos de mina están usualmente precedidas por protuberancias en la base, pero no todas las protuberancias de la base preceden una falla. Si se observa el abultamiento de la base debe examinarse cuidadosamente los resultados del monitoreo. Si no se ha realizado el monitoreo instrumental, este debe considerarse de inmediato. Si el crecimiento de la protuberancia continúa, se debe discontinuar la descarga en el área hasta que el talud se estabilice. Una vez que el movimiento del talud cese de acuerdo a lo indicado por la instrumentación, la actividad de descarga puede reestablecerse con precaución.





DESCRIPCIÓN DEL DESLIZAMIENTO:

La distancia de deslizamiento tiene consecuencias obvias en el personal, el equipo y los edificios ubicados bajo el botadero. También existen preocupaciones ambientales potencialmente significativas. El deslizamiento debe describirse en base a la distancia existente desde la base original del botadero hasta la base de los detritos y en base al ángulo de deslizamiento. Dicho ángulo se mide como el ángulo por debajo del horizontal desde la cresta del botadero hasta la base de los detritos antes de la falla. El ángulo de deslizamiento debe medirse en una sección vertical a lo largo de la línea central de la ruta de viaje.



SECCIÓN COMPUESTA EN LA LÍNEA CENTRAL DE LA FALLA



RESTAURACIÓN:

La restauración de los botaderos de mina se puede resumir como el establecimiento de taludes y superficies planas estables cubiertos de vegetación.

- mejora de infiltración o percolación de aguas superficiales;
- estabilización contra la erosión por viento o agua;
- disminución de la contaminación del aire y del agua;
- conservación y mejora del suelo;
- promoción del uso beneficioso de tierras después de la operación minera;
- embellecimiento de la apariencia.





ENTONCES A MODO DE CONCLUSIÓN:

- Las escombreras representan algunas de las estructuras geotécnicas más largas y más altas del mundo.
- En el diseño de las escombreras se deben considerar el costo de las distancias de acarreo temporales adicionales y la pérdida de disponibilidad de un botadero por fallas.
- Las escombreras no pueden considerarse como masas isotrópicas homogéneas, sino totalmente heterogéneas y complejas.
- La longitud de las crestas de los botaderos en las escombreras debe establecerse tan grande como sea posible para minimizar el índice de carga relacionado a la inestabilidad.
- El agua es importante mantenerla lejos de las crestas de los taludes y canalizarla (construcción de drenajes) adecuadamente.
- Es necesario que los operadores de tractores y camiones pongan atención a todos los elementos señalados en este taller, para identificar posible problemas en las escombreras.

www.infomine.com/edumine



BIBLIOGRAFÍA:

- Curso "Diseño y Operación de Grandes Botaderos", Edumine-Infomine (2007). www.infomine.com
- Libro "Surface Mining", SME (2001). www.sme.org
- Libro "Deslizamientos de taludes en zonas tropicales", Jaime Suárez (1998). www.erosion.com.co
- Internet: www.textoscientificos.com/mineria/escombreras/tipos

