



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

ESCOMBRERAS

Material compilado por:

Prof. Aurora B. Piña D. y Sasha E. Cazal D.

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



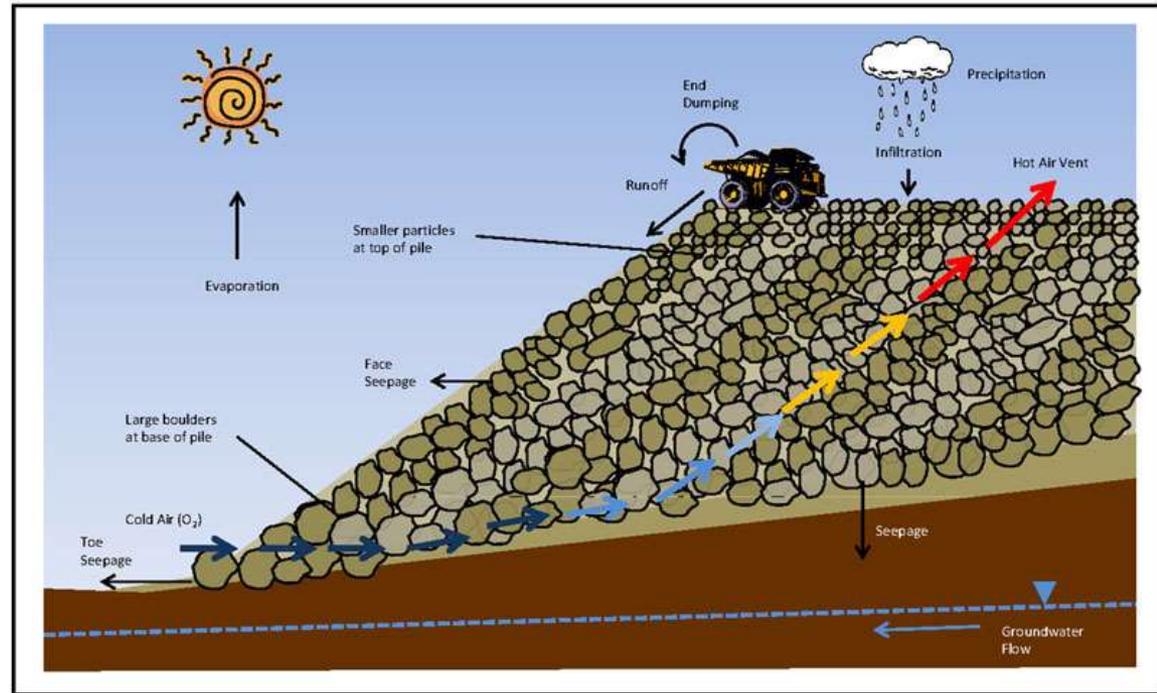
Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

OBJETIVO:

Conocer los diferentes criterios que se utilizan en el diseño y manejo de escombreras o acumulaciones de material suelto a cielo abierto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Distinguir entre las definiciones de escombrera y botadero en el ámbito minero.
2. Consideraciones básicas en el diseño y configuración de escombreras.
3. Tipos de escombreras. Clasificaciones de escombreras.
4. Tipos de fallas más comunes en escombreras.
5. Elementos de seguridad y ambiente en escombreras.



Escombreras y botaderos

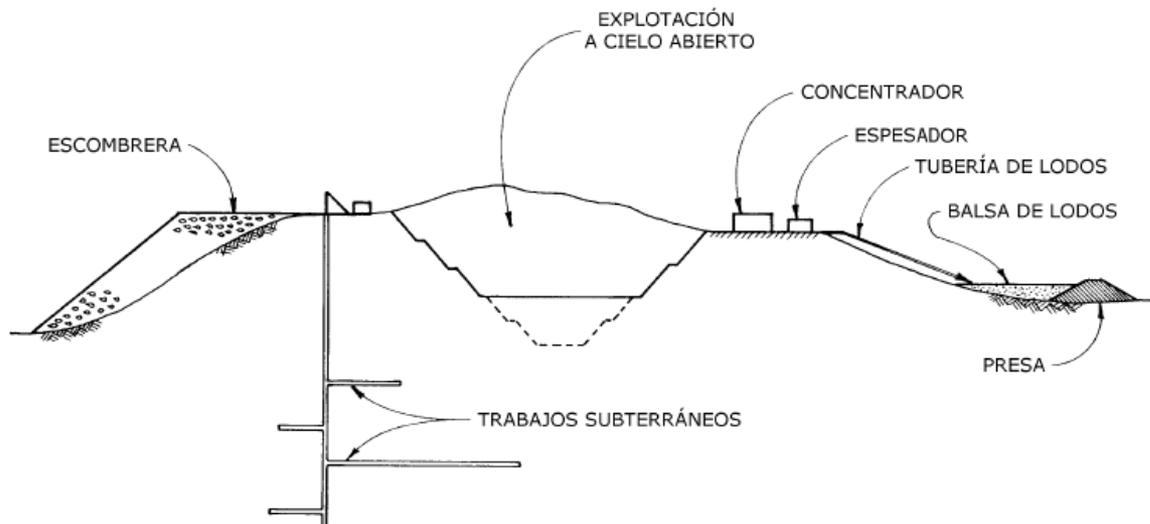
CONCEPTOS BÁSICOS Y DEFINICIONES



CONCEPTO DE ESCOMBRERA:

Se denomina escombrera a toda aquella acumulación de materiales sólidos de granulometría variable procedentes de las actividades humanas, bien como residuos de los procesos mineros (estériles rocosos) o de otros procesos industriales o urbanos (escombros de derribo, tierras de vaciado de solares, etc.)

La acumulación de estos residuos debe realizarse, fundamentalmente, por la carencia de valor económico o la imposibilidad de su aprovechamiento en el momento de su almacenamiento.



Junta de Andalucía, s/f



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

CONCEPTO DE ESCOMBRERA:

Escombrera es una acumulación controlada o no, que contiene el material rocoso proveniente de una explotación minera, que no tiene valor económico (ganga o estéril) y se encuentra asociado a la mena o material económico.



ESCOMBRERA ORIENTAL, MINA NORTE



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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".



Bote nivel P160 Escombrera
Occidental



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

ESTÉRILES DE ESCOMBRERA:

Los materiales estériles (Ayala & Rodríguez, 1986) que conforman las escombreras son de litologías distintas y granulometrías variables.

(Williams, 1996) Comenta que los residuos sólidos provenientes de las actividades mineras están constituidos por los recubrimientos (*overburden*) y estériles de las minas a cielo abierto y estériles de las operaciones mineras subterráneas (a las que pueden incluirse aquellas realizadas con los métodos mineros de excavación tradicionales y que conllevan a la construcción de obras civiles e hidráulicas).





Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

ESTÉRILES DE ESCOMBRERA:

Dentro de aquellos materiales y rocas que se consideran estériles en minería, (Williams, 1996) explica que en el particular de los casos australianos se clasifican en residuos de rocas duras y rocas blandas.

El concepto de «roca dura» es debido a que se considera al material esencialmente libre de humedad (su contenido está en el rango de entre 5 y 10 %), tiene un ángulo de fricción en el rango entre 35 y 50° (cohesión 0), la cual depende del grado de humedad y niveles de estrés (William y Walker, 1985) citados por (Williams, 1996).

En cuanto a la sub-clasificación de «roca blanda», el mencionado autor explica que es aquella producida en primera instancia de las operaciones de remoción o destape del carbón por tiras o «*stripping mining*». Debido a la génesis de estos materiales, pueden existir niveles significativos de sulfuros en los materiales de desecho.



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

ESTÉRILES DE ESCOMBRERA:

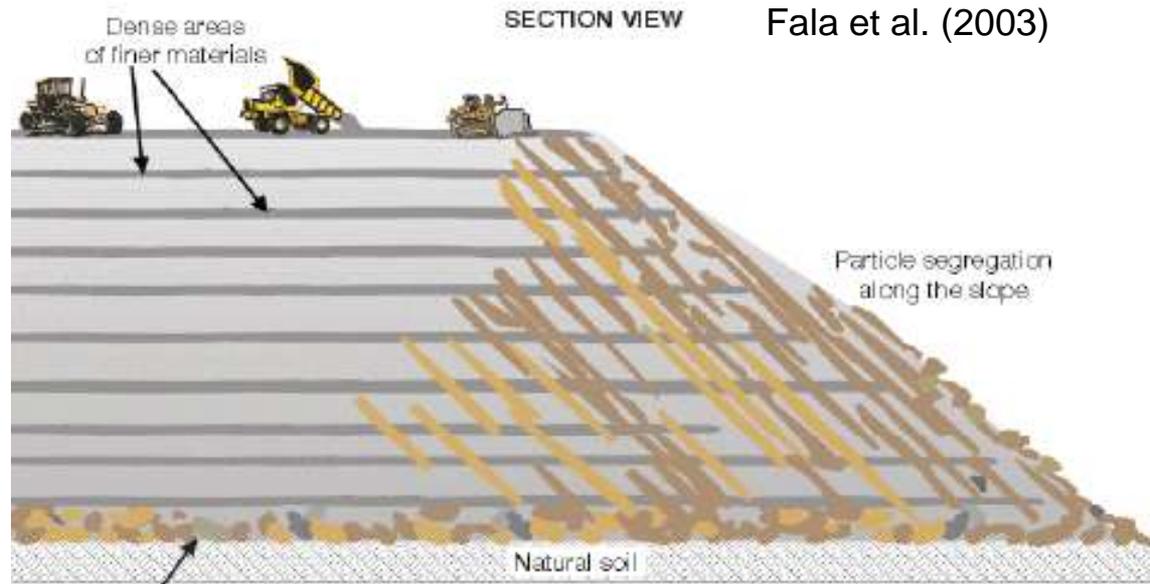
El Gobierno de la Rioja (2008) expresa:

Los residuos mineros **cuantitativamente más importantes** son los inertes, que se almacenan en escombreras o en forma de lodos, en balsas o presas. Habitualmente se emplean directamente para el relleno de los huecos producidos en la extracción del mineral.

Residuos mineros son aquellos residuos sólidos o aquellos lodos que quedan tras la investigación y aprovechamiento de un recurso geológico, tales como son los estériles de mina, gangas del todo uno, rechazos y las colas de proceso e incluso la tierra vegetal y cobertera en determinadas condiciones, siempre que constituyan residuos tal y como se definen en la Ley 10/1998, de Residuos.

Residuos mineros peligrosos son aquellos que así están definidos en la legislación vigente de residuos. En su codificación se añade un asterisco (*).

Residuo minero inerte es aquel que no experimenta ninguna transformación física, química o biológica significativa.



Escombreras

CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

Los factores básicos que se deben considerar en el diseño de un esquema de eliminación de rocas de mina y desmante 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



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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 motoniveladoras) también pueden variar dependiendo del tipo y ubicación de la escombrera.



www.infomine.com/edumine



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

Factores Mineros:

Los MÉTODOS PARA LA DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS ROCOSOS provenientes de las operaciones unitarias de producción tienen estrecha relación con el tamaño de grano y susceptibilidad a meteorización. Todas estas preocupaciones se fundamentan en el cuidado que debe procurarse con los estériles a los procesos de insolación y soterramiento artificial al que serán sometidos, puesto que pueden ocurrir productos como oxidación de sulfuros y subsecuente drenaje ácido de mina. Las operaciones unitarias de producción a las que nos referimos son: arranque (directo o indirecto), carga y acarreo.



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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





Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO: Restricciones Físicas (ASPECTOS OPERATIVOS):

Entre las consideraciones más importantes a tener en cuenta a la hora de la construcción de una escombrera, es conocer las características geológicas del material con que se está trabajando. (Ayala & Rodríguez, 1986) Menciona que los materiales estériles que forman las escombreras son de litologías distintas y granulometrías variables, relacionadas con el anterior. (Ávila, 2008) Justifica con la siguiente explicación, la heterogeneidad de los materiales que se depositan y componen las escombreras:

El material estéril proveniente de la actividad extractiva, generalmente posee una litología diversa, como consecuencia del mezclado que se efectúa durante las labores de arranque en los frentes de mina. La granulometría puede llegar a ser muy heterogénea, sobre todo en aquellas minas en donde se ejecutan actividades de perforación y voladura que pueden generar bloques de grandes dimensiones.



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

Restricciones Físicas: Hay que considerar la integridad del depósito como lo expresa el Gobierno de la Rioja (2008)

Asimismo, integridad estructural es la capacidad de la instalación para contener los residuos dentro de sus límites, de acuerdo con su diseño previsto.

Como colapso o fallo debido a pérdida de la integridad estructural puede entenderse alguno de los siguientes casos:

- Mal funcionamiento del sistema de decantación.
- Desbordamiento.
- Erosión interna.
- Asentamiento.
- Corrimiento.
- Licuefacción.
- Debilidad de la estructura.
- Fallo del subsuelo.
- Actividad sísmica.



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

Impacto Ambiental:

En la minería como hecho social, se requiere estudiar aquellos aspectos sociales y culturales ligados a la misma y cuyo impacto puede ser positivo o negativo. En función de ello, el ser humano como parte de la naturaleza y de las relaciones ambientales, debe conocer esta interacción y planificar de manera premeditada y responsable sus acciones.

La extracción de recursos minerales necesarios para el desarrollo de la civilización actual, ha traído como consecuencias un cambio en las mismísimas necesidades humanas; las cuales en la actividad minera se constituyen en el cambio de uso del territorio, las consecuencias de alteración del paisaje y la acumulación de material estéril proveniente de las propias actividades de la industria, Romero (2004)



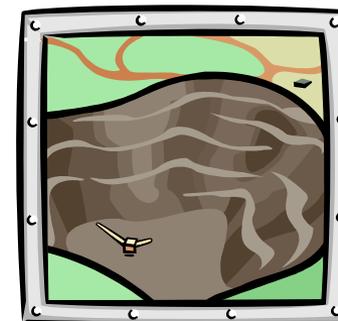
Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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.

www.infomine.com/edumine



Operaciones en Escombreras
Noviembre de 2015



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

Impacto Ambiental:

La preocupación constante debe ser a la luz del siglo XXI, la disposición inteligente y planificada de aquellos materiales que no pueden volver a utilizarse o que no pueden encontrar utilidad en la sociedad actual. Las escombreras de estériles en minas y las acumulaciones provenientes de movimientos de tierra y construcciones civiles son parte de esta problemática ambiental.

Romero (2004) expresa: *En suma, que la intervención humana sobre la corteza terrestre orientada a la obtención de rocas y minerales supera en importancia a la de cualquier agente geológico. Los movimientos anuales de tierras ligados a las actividades extractivas se acerca ya a los setenta mil millones de toneladas, multiplicando por cuatro o cinco las toneladas de sedimento que se estiman arrastran anualmente todos los ríos del mundo (unos 16.500 millones de toneladas) (...).*



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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. Se debe analizar la estabilidad de la escombrera, así como el potencial para la erosión superficial de las pendientes restauradas.

www.infomine.com/edumine



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

Estabilidad a Corto y Largo Plazo:

La ubicación de las escombreras ha de estudiarse cuidadosamente, atendiendo a:

- Su forma y su tamaño previsto, considerando la mínima afección en superficie.
- La prevención de los efectos sobre el medio ambiente.
- Las características geológicas del emplazamiento.
- La capacidad de drenaje.
- La minimización de los costes de transporte y de vertido.
- La integración paisajística y, si fuera una escombrera definitiva, su posterior restauración.

Los cálculos constructivos de cualquier escombrera tienen que realizarse concienzudamente, para asegurar su estabilidad en todo momento, desde la fase inicial, hasta su abandono, pasando por la fase de operación.

Gobierno de la Rioja (2008)



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

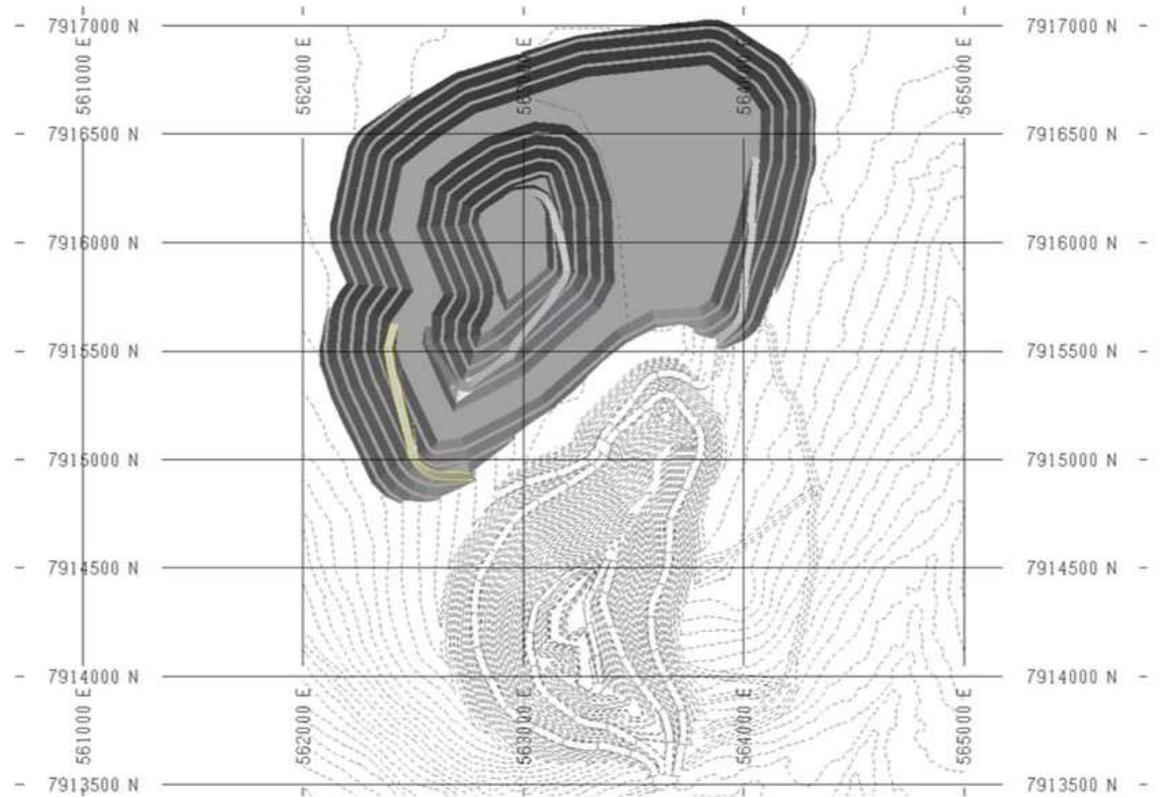
CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO:

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



Escombreras

CLASIFICACIÓN



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

TIPOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE LAS ESCOMBRERAS

Los depósitos de estériles se pueden describir atendiendo, normalmente, a los siguientes criterios:

1. *Por sus dimensiones*
2. *Por su emplazamiento*
3. *Por el tipo o sistema de vertido*
4. *Por el método constructivo*
5. *Por su grado de riesgo potencial, estabilidad y coeficiente de seguridad*

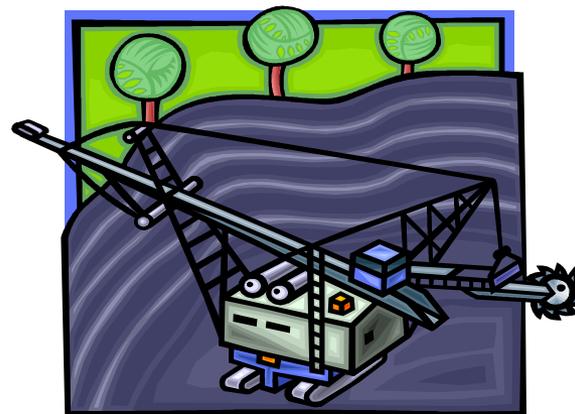




Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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).



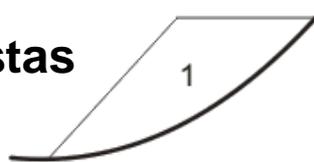
www.infomine.com/edumine



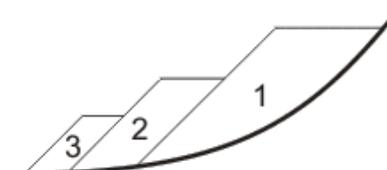
TIPOS DE ESCOMBRERAS:

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:

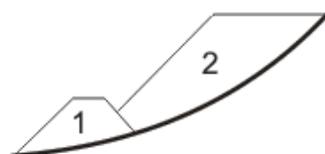
- Vertido libre
- Vertido por fases adosadas
- Dique de retención en pie
- Fases ascendentes superpuestas



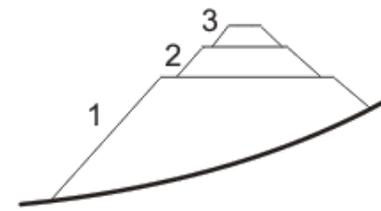
Vertido libre



Vertido por fases adosadas



Dique de retención de pie



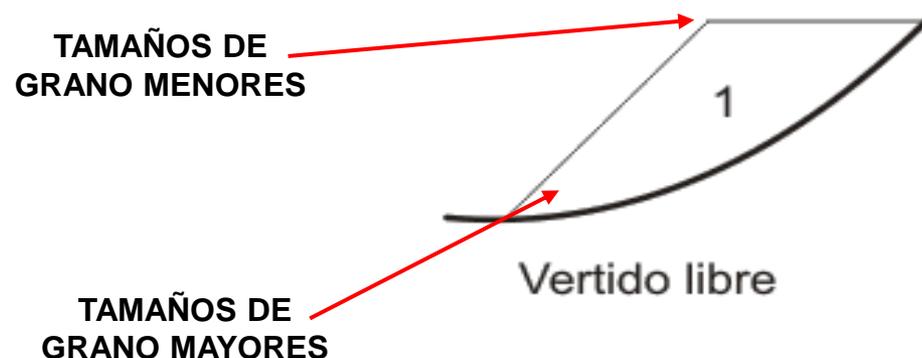
Fases ascendentes superpuestas



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>

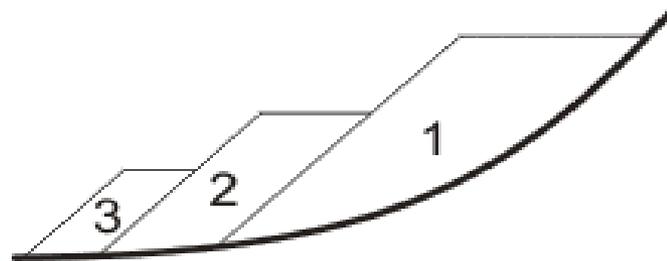


Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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

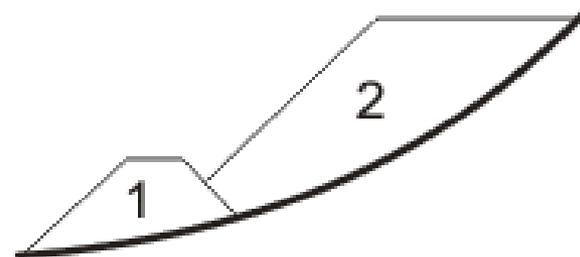


Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

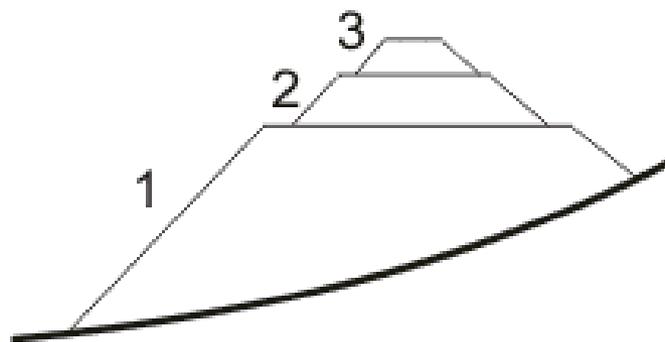
TIPOS DE ESCOMBRERAS:

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 o de desarrollo de la escombrera.

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



Fases ascendentes superpuestas

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

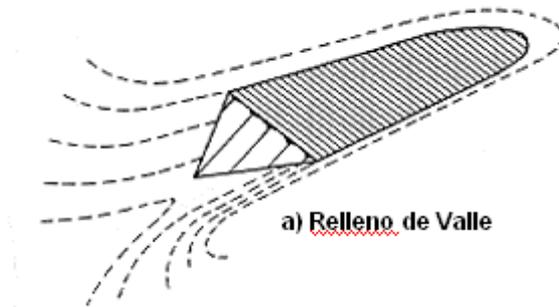


Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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.



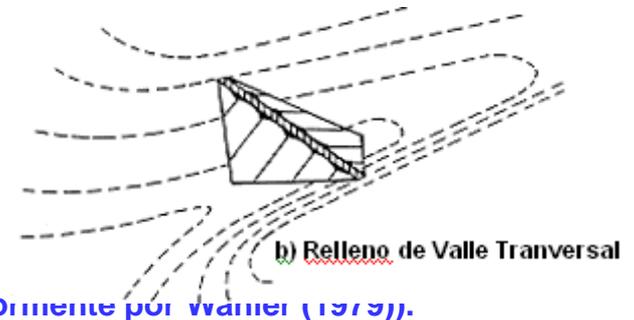
Tipos de escombreras de Mina Básicos (modificado posteriormente por Wahler (1979)).



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 Warner (1979)).

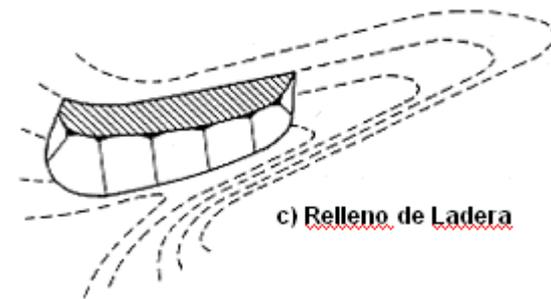


Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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.



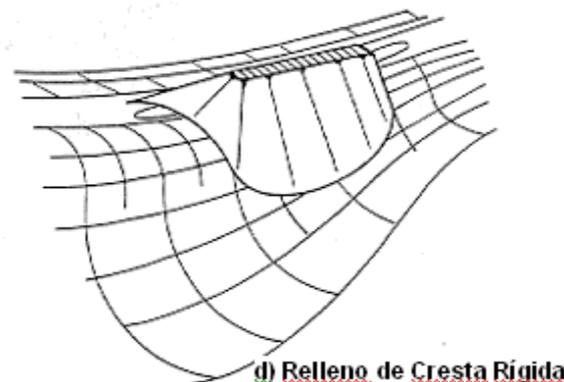
Tipos de escombreras de Mina Básicos (modificado posteriormente por Wahler (1979)).



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.



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

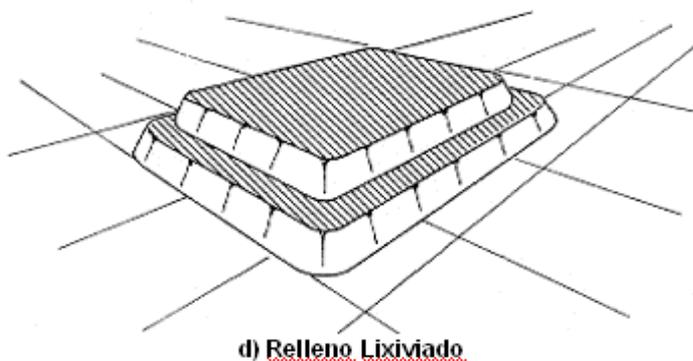


Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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.



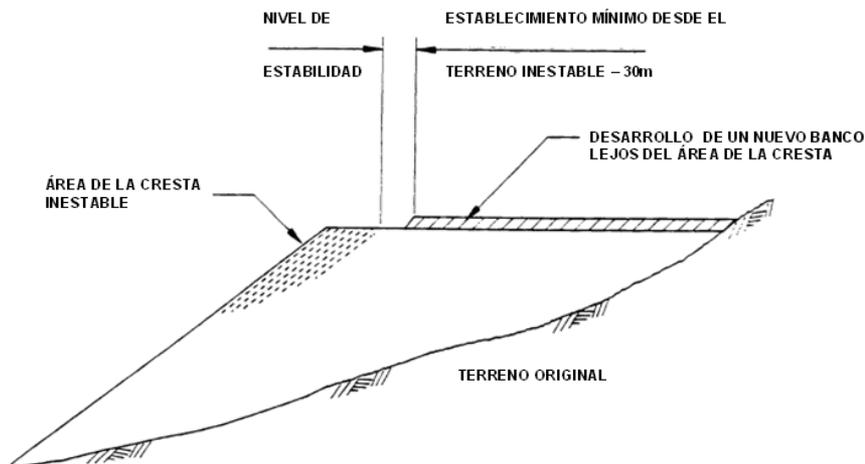
Tipos de escombreras de Mina Básicos (modificado posteriormente por Wahler (1979)).



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)).



Escombreras

CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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.**



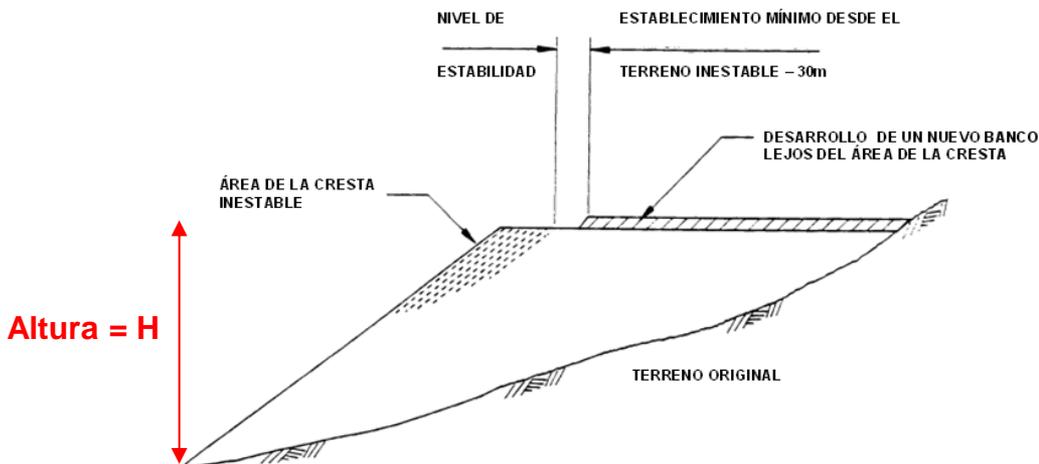
www.infomine.com/edumine



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:

Volumen:

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 .

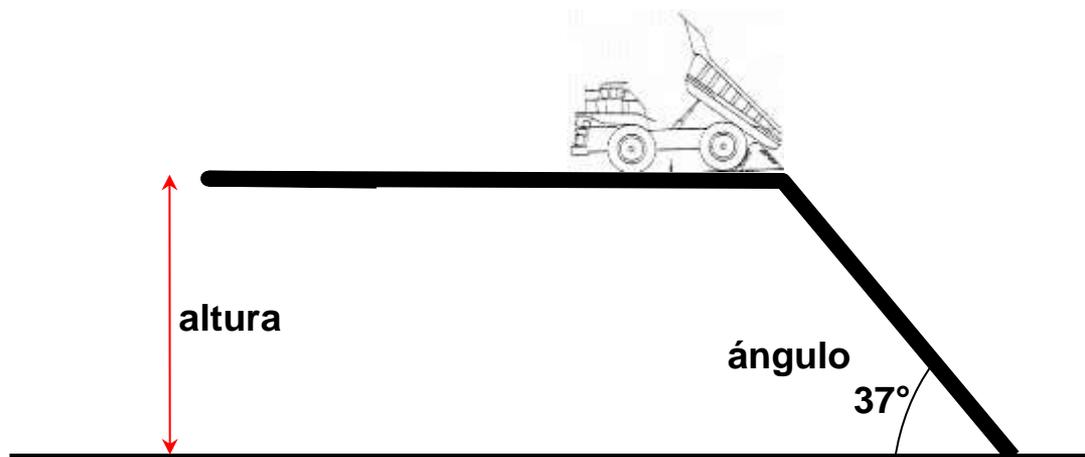
TAMAÑO	PEQUEÑO	MEDIANO	GRANDE
MILLONES MCB	< 1	1 - 50	> 50



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.





Escombreras

ESTABILIDAD Y SU IMPORTANCIA



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

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.



www.infomine.com/edumine



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

SEGURIDAD:

Las situaciones que tienden a generar fallas sorpresivas 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



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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



FACTORES INFLUYENTES EN LA ESTABILIDAD:

Existen muchos factores que se consideran importantes en la estabilidad de los taludes, siendo estos los más relevantes:

- Los factores geométricos (altura e inclinación del talud).
- Los factores geológicos (planos de foliación y diaclasas).
- Los factores hidrogeológicos (presencia de agua).
- Los factores geotécnicos (resistencia y deformabilidad).

González (2002)



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

Análisis de estabilidad

Los análisis de estabilidad permiten diseñar los taludes, mediante el cálculo de su factor de seguridad, y definir el tipo de medidas correctoras en caso de roturas reales o potenciales. Además, hace énfasis en que es necesario el conocimiento geológico y geomecánico de los materiales que forman el talud, de los posibles modelos o mecanismos de rotura que pueden tener lugar y de los factores que influyen, condicionan y desencadenan las inestabilidades.



González, L. (2002)



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

Métodos para el análisis de estabilidad

Los métodos de equilibrio límite son unos métodos ampliamente utilizados debido al alto grado de conocimiento que se posee de los mismos, lo que da lugar a conocer sus límites y su grado de confianza.

Los métodos de equilibrio límite utilizan un factor de seguridad para cuantificar la seguridad de un talud cualquiera, que se supone constante en toda la superficie de deslizamiento y que se define como el cociente entre la resistencia al corte en la superficie de deslizamiento y la necesaria para mantener el equilibrio estricto de la masa deslizante. Entre ellos:

- Método de Fellenius
- Método de Bishop simplificado
- Método de Janbu
- Método de Bishop completo
- Método de Morgenstern-Price





Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

PROPIEDADES DE LOS ESTÉRILES

PROPIEDAD DEL MATERIAL	APLICACIÓN	ENSAYO EN CAMPO	ENSAYO EN LABORATORIO
DESCRIPCIÓN: S Litología S Composición S Microestructura S Forma de las partículas	S Clasificación S Durabilidad S Correlación entre resistencia intacta y al corte	S Descripción en campo S Clasificación preliminar S Sondeos con recuperación de testigos	S Análisis microscópico S Clasificación detallada
GRANULOMETRÍA	S Correlación entre resistencia y conductividad hidráulica S Evaluación del potencial de separación	S Estimación visual S Examen en campo S Ensayo de separación en campo	S Cribado S Medida de la humedad (hidrómetro)
PLASTICIDAD DE LOS FINOS	S Clasificación S Correlación con la resistencia al corte S Índice del contenido de arcilla	S Resistencia seca, dilatación y dureza	S Limite de Atterberg en finos
RESISTENCIA INTACTA	S Durabilidad S Correlación con la resistencia al corte	S Ensayo de carga puntual S Dureza en campo	S Ensayo triaxial S Ensayo de compresión simple
RESISTENCIA AL CORTE	S Criterio de rotura S Estabilidad de escombreras	S Ensayo de corte en campo S Ángulo de reposo	S Ensayos de corte directo o triaxial
MINERALOGÍA Y PETROGRAFÍA	S Índice de hinchamiento S Durabilidad S Microestructura S Clasificación	S Ensayo de acidez para carbonatos	S Difracción de R-X S Limite de Atterberg en finos
DURABILIDAD	S Reducción de la conductividad hidráulica S Duración en firmes y base de cimentación S Reducción de la resistencia al corte	S Meteorización de la superficie	S Durabilidad al desmenuzarse S Ensayos de abrasión



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

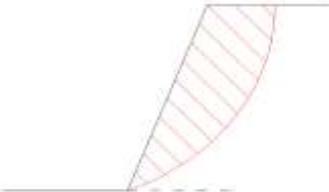
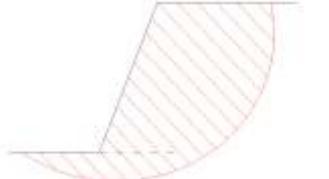
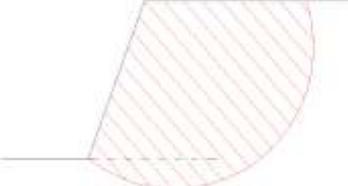
PROPIEDADES DE LOS ESTÉRILES

PROPIEDAD DEL MATERIAL	APLICACIÓN	ENSAYO EN CAMPO	ENSAYO EN LABORATORIO
CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	S Estimación de la infiltración S Predicción de las condiciones piezométricas S Cálculo del drenaje	S Correlación basada en la granulometría	S Compactación y permeabilidad
CONSOLIDACIÓN Y ASENTAMIENTO	S Resistencia al corte S Consolidación y asentamiento	S Peso unitario a partir del esponjamiento	
GEOQUÍMICA	S Impacto medioambiental S Riesgo por lixiviación de metales pesados. Adsorción S Drenajes ácidos. Neutralización	S Determinación de surgencias de agua S Medida del pH en flujos de agua, conductividad, etc.	S Lixiviación en columna S Celdas de humedad S Medida de la acidez S Ensayos para determinar contaminantes

Fuente: Mined Rock and Overburden Piles (1991).



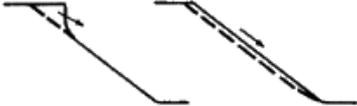
TIPOS DE FALLAS: Círculos Suecos

Modo de Falla	Descripción	Ilustración	Factores Claves que Contribuyen a la Inestabilidad
Círculo superficial de pie	La superficie de deslizamiento pasa por el pie del talud, siendo este el punto más bajo de la misma.		- Suelos con alto ángulo de rozamiento interno o taludes muy inclinados.
Círculo profundo	La superficie de rotura pasa por debajo del pie del talud.		- Suelos con bajo ángulo de fricción o ángulo de talud bastante acostado.
Círculo profundo de pie	La superficie de deslizamiento interseca con el pie del talud, sin embargo, este no es el punto más bajo.		- Viene planteada como una situación intermedia entre los dos casos anteriores.

Bañón, 2000



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>www.infomine.com/edumine</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



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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)	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.		<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



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

TIPOS DE FALLAS:

FALLA PLANAR:

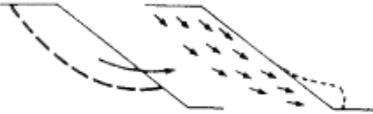
- La falla plana del embanque comprende el deslizamiento a lo largo de un único plano de debilidad,
- Los planos de debilidad pueden constituirse durante la construcción si los materiales finos o de mala calidad de la escombrera, tales como el desmonte, son vaciados en la cresta del mismo y forman zonas 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.



www.infomine.com/edumine



TIPOS DE FALLAS:

Modo de Falla	Descripción	Ilustración	Factores Claves que Contribuyen a la Inestabilidad
FALLA ROTACIONAL (Arco circular, deslizamiento)	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		<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)



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

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



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

TIPOS DE FALLAS:

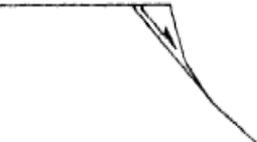
FALLA DE FLUJO:

- 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



TIPOS DE FALLAS, CAUSAS Y SIGNOS PREVENTIVOS:

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



TIPOS DE FALLAS, CAUSAS Y SIGNOS PREVENTIVOS:

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



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		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	Puede comprender una importante cantidad de material con una gran distancia de deslizamiento	Derrumbe de la cresta del botadero, abultamiento de la base o pared, rupturas de la plataforma detrás de la cresta



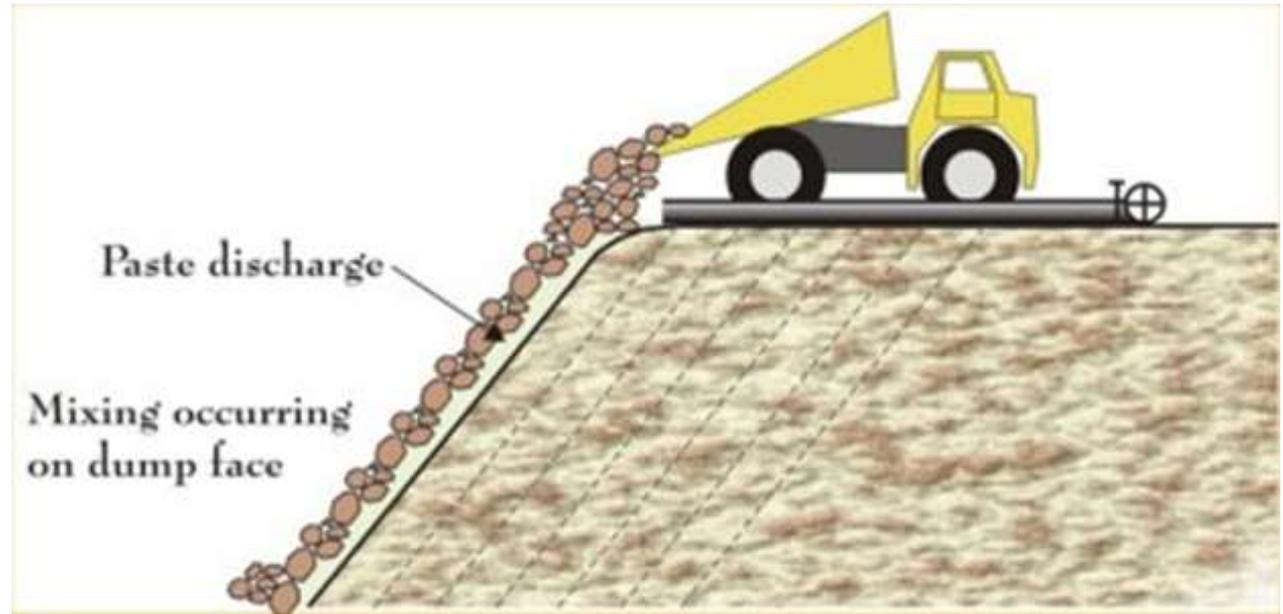
Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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



Escombreras

MEDIDAS DE SEGURIDAD



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



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

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



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

SEGURIDAD:

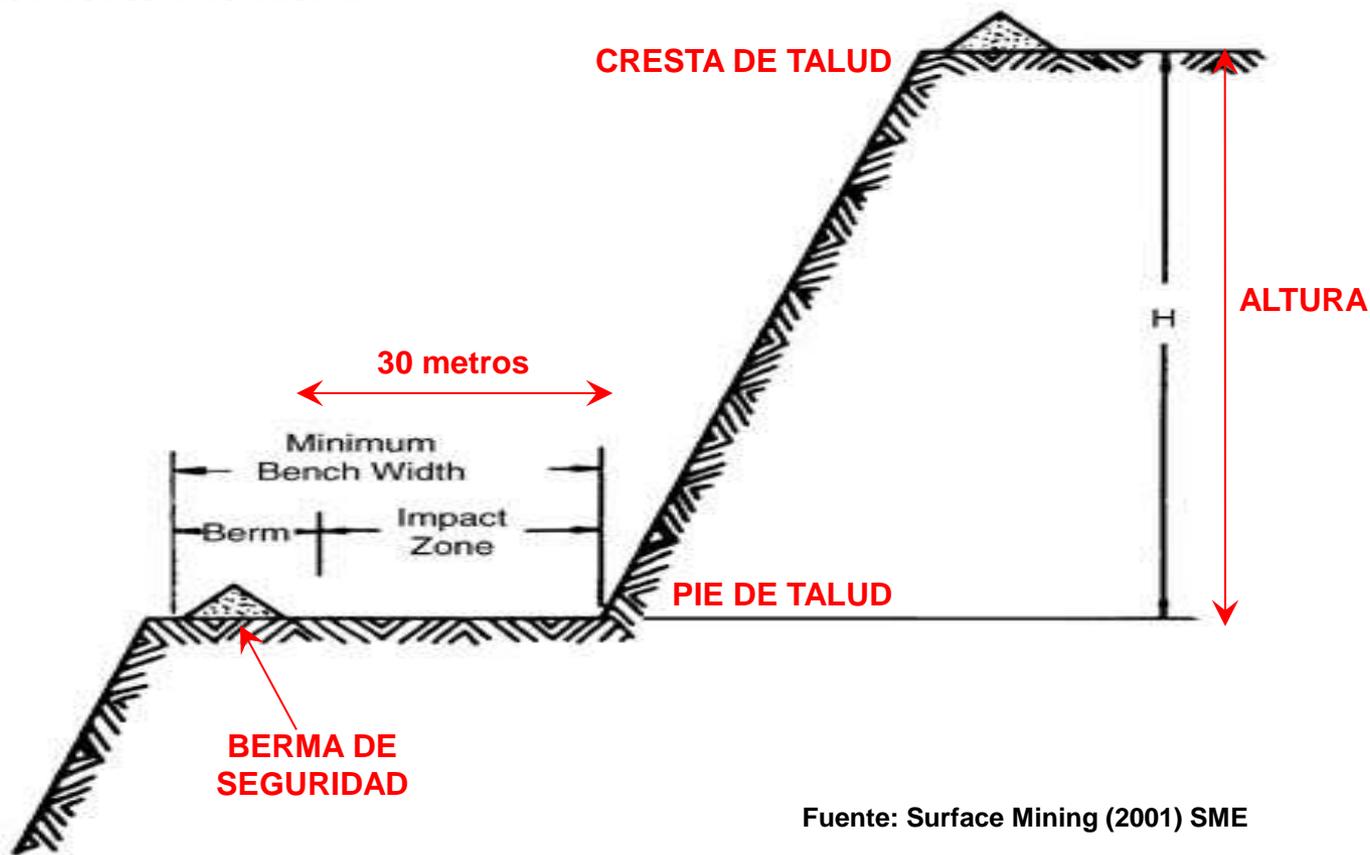
Vías de Acceso

- 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



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

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



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

CALIDAD DE LOS MATERIALES:

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



www.infomine.com/edumine



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

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

Mulvey et al. (s/f)

www.environmentalearthsciences.com

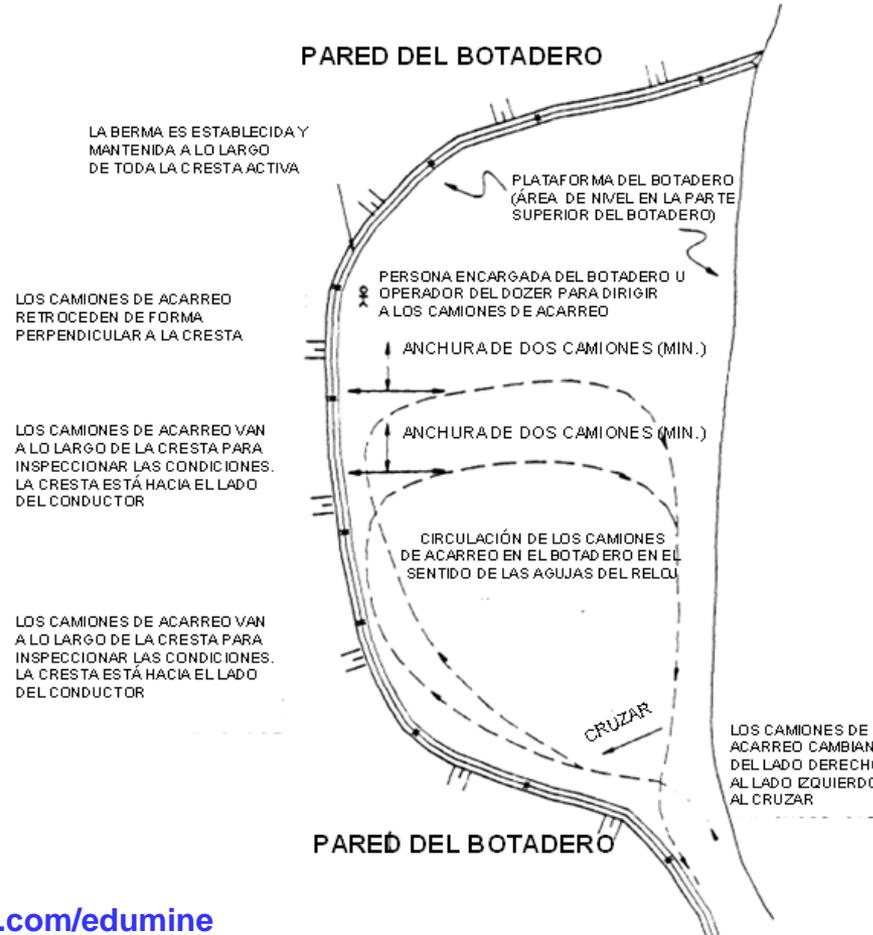


Escombreras

ASPECTOS OPERATIVOS



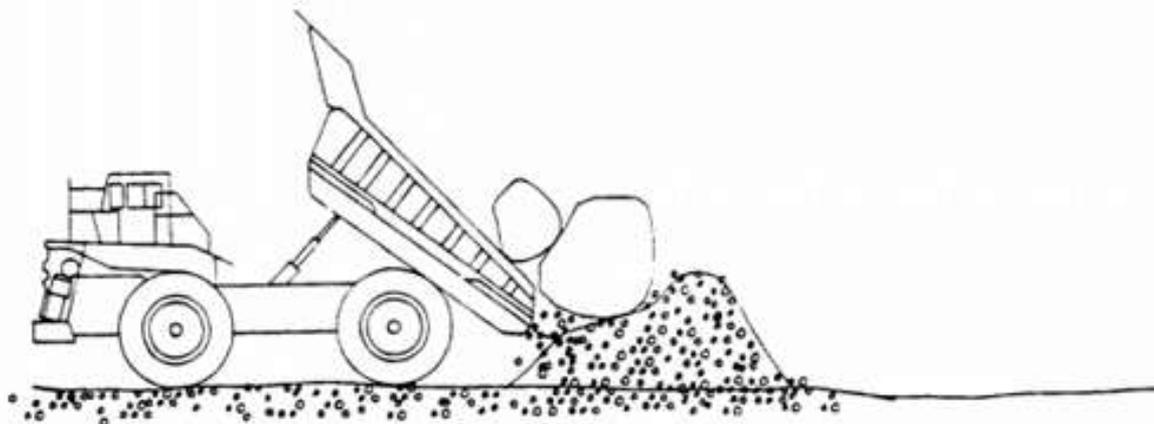
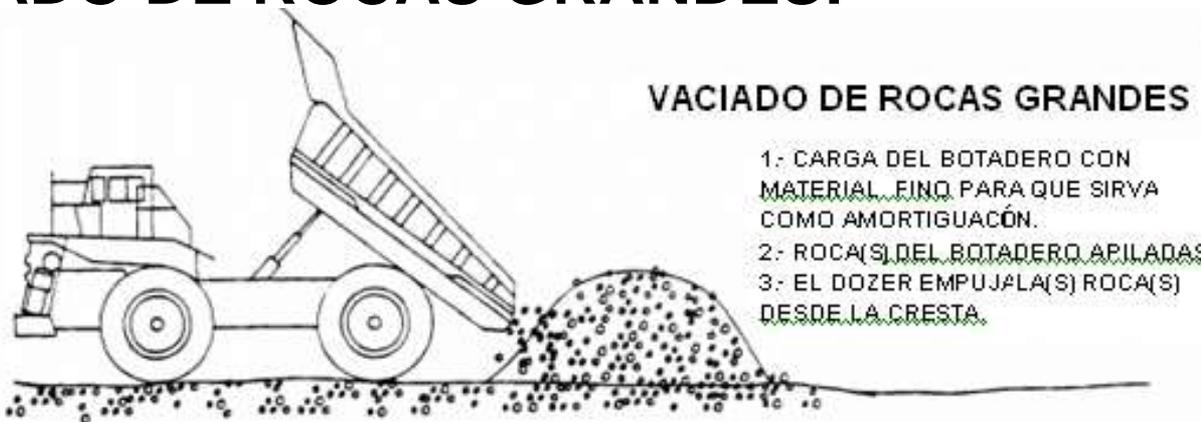
PROCEDIMIENTOS DE VACIADO:



www.infomine.com/edumine



VACIADO DE ROCAS GRANDES:

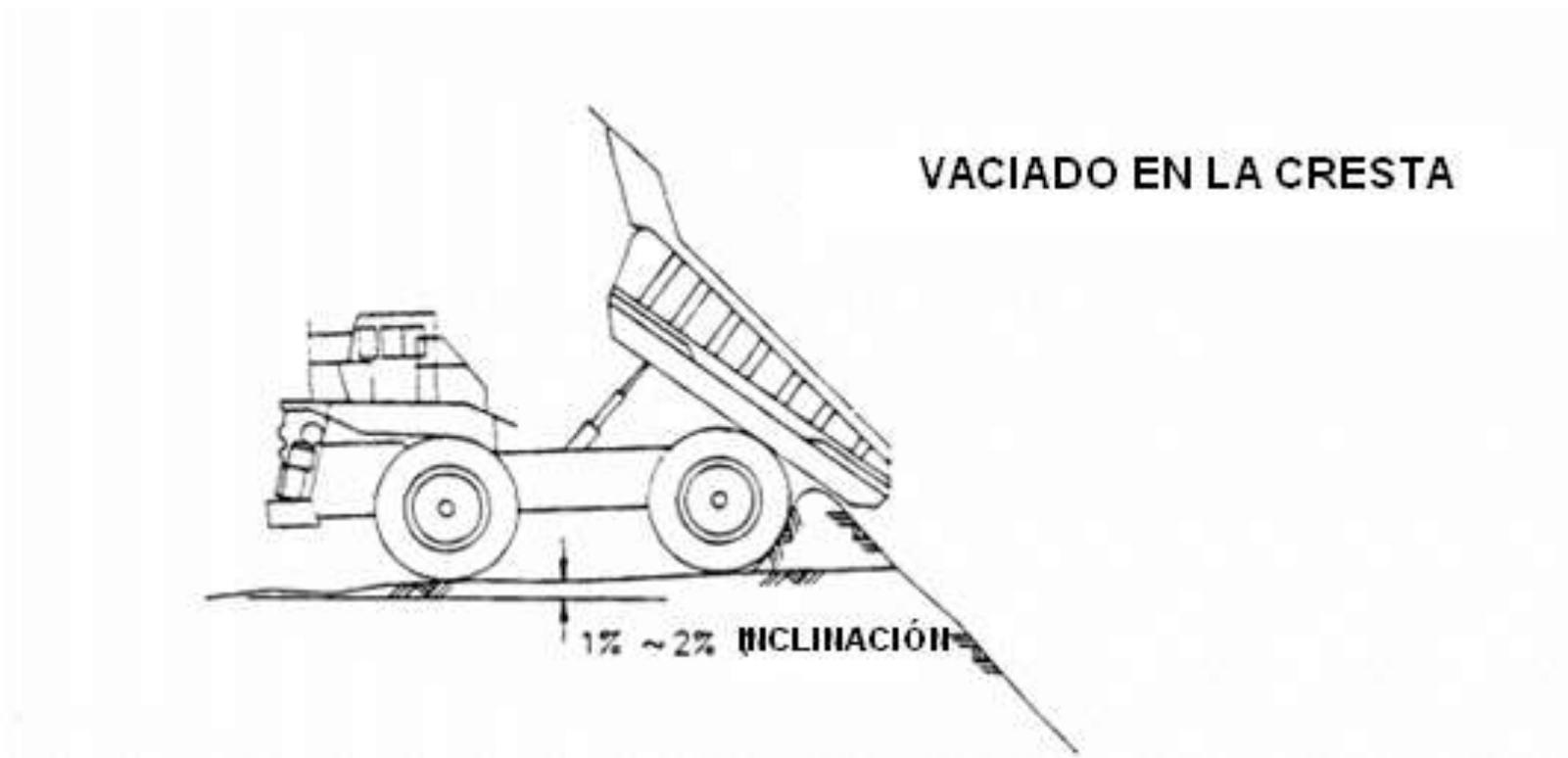


www.infomine.com/edumine



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

VACIADO EN LA CRESTA:



www.infomine.com/edumine



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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

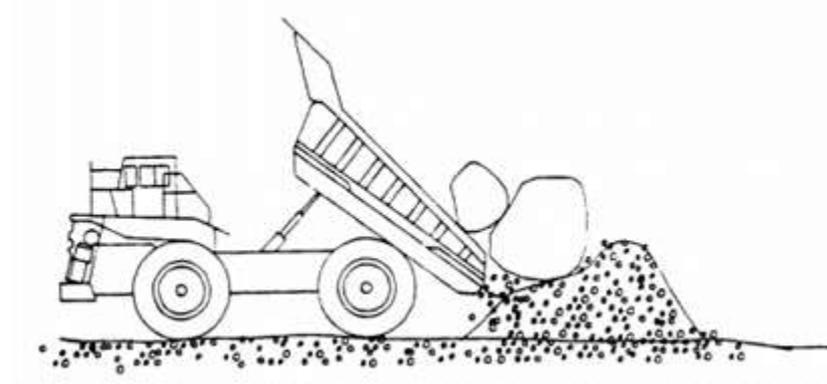


Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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.



www.infomine.com/edumine



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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.

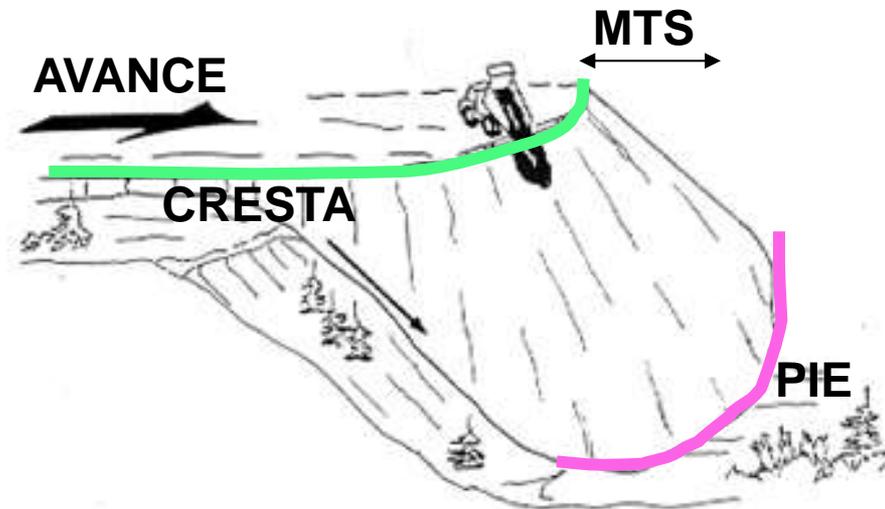


www.infomine.com/edumine



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 ($m^3/m/día$) o en metros por día ($m/día$) 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.



Mulvey et al. (s/f)
www.environmentalearthsciences.com



Escombreras

MONITOREO Y SEGURIDAD OPERATIVA



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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)).



www.infomine.com/edumine



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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 1 590 porque las presiones piezométricas de la cimentación están incrementándose”, este puede no mostrar el mismo respeto, aún cuando una falla mucho más grande pueda ser inminente.

www.infomine.com/edumine



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

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.

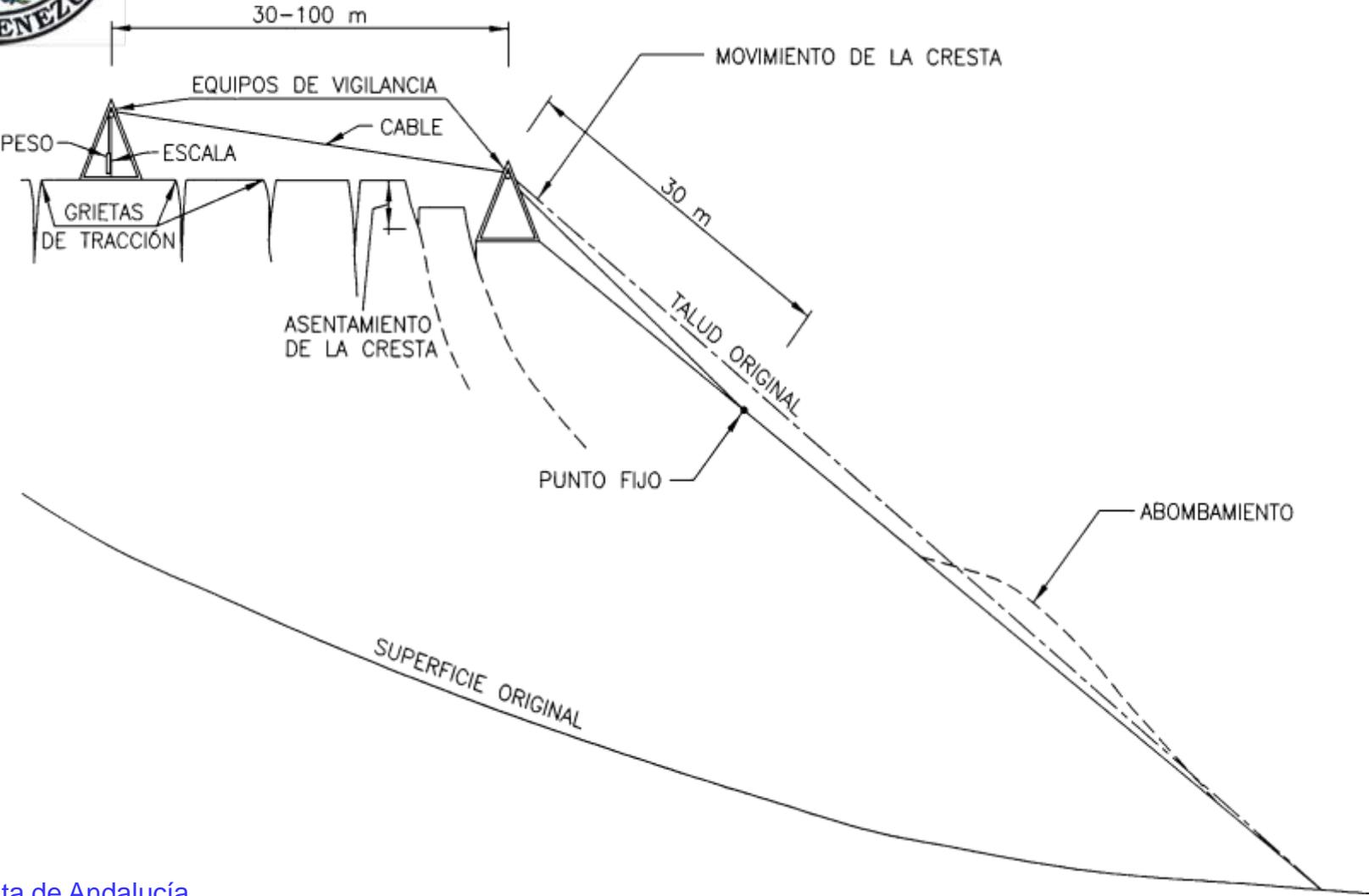
Estas observaciones son importantes para implementar prácticas de descarga apropiadas.



www.infomine.com/edumine



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"





Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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.



www.infomine.com/edumine



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

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

www.infomine.com/edumine



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

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:

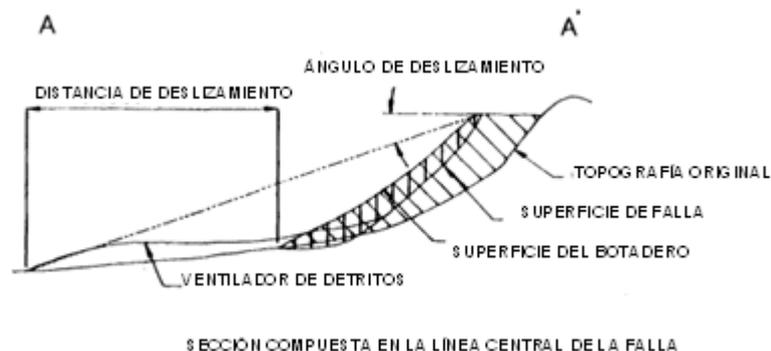
La protuberancia en la base es un indicativo de un asentamiento a gran escala. Las fallas en los botaderos de mina están usualmente precedidas por protuberancias en la base, pero no todas las protuberancias de la base preceden una falla. Si se observa el abultamiento de la base debe examinarse cuidadosamente 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.





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.





Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

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



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

Bibliografía recomendada:

- Curso "Diseño y Operación de Grandes Botaderos", Edumine-Infomine (2007). www.infomine.com
- "Guía para el Diseño y Construcción de Escombreras", Junta de Andalucía (s/f).
- "Manual de carreteras" Volumen II. Universidad de Alicante. Bañon, L. (2002).
- Libro "Ingeniería Geológica", González De Vallejo, L. (2002).
- 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





Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

Exposición de casos y discusión



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

II Curso internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Manejo de Residuos Sólidos en Minería

Los estériles son de los más variados tipos:

La capa superficial del suelo es considerada un estéril en minería (aunque sea el soporte de la vegetación), así como las rocas encajantes.

Situaciones como ésta son comunes en muchas minas, en donde el límite entre estéril y mineral es dado o por el tenor del mineral útil o por el contenido de impurezas. Este límite es llamado tenor de corte y define lo que es económicamente explotable, el mineral.

Un índice importante para la administración de los estériles es la relación estéril/mineral, que es el cociente entre la cantidad total de estériles y la cantidad de mineral extraída. Esta relación es en extremo variable de mineral a mineral y de mina a mina.



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

II Curso internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Manejo de Residuos Sólidos en Minería

Disposición de estériles:

Los estériles se disponen generalmente en pilas y ocasionalmente se colocan nuevamente en la mina (Backfilling).

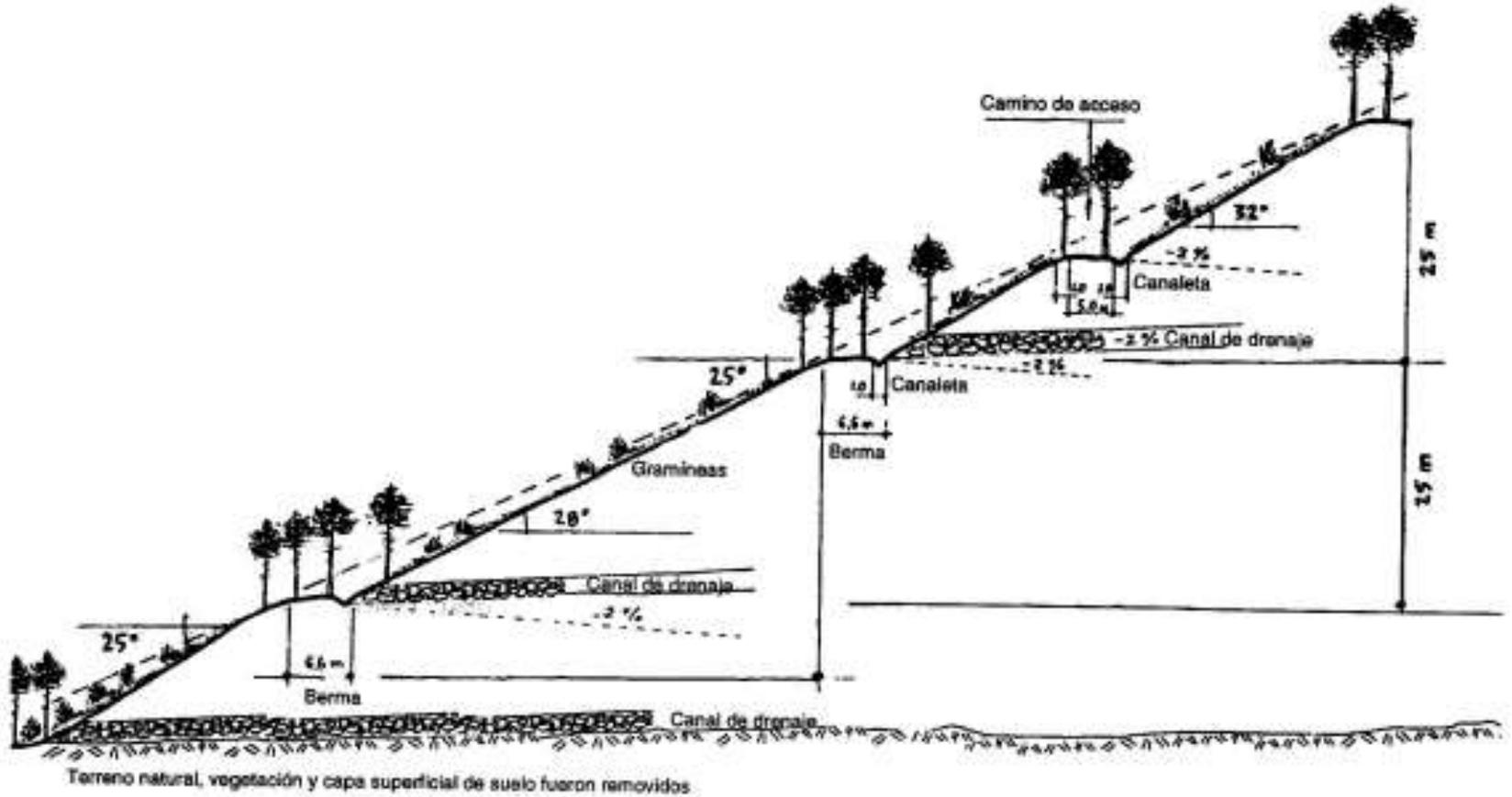
El retorno del material al lugar de donde fue extraído es evidentemente el mejor método de manejo de residuos, pues minimiza diversas consecuencias ambientales como la erosión acelerada y el impacto visual, y facilita la recuperación del área.

En la mayoría de las configuraciones de mina, sin embargo, este método no es factible y los estériles tienen que ser dispuestos fuera de la cava.

Tradicionalmente los estériles se disponen en escombreras que, como el propio nombre indica, son lugares donde se tira algo.



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"



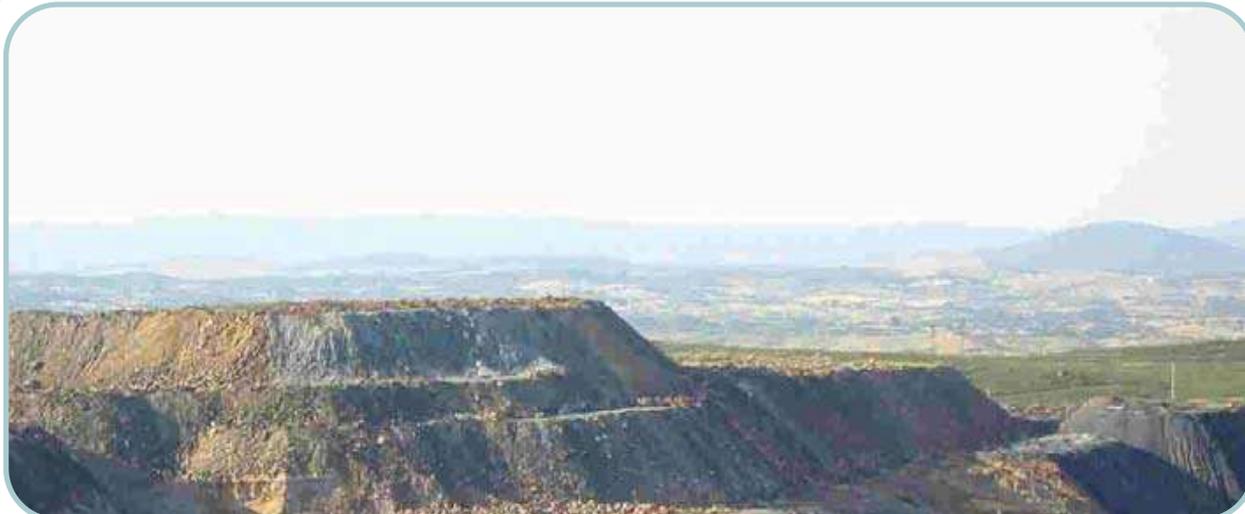


Método de explotación: descubierta.

- Consiste en una excavación de marcado carácter lineal, a modo de trinchera.
- Cuando este método de explotación es aplicable, la facilidad de operación y la proximidad de la zona de depósito de los estériles representan una gran ventaja.



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"



Residuos de la extracción: Aquí podemos incluir el suelo vegetal, los terrenos de recubrimiento, la roca estéril y el mineral de baja ley.

- Los residuos que caracterizan las actividades mineras son las escombreras y las balsas de lodos.

**Residuos
mineros.pdf**



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

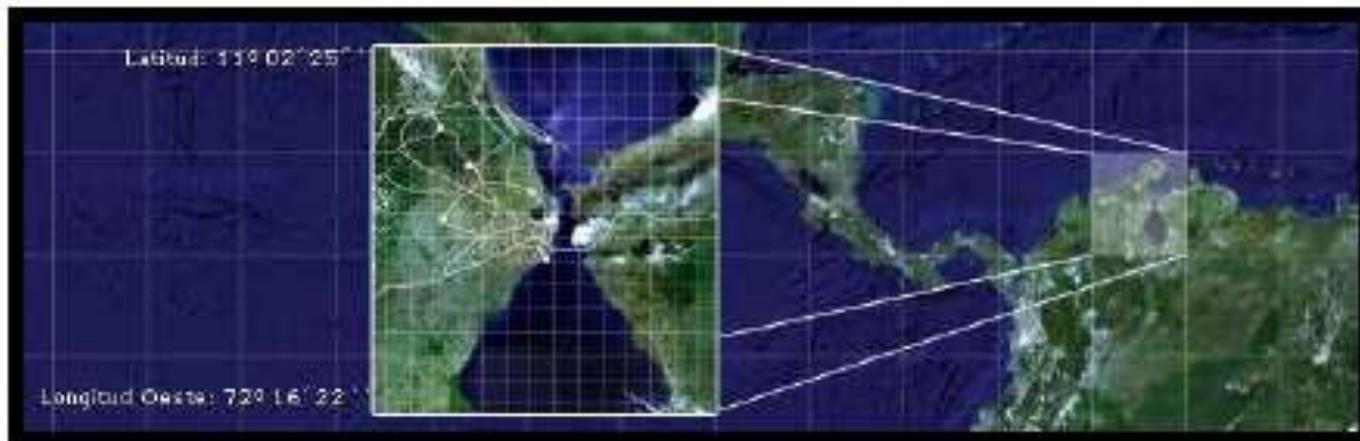
Casos de estudio venezolanos



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

Mina Paso Diablo

- Ávila, 2008



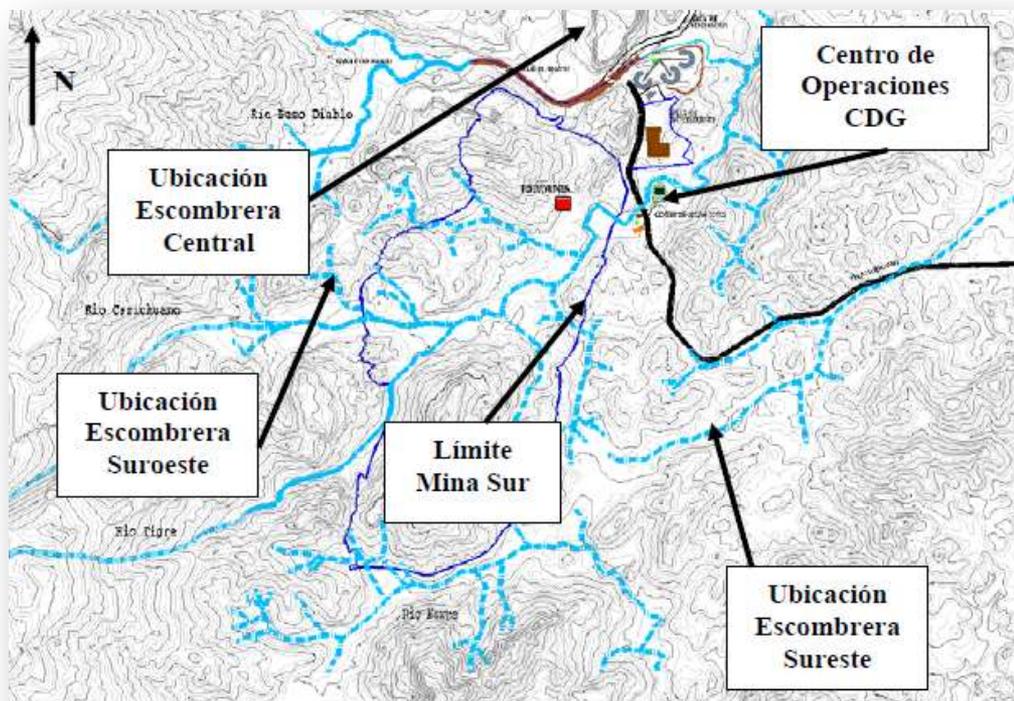


Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

Desarrollo de escombrera en Mina Paso Diablo

Autor: Ávila (2008)

El estudio se hace porque "se requiere establecer un sistema de tres escombreras externas donde se verterán los estériles provenientes del desarrollo de la Fosa Sur"



Áreas correspondientes a la mina Paso Diablo Sur (Ávila, 2008)



Curso: “Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015”

La litología consiste principalmente de areniscas, lutitas, calizas y abundantes mantos de carbón

Los parámetros de diseño del sistema de escombrera cumple con los requerimientos de factibilidad operativa y niveles de estabilidad

Antes de iniciar el vertido del material estéril en las áreas previstas, debe garantizarse la remoción completa de materia orgánica que puedan propiciar condiciones de deslizamiento en la base de las escombreras

Densidad banco (t/m^3)	Densidad suelto (t/m^3)	Factor de esponjamiento	Factor de compactación	Angulo de fricción	Cohesion (t/m^2)
2,40	1,66	1,45	1,30	36°	0,5

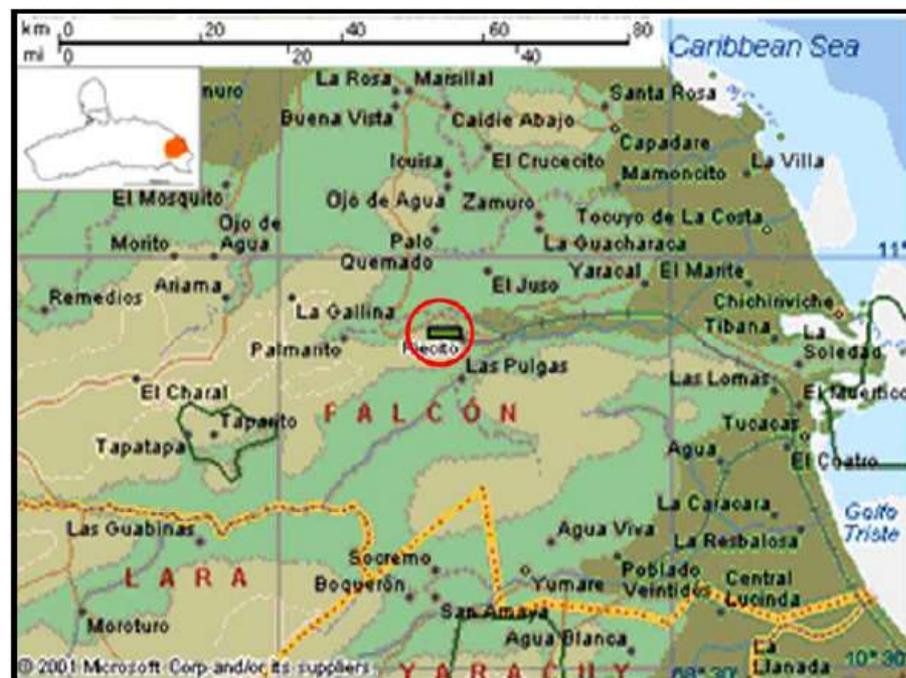
Fuente: Golder Associates (1997)



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

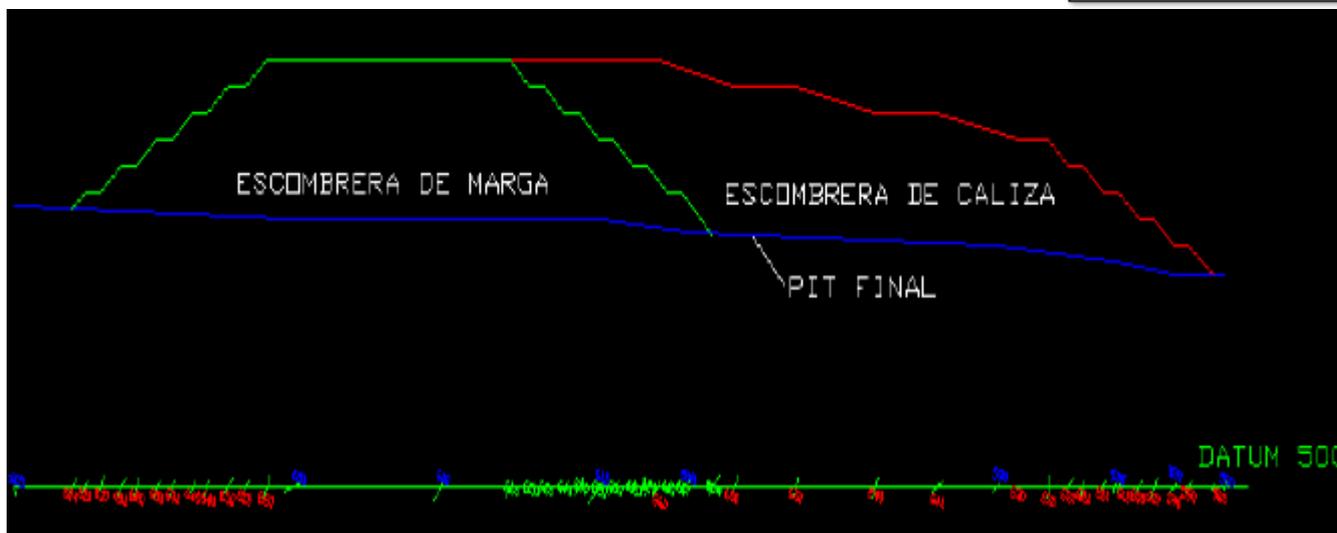
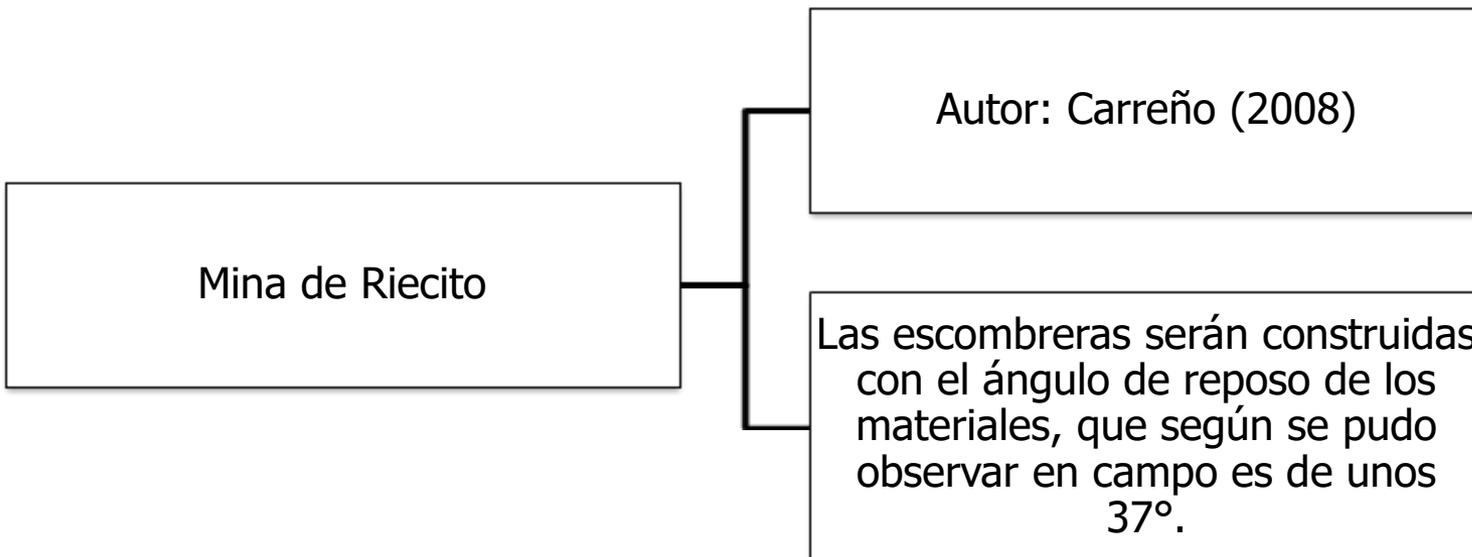
Roca fosfática, Riecito

- Carreño, 2008





Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"



Perfil longitudinal de las escombreras al final de la construcción (Carreño, 2008)



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

El tipo de secuencia a seguir para la construcción de la escombrera será el denominado como fases superpuestas y compactadas

El ángulo de fricción de los estériles es de 40° y la cohesión de $0,2 \text{ kg/cm}^2$.

Antes de iniciar el vertido del material estéril en las áreas previstas, debe garantizarse la remoción completa de materia orgánica que puedan propiciar condiciones de deslizamiento en la base de las escombreras



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

"Depósito 13" en el
"Cerro Bolívar"



Autora: López (2009)

En la escombrera "Depósito 13"
en el "Cerro Bolívar" se
depositan escombros de
materiales muy variados.

Estos escombros por sus
propiedades físico mecánicas
son considerados como suelo.

**Cárcavas
producidas por el
drenaje
inadecuado de las
aguas
superficiales
(López, 2009)**



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

La estabilización de deslizamientos activos o potencialmente inestables es un trabajo relativamente complejo, el cual requiere metodologías de diseño y construcción.

Según observaciones realizadas en el estudio se puede decir de que en FMO no existe una política de seguimiento y formación del personal en las labores relacionadas a las escombreras.

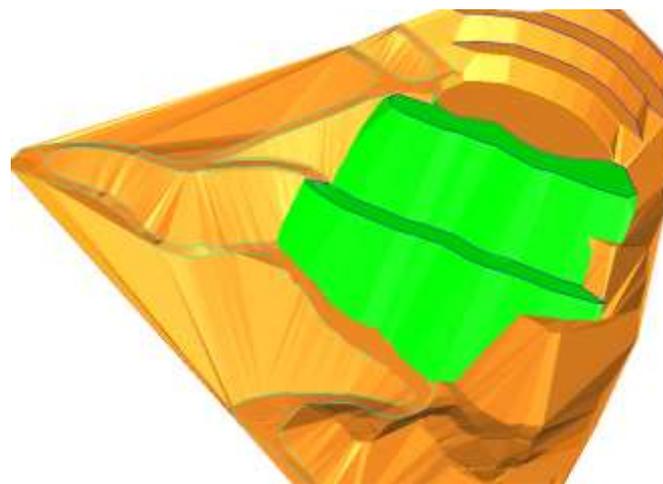
Los parámetros para los cuales el talud general de la escombrera se considera estable son: ángulo de talud de 55° , altura $H=15$ m, $F_s=1,5$.



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

Tacarigua, Puerto Cabello

- Alarcón, 2015





Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"



Vista actual área de botadero (Alarcón, 2015)



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

El diseño final propuesto para la escombrera consta de 2 bancos de 20 metros de altura cada uno, anchos de berma de 6 metros y ángulos de talud de 34° .

El material de residuo que integra la escombrera (según la Highway Research Board) posee una clasificación de A-1-a lo cual lo califica como excelente para el uso como subrasante.

Se ha establecido que el área de la escombrera sea destinada a actividades turísticas de largo plazo, en el que sea instalado un mirador y se practiquen deportes.



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

Otros casos relacionados



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

FMO, Piar

- Pinilla, K. (1999). *Alternativas para el manejo y disposición de minerales no conformes en el Cuadrilátero Ferrífero San Isidro, estado Bolívar C.V.G. Ferrominera Orinoco, C.A.* Caracas: Universidad Central de Venezuela. Departamento de Minas.
- Hace uso de parámetros de diseño de escombreras para el almacén y disposición de materiales no conformes.



Curso: "Criterios para el diseño y manejo de escombreras 2015"

MLN, Tiara

- *Ochoa, K. y Reyes, R. (2011) PROPUESTA DE LOS PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y DE LOS DEPÓSITOS FINALES EN MINERA LOMA DE NÍQUEL, C.A. MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA*
- Acorde al análisis de estabilidad para los depósitos finales de estéril (laterita ferruginosa y subproducto de refinación) y siguiendo los parámetros técnicos de desarrollo de escombreras, se establece que las existentes no deben sobrepasar los 15 metros de altura, con bancos de 5 metros de altura e inclinación de 30° y se sugiere sean construidas en fases ascendentes superpuestas.