

RAÚL ALBERTO ACTIS

ESCOMBRERAS

**UBICACIÓN, ESTABILIDAD Y
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**



Ing. Raúl Alberto ACTIS

ESCOMBRERAS
Ubicación, estabilidad
y contaminación ambiental

Editado por la
Fundación EMPREMIN
www.empremin.org.ar

Actis, Alberto
Escombreras : ubicación, estabilidad y contaminación ambiental.
1a ed. - Buenos Aires : Fundación Empremin, 2009.
60 p. : il. ; 26x18 cm.
ISBN 978-987-23291-1-2
I. Minería. I. Título CDD 622

Editado en el marco del convenio entre la Dirección Nacional de Minería y la Fundación Empremin

©2009 - Derechos reservados por
Fundación EMPREMIN

ISBN N° 978-987-23291-1-2

Está prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier método: fotografía, fotocopia, mecánico, reprográfico, óptico, magnético o electrónico, sin la autorización expresa y por escrito de los propietarios del copyright.

Diseño de tapa y diagramación: Marisel Bartoli
Revision de la edición: Roberto C. Miró

Impresión:
LDM Editorial
Obispo Trejo 29 - Loc. 4 - Córdoba - Argentina
Tel/Fax (0351) 425-1603
ldmgrafica@yahoo.com.ar

IMPRESO EN ARGENTINA - PRINTED IN ARGENTINA

PRÓLOGO

Las escombreras o botaderos son lugares donde se depositan materiales de desecho provenientes de las industrias mineras, manufactureras, de la construcción o de actividades diversas. Si bien todas estas industrias generan importantes beneficios a la sociedad también generan importantes inconvenientes, siendo uno de los más nocivos la contaminación del medio ambiente. La ubicación en lugares apropiados y la técnica para que estos depósitos sean estables y que no contaminen el medio ambiente deben ser estudiadas para reducir sus efectos perjudiciales. Muchos de los temas relativos a estos problemas han sido desarrollados en los capítulos que componen este libro.

La prevención de la contaminación debe destacarse como premisa principal cuando se realicen estudios sobre problemas de residuos o desechos. Otras premisas importantes son las que incluyen la reutilización de los residuos y la de optar por técnicas, métodos y maquinarias que tiendan hacia una producción mínima de residuos en las plantas nuevas y mediante cambios en los procesos de las plantas mineras ó industriales existentes.

La dimensión del problema de la disposición de escombreras ha sido motivo de estudio por parte de algunas instituciones mundiales dedicadas a la prevención de la contaminación que generan los productos de desechos de la industrias mineras y metalúrgicas, entre las que podemos mencionar al Internacional Council on Metals and the Environment, United Nations Environment Programme y la International Commission on Large Dams (ICOLD). Muchas de sus recomendaciones han sido incluidas en los diferentes capítulos del libro.

Finalmente deseo agradecer la colaboración del geólogo Eduardo Ojeda y del técnico Ricardo Toledo en la preparación del texto y a la compilación y diseño realizado por Roberto Miró.

El Autor
Julio de 2008

INDICE

1.	ESCOMBRERAS.	9
1.1	Generalidades.	9
1.2	Lugar de emplazamiento.	9
1.3	Tamaño y forma.	10
1.4	Investigación del subsuelo.	10
1.5	Materiales.	11
1.6	Los materiales de desecho	11
2.	EMPLAZAMIENTO.	13
2.1	Método de selección del area de emplazamiento. Ejemplo.	13
2.2	Proyecto de la escombrera.	14
3.	DISEÑO.	15
3.1	Clases de escombreras.	15
3.1.1	Vertido libre.	17
3.1.2	Vertido por fases adosadas.	17
3.1.3	Dique de retención en pie.	17
3.1.4	Fases ascendentes superpuestas.	17
3.2	Operaciones de transporte de escombros	18
4.	ESTABILIDAD DE TALUDES	21
4.1	Generalidades.	21
4.2	Cálculo de estabilidad de taludes de las escombreras.	21
4.2.1	Métodos de cálculo	21
4.3	Mantenimiento de la estabilidad de las escombreras.	22
4.4	Forma de analizar la compresibilidad, la capacidad portante y la estabilidad de los taludes de los rellenos	26
4.5	Formas de inestabilidad usual.	27
5.	RESTAURACION DE ESCOMBRERAS.	29
5.1	Métodos de Explotación	29
5.2	Vertido de materiales.	29
5.3	Restauración	30
6.	MITIGACION Y RESTAURACION DEL IMPACTO AMBIENTAL.	33
6.1	Impacto Ambiental.	33
6.2	Métodos de restauración.	33
6.3	Movimientos de tierra.	34
6.4	Revegetación de plataformas y taludes.	34
6.5	Plantaciones arboreo arbustivas.	34
6.6	Estudios generales para la programación de actividades	35
6.7	Vegetalización.	35
6.8	Vegetalización en los coronamientos de escombreras	36
6.9	Mezclas de semillas	37
6.10	Control del agua de rehabilitación.	37
6.11	Biodiversidad	37

7.	MEDIDAS DE SEGURIDAD	41
7.1	Accidentes comunes	41
7.2	Prevención de accidentes	41
8.	ABANDONO DE LAS ESCOMBRERAS	43
8.1	Generalidades	43
8.2	Medidas mas comunes	43
9.	CONTROL Y AUSCULTACION	45
9.1	Generalidades	45
9.2	Objetivos de la auscultación	45
9.3	Revisaciones periódicas	45
10.	ESCOMBRERAS MUNICIPALES	47
10.1	Generalidades	47
10.2	DECRETO 357 DE 1997 DEL ALCALDE MAYOR DE BOGOTA	47
10.2.1.	Capitulo I, Generalidades.	47
10.2.2.	Capitulo II, De las Escombreras y Estaciones de Transformación.	49
10.2.3.	Capitulo III. De las Sanciones y de las Medidas Preventivas.	49
10.2.4.	Capitulo IV Del Procedimiento	50
11.	RESIDUOS PETROLEROS	51
11.1	Legislación aplicada a la actividad	51
11.2	Fuentes de generación de aguas residuales	51
11.3	Beneficios de aplicación de tecnologías limpias	52
11.4	Aplicación de tecnologías limpias	53
11.4.1	Aguas de formación	53
11.4.2	Aguas de piscinas de separación.	53
11.4.3	Aguas negras y grises de los campamentos	53
12.	PUBLICACIONES CONSULTADAS	55

CAPÍTULO ESCOMBRERAS

1

1.1. Generalidades

Las actividades de las obras civiles ó mineras a cielo abierto ó subterráneas producen una gran cantidad de materiales de descarte que es necesario almacenar en lugares adecuados, planeando su ubicación en zonas económicas y en condiciones especiales en lo que se refiere a su estabilidad, seguridad é integración con el entorno y que no presenten problemas de contaminación.

Las rocas estériles procedentes de la cobertura de las operaciones de obras se depositan generalmente como fragmentos gruesos en montones que constituyen las denominadas **escombreras**.

1.2. Lugar de emplazamiento

La elección del emplazamiento de una escombrera se debe basar en criterios técnicos, económicos, ambientales y socio-económicos.

Entre los criterios específicos mas importantes se encuentran:

1. La distancia de transporte desde la explotación hasta la escombrera, que en definitiva afecta al costo total de la operación,
2. La capacidad de almacenamiento necesaria, que viene impuesta por el volumen de materiales estériles a remover;
3. Las alteraciones potenciales que pueden producirse sobre el medio natural y,
4. Las restricciones ecológicas existentes en el área de implementación.

Antiguamente, la elección de una alternativa de emplazamiento se basaba únicamente en los costos de operación pero las consideraciones ambientales han incrementado su importancia pasando a estar en algunos casos por encima de los económicos.

1.3. Tamaño y forma

Está determinado por el volumen de estéril que es preciso mover para la extracción del mineral. Tal cantidad depende en las minas a cielo abierto no solo de la estructura geológica del yacimiento y de la topografía del área sino del valor económico del mineral y de los costos de extracción del estéril.

Las relaciones entre la roca estéril y el mineral en la mayoría de los casos de explotaciones de sustancias metálicas son muy superiores a la unidad.

Según la implantación en la escombrera con respecto a la explotación éstas se clasifican en a) interiores, si los estériles se depositan dentro de los propios huecos excavados tras la apertura de un hueco inicial y b) exteriores, cuando la morfología del yacimiento y su consiguiente explotación no permite el relleno del hueco creado en las primeras fases de la mina.

Asimismo la forma de las escombreras depende de los equipos mineros de transporte y vertido. Antiguamente era habitual el transporte con funiculares y vagonetas con los que se formaban las estructuras de formas cónicas. En la actualidad se utilizan volquetes o cintas transportadoras que facilitan el extendido y compactación sistemática del material de deshecho y se adaptan más fácilmente al diseño final de formas del proyecto.

1.4. Investigación del subsuelo

En el sitio de asentamiento de la escombrera es preciso realizar una investigación sobre las características geotécnicas de los materiales que constituirán la base del depósito, considerando las cantidades a depositar y la altura de carga máxima que se producirán.

Si la superficie de apoyo está dispuesta naturalmente en forma de ladera, para pendientes superiores a 10° - 15° , es normal realizar aparte de la limpieza de las tierras una serie de escalones para facilitar el asiento de los estériles, evitando deslizamientos potenciales sobre la superficie de contacto.

En la primera etapa se realizará un reconocimiento para identificar los afloramientos rocosos, la cubierta vegetal, los tipos de suelos, la surgencia de agua, áreas de baja permeabilidad, vestigios de hundimientos, discontinuidades estructurales, etc.

En la segunda etapa se efectuarán sondeos y calicatas que servirán para conseguir información geológica del subsuelo y para la obtención de muestras para la realización de ensayos in situ ó en laboratorio. Los sondeos para el reconocimiento se deben realizar a profundidades superiores a 5 - 7 m.

Como mínimo se deben conocer tres parámetros básicos para estimar si la base de la escombrera puede soportar la sobrecarga que supone el peso de los escombros vertidos ó, si por el contrario, es probable que se produzcan inestabilidades estructurales y movimientos de los materiales de la base que afecten a la estructura:

- la cohesión,
- el ángulo de rozamiento interno y
- el peso específico aparente (seco y saturado).

Las escombreras deben ubicarse preferentemente sobre terreno llano ó con una pendiente suave que puede constituir un cimiento firme, estable y poco deformable.

Dentro de la zona de influencia, que es aquella que puede ser afectada por la caída de escombros ó deslizamientos globales ó parciales, no debe haber viviendas, núcleos urbanos ó vías de comunicación ó redes de servicios ó cursos de agua.

1.5. Materiales

Los depósitos de materiales provenientes de excavaciones de obras o por el laboreo de instalaciones mineras pueden estar formados por una importante variedad de clases.

Las propiedades físicas de las partículas ó fragmentos varían notablemente ya sea por su origen, por los efectos naturales del intemperismo, las diaclasas, acciones de explosivos, etc.

Con el objeto de conocer en forma preliminar la solidez de los materiales de la escombrera se realizan pruebas para determinar los índices de:

- Absorción de agua,
- Desgaste ó abrasión (ensayo Los Ángeles),
- Intemperismo acelerado.

El intemperismo se mide por la desintegración de la roca sometida a la acción del sulfato de sodio en cinco ciclos de inmersión y secado en horno.

Las propiedades mecánicas de una acumulación granular dependen de la forma, rugosidad y composición granulométrica.

La rotura de granos puede investigarse mediante los ensayos de compresión triaxial, deformación plana y compresión unidireccional.

1.6. Los materiales de desecho

En el caso de la separación del oro, la roca original es molida a tamaños de partículas menores de 0,1 mm a fin de separar los constituyentes valiosos.

Durante los procesos de separación se agregan algunos componentes químicos y agua. En muchos casos los residuos resultantes de los tratamientos, conocidos en inglés como tailings, forman una fracción sólida que es similar a un suelo y que por otro lado a veces responden a los mismos principios de la mecánica de suelos, tales como condiciones de drenaje, procesos de consolidación y leyes de escurrimiento.

Sin embargo, los residuos de plantas de tratamiento presentan diferencias con los suelos; su densidad y resistencia son inicialmente bajos y luego se incrementan con el tiempo.

Las propiedades geotécnicas de los desechos son generalmente dependientes de los tipos de rocas de donde provienen. Las rocas de silicatos duros generalmente producen partículas angulares de arenas, limos y aún arcillas.

Las pulpas pueden ser bombeadas en contenidos del 40-50 % de mezclas con el agua, siendo luego conducidos por medio de tuberías y distribuidas por medio de spigots (ver Actis, 2006).

Ciertos productos químicos adicionados en el proceso minero, como arsénicos y cianuros, ú otros en los procesos industriales pueden poner en peligro la flora y fauna del lugar y también hacer que los materiales de desecho se transformen en estructuras que se vuelvan inseguras con el tiempo por la combinación con el agua de las lluvias que aumenten la susceptibilidad a los fenómenos de licuefacción que se producen cuando se registran movimientos sísmicos.

El desafío principal de los constructores de escombreras es diseñar, construir y operar estructuras que permanezcan seguras y estables en el tiempo y que ocasionen un mínimo impacto en el ambiente.

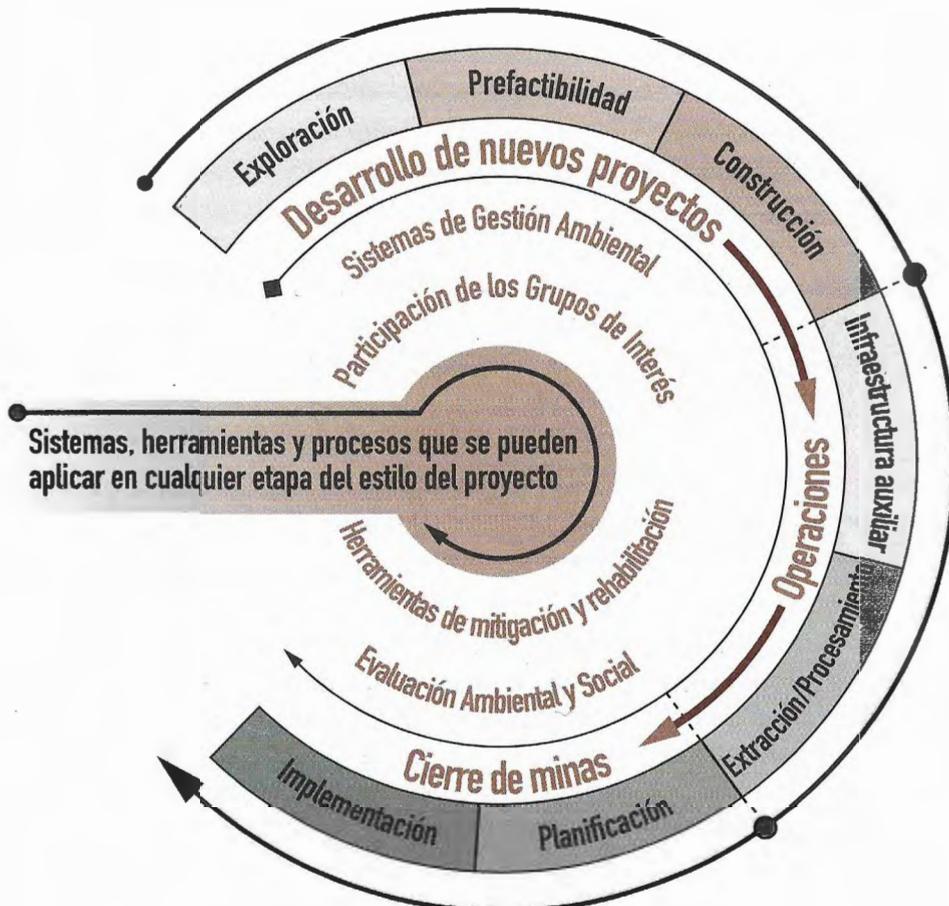


FIG. 1.1 Etapas de planificación (ICMM, 2006).

CAPÍTULO EMPLAZAMIENTO

2

2.1. Método de selección del área de emplazamiento

La elección del área de emplazamiento de una escombrera persigue diversos objetivos como son:

1. Minimizar los costos de transporte y vertido.
2. Alcanzar la integración y la restauración de la estructura en el entorno.
3. Evitar la alteración del hábitat de especies protegidas.
4. Garantizar el drenaje.
5. Minimizar el área afectada.

La técnica de la evaluación se basa en el análisis de decisiones con objetivos múltiples; este método es de gran aplicación en la ingeniería y requiere el empleo y definición de funciones de utilidad multiatributos para la valoración de los diferentes objetivos empleados en la toma de decisiones.

Ejemplo:

En las proximidades de una mina se disponen de tres alternativas para la disposición de una escombrera. Los objetivos prioritarios que se deben alcanzar y los pesos relativos de cada uno de ellos se ilustran a continuación:

Alternativas/Objetivos	1	2	3	Peso relativo
Costos transporte y construcciones	2	1	3	0,35
Superficie afectada	3	2	2	0,10
Obras drenaje	2	2	3	0,10
Ocultación de vistas	2	1	3	0,20
Facilidad de re-vegetación	2	3	1	0,10
Contaminación acuíferos	2	1	3	0,15
Utilidad relativa global	2,1	1,4	2,7	

Conforme a los resultados obtenidos la mejor alternativa de implantación es la 3, seguida de la 1 y la 2.

2.2. Proyecto de la escombrera

Toda escombrera de más de 15 m. de altura ó de mas de 25.000 m³ de volumen deberá ser previamente proyectada teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. Naturaleza aproximada de los escombros.
2. Parámetros geotécnicos ya sea estimados o a partir de ensayos in-situ ó laboratorio.
3. Topografía de la ubicación con escala no inferior a 1:10.000.
4. Redes naturales de drenaje natural.
5. Prescripciones respecto a la preparación del terreno.
6. Especificaciones de los métodos de transporte, extendido, compactación ó vertido.
7. Estudio hidrológico con determinación de las cuencas de aporte.
8. Estudio técnico de estabilidad de taludes, justificación de los adoptados con presentación de memorias de cálculo.
9. Prescripciones respecto a la protección de condiciones ambientales.
10. Proyecto de instalaciones auxiliares como vías de acceso y transporte muros de pie, plantaciones, etc.

3.1. Clases de escombreras

De acuerdo a la secuencia constructiva en terrenos con pendiente, que es el caso más habitual, se pueden presentar los siguientes casos:

1. Vertido libre.
2. Vertido por fases adosadas.
3. Dique de retención en pié.
4. Fases ascendentes superpuestas.

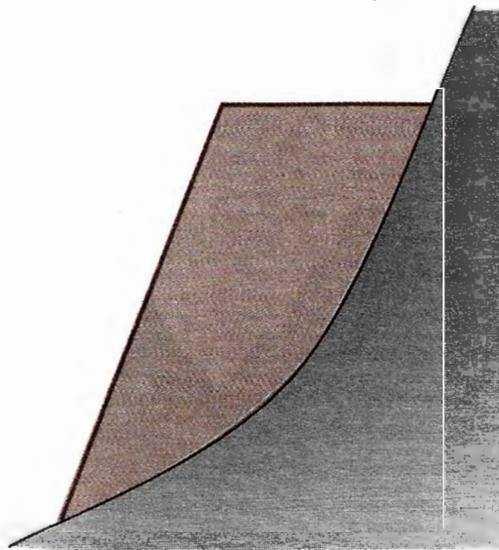


Figura 3.1 – Vertido libre

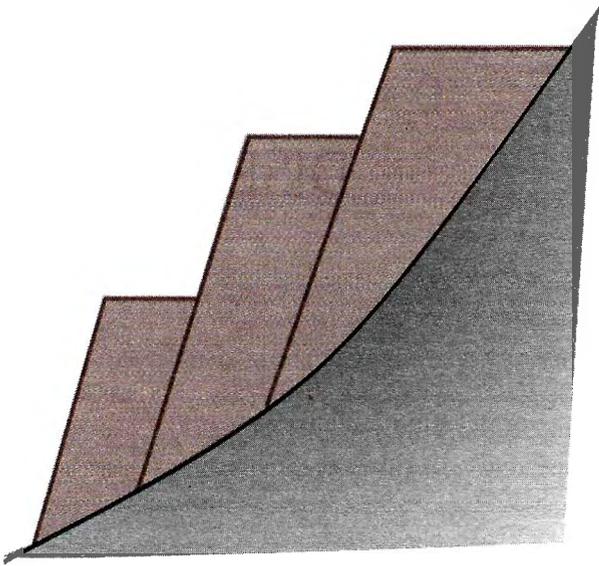


Figura 3.2 – Vertido por fases adosadas

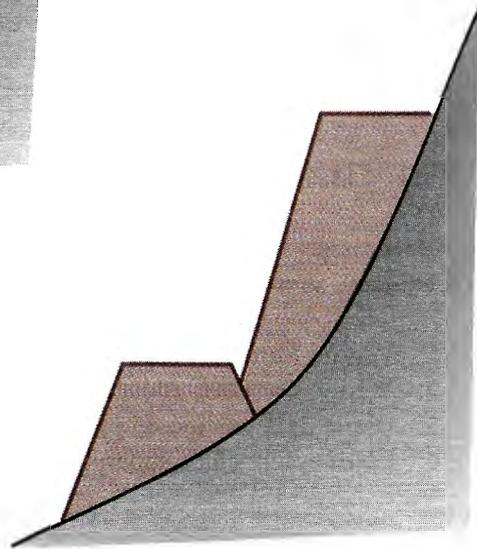


Figura 3.3 – Dique de retención de pié

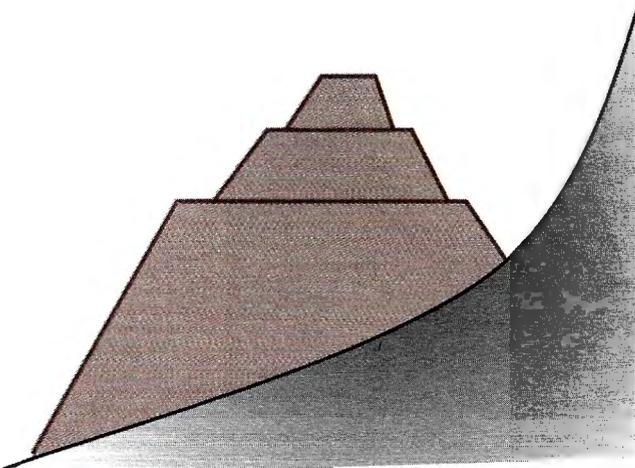


Figura 3.4 – Fases ascendentes superpuestas

3.1.1 Vertido libre

Solo es aceptable en escombreras de pequeñas dimensiones y cuando no existe riesgo de rodadura de rocas agua 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 (Fig.3.1).

De los cuatro tipos es el más desfavorable geotécnicamente, aunque ha sido el más utilizado hasta épocas recientes.

3.1.2. Vertido por fases adosadas

Proporcionan factores de seguridad mayores porque se consiguen taludes medios finales más bajos.

La altura total puede llegar a suponer una limitación por consideraciones prácticas de acceso a los niveles inferiores.

3.1.3. 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 más gruesos y resistentes, de manera que actúe de muro de contención del resto de los estériles depositados.

Esta secuencia constructiva es la que se suele seguir en aquellas explotaciones donde se extraen grandes cantidades de materiales arcillosos y/o finos cuya disposición exigiría de otro modo grandes extensiones de terreno y presentarían un elevado riesgo de corrimiento, o cuando las condiciones de la base de apoyo no son buenas.

3.1.4. Fases ascendentes superpuestas

Aportan una mayor estabilidad por que 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 cumbre. Comúnmente se reconocen dos métodos de vertido:

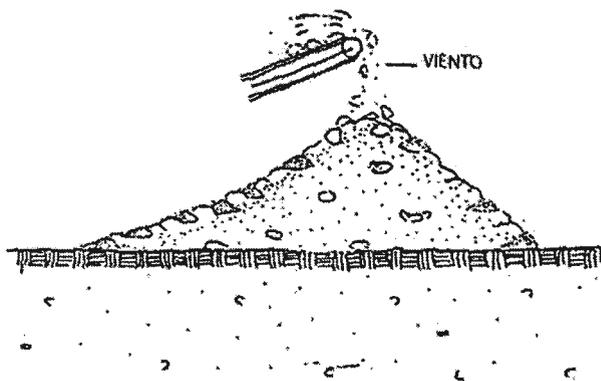
- a) por tongadas y
- b) por basculamiento final.

En explotaciones en donde la topografía es suave, se aconseja el basculamiento final para aprovechar el tránsito de camiones, lograr una mejor compactación de los materiales y así conferirle una mayor estabilidad.

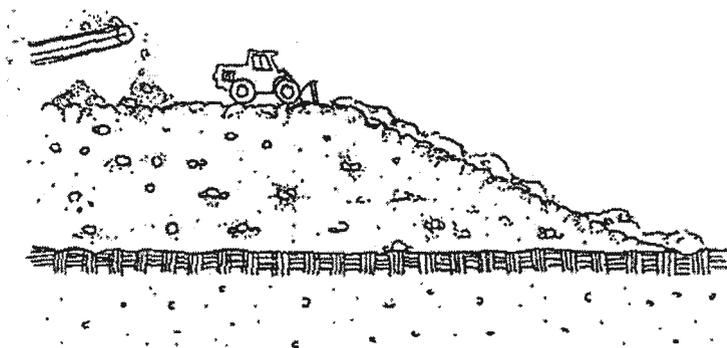
No obstante, los vertederos construidos por este método son mas susceptibles a la erosión por las aguas de escorrentía, a pesar de mantener taludes inferiores, pues las superficies son largas e interrumpidas, sin bermas ó terrazas intermedias y los taludes no pueden protegerse con vegetación.

3.2. Operaciones de transporte de escombros

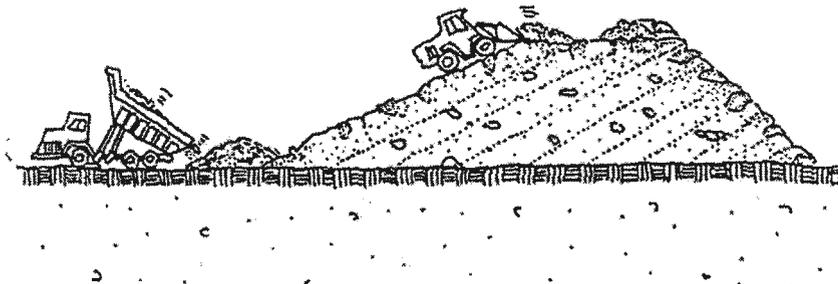
A continuación se ejemplifican los métodos más comunes de transporte de escombros;



a - Libre desde cita (riesgo de polvo)

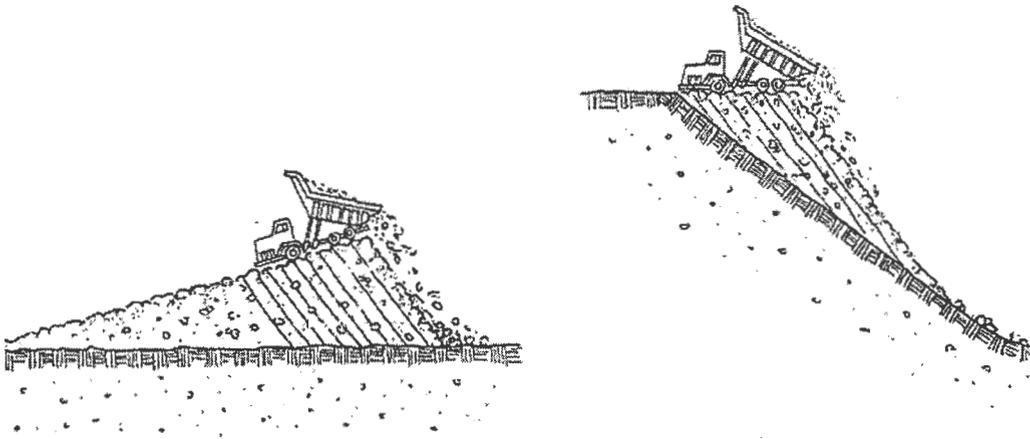


b - Extendido con bulldozer (correcto)

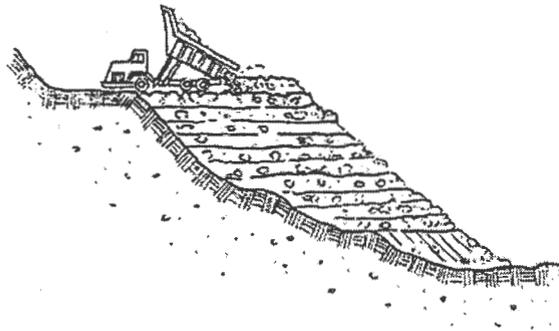


c - Elevación y extendido con bulldozer (costoso)

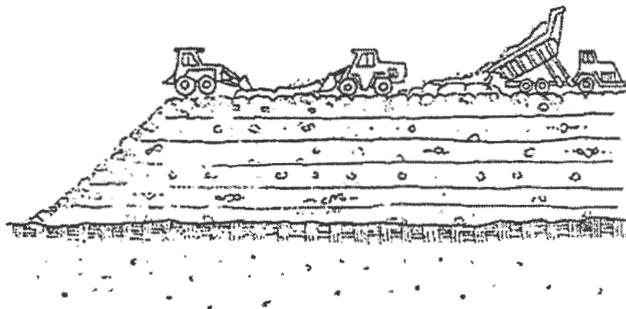
Figura 3.5 – Operaciones de transporte de escombros



e - Vertido directo desde camión (peligroso)



f - Vertido y extendido con camión (problemático)



g - Vertido desde camión, extendido con bulldozer y eventual captación

Figura 3.5 – Operaciones de transporte de escombros (cont.)

CAPÍTULO

ESTABILIDAD DE LOS TALUDES



4.1. Generalidades

La estabilidad de los taludes de las escombreras depende de la resistencia a la fricción del material granular que conforma el cuerpo de la misma y del suelo ó roca de fundación. El suelo y la roca fallarán si las tensiones en cualquier plano exceden los valores de las resistencias al corte de los mismos.

A fin de efectuar el diseño conviene adoptar una pendiente permisible. La pendiente permisible del talud depende de:

- Resistencia al corte del material granular y del suelo o roca de fundación.
- Peso específico del material.
- Altura prevista de la escombrera.
- Distribución de la presión del agua.

Cuando la escombrera es construida sobre una fundación rocosa dura, la pendiente del talud dependerá de la resistencia al corte del material que conforma su cuerpo.

Cuando la escombrera es construida sobre una fundación débil el talud dependerá de la resistencia al corte del material de fundación.

El tamaño de los granos con los cuales se construye la escombrera, y la proporción de estos tamaños, influye en las relaciones de estabilidad.

En la mayoría de los casos los procesos de transporte hacen que los materiales sean depositados y se efectúe una clasificación natural en las escombreras de fracciones de arenas más gruesas, más permeables, hacia fracciones mas finas, formando una playa de arenas.

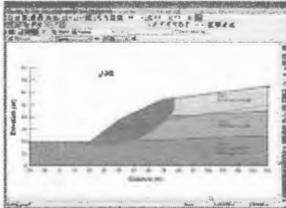
La baja resistencia y baja permeabilidad de las fracciones limosas hace que sean depositadas atrás del área de depósito, bien lejos de la estructura de la escombrera.

Los análisis de estabilidad teóricos son herramientas útiles para el diseño de escombreras ya que proveen datos para decisiones basadas en la experiencia. Existen numerosos programas de software de cálculo que facilitan el diseño (ver figura 4.1).



SLOPE/W[®] 2007

Slope stability analysis.



Typical Applications

SLOPE/W can model almost any stability problem, including:

- Natural earth and rock slopes
- Sloping excavations
- Earth embankments
- Open-pit high walls
- Anchored retaining structures
- Berms at the toe of a slope
- Surcharges at the top of a slope
- Earth reinforcement, including soil nails and geofabrics
- Seismic and earthquake loading
- Tension cracks
- Partial and total submergence
- Line load at any point
- Unsaturated soil behavior
- plus many more!

Comprehensive and Powerful

SLOPE/W is the leading software product for computing the factor of safety of earth and rock slopes. With SLOPE/W, you can analyze both simple and complex problems for a variety of slip surface shapes, pore-water pressure conditions, soil properties, analysis methods and loading conditions.

Using limit equilibrium, SLOPE/W can model heterogeneous soil types, complex stratigraphic and slip surface geometry, and variable pore-water pressure conditions using a large selection of soil models. Analyses can be performed using deterministic or probabilistic input parameters. Stresses computed by a finite element stress analysis may be used in addition to the limit equilibrium computations for the most complete slope stability analysis available.

With this comprehensive range of features, SLOPE/W can be used to analyze almost any slope stability problem you will encounter in your geotechnical, civil, and mining engineering projects.

Easy to Use

Defining a Stability Problem

The unique CAD-like technology in SLOPE/W allows you to create your geometry by drawing it on the screen. You can even import a DXF picture to assist you. Then choose an analysis method, specify soil properties and pore-water pressures, define reinforcement loads, and create your trial slip surfaces. If you make a mistake, you can correct it using the Undo command.

Viewing the Results

Once you have solved your stability problem, SLOPE/W offers many tools for viewing the results. Display the minimum slip surface and factor of safety, or view each one individually. View information about the critical slip surface, including the total sliding mass, a free body diagram and a force polygon showing the forces acting on each slice. Contour the factors of safety, or show plots of computed parameters. Then prepare the results for your report by adding text labels, axes, and pictures to the drawing.

Integrated with Other Applications

Use pore-water pressures from SEEP/W, SIGMA/W, QUAKE/W or VADOSE/W. Using finite element computed pore-water pressures in SLOPE/W makes it possible to deal with highly irregular saturated/unsaturated conditions or transient pore-water pressure conditions in a stability analysis. For example, you can analyze changes in stability as the pore-water pressure changes with time.

Use stresses from SIGMA/W or QUAKE/W

Using finite element computed stresses in SLOPE/W allows you to conduct a stability analysis in addition to a static deformation or dynamic earthquake analysis. For example, you can compute the minimum factor of safety that will be reached during an earthquake, or you can find the resulting permanent deformation, if any, using a Newmark-type procedure.



GeoStudio™

One Model. One Tool. Many Analyses.

Figura 4.1. Programa SLOPE para el cálculo de taludes

4.2. Cálculo de estabilidad de taludes de las escombreras

Los materiales vertidos en una escombrera se encuentran como fragmentos de tamaños muy pequeños si se los compara con las dimensiones del depósito. Aunque inmediatamente después del vertido no existe ninguna trabazón entre las partículas, el paso del tiempo facilita los fenómenos de consolidación que se traducen en un aumento de la resistencia al corte. Las formas de inestabilidad son, según la posición de la superficie de rotura, superficiales, si no afectan a la base de la escombrera, o profundas si sucede lo contrario.

La rotura circular se produce en depósitos en que los materiales presentan propiedades geotécnicas homogéneas, además de algunas otras condiciones.

4.2.1 Métodos de cálculo

1. Gráfico. Utilizando las cartas de estimación de estabilidad de Tesarik y Williams (Factor of safety; Charts for estimating the stability of saturated and unsaturated tailings pond embankments. Ver Anexo 1).
2. Por cómputo. Utilizando el software ofrecido por "Geoslope", basado en estudios de Morgenstern y Price (software para verificar taludes de escombreras, SLOPE/W).
3. Con ábacos. Método de rotura circular, basado en el círculo de rozamiento; se emplean ábacos para obtener una primera estimación del factor de seguridad.

Para el análisis se elige el tipo de escenario que es probable que se presente sobre la estructura a desarrollar. Existen 5 casos que van de seco a totalmente saturado y cada uno de ellos posee un ábaco.

Se calcula el valor adimensional:

$$\frac{C}{G * H * \tan \phi}$$

Donde G es la densidad del material; H la altura del talud; C es la cohesión aparente y ϕ el ángulo de rozamiento interno.

En los ábacos, de acuerdo a la situación hidrológica, se sigue el radio del valor encontrado anteriormente hasta que corte a la curva que corresponde al ángulo del talud.

Se buscan sobre los ejes vertical y horizontal los valores de $\tan \phi / FS$ y $C/G * H * \tan \phi$, a partir de los cuales se calcula el FS mas conveniente.

Los gráficos para estimar la estabilidad de taludes de escombreras con materiales saturados ó no saturados de D.R. TESARIK y P.C. Mc WILLIAMS se pueden consultar en el boletín "BuMines Ri 8564; Factor of Safety Chart For Stimating the Stability

of Saturated and Unsaturated Tailings”.

Efectuada una verificación con el método de Bishop vemos que da una diferencia despreciable.

Parámetros:

F =	Factor de seguridad.
Gama =	Peso específico del material en libras / pie cúbico
H =	Altura de la escombrera hasta el terreno natural en pies.
ϕ =	Angulo de fricción interna en grados (en principio tratándose de tensiones efectivas).
c ó c =	Cohesión en libras / pulgadas cuadradas ó libras / pié cuadrado
uo = u/h =	Valor de la presión de poros en un punto en donde h es la profundidad del punto debajo de la superficie del terraplén y u es la de poros.
β =	Pendiente del talud de la escombrera
D = L/H =	Factor de profundidad (donde L = distancia desde el coronamiento hasta la base de fundación).

4.3. Mantenimiento de la estabilidad de las escombreras

Corresponde realizar una serie de tareas a fin de obtener el mantenimiento de la estabilidad de las escombreras:

- 1) Retirar la vegetación y recuperar los suelos del lugar de asentamiento. La descomposición de la vegetación al cabo de cierto tiempo y la existencia de una capa de suelo constituyen una zona de rotura probable por la resistencia al corte que presentan. En el caso de no retirar estos materiales superficiales se recomienda efectuar su compactación.
- 2) Drenar cualquier volumen de agua que se halle estancado, antes de dar inicio a la escombrera. Si esto no es posible, se sugiere rellenar estas áreas.
- 3) Captar y evacuar los acuíferos en áreas de surgencia, con el propósito de evitar el efecto de las presiones intersticiales del agua en las escombreras y de conservar las fuentes y manantiales.
- 4) Si la surgencia es puntual, la captación del acuífero se hace mediante una arqueta construida sobre el terreno explanado. Desde la arqueta se sacará una tubería de desagote la cual se irá prolongando con acoples continuos en la medida en que se vayan depositando los estériles.
- 5) Cuando las surgencias son extensas, debe disponerse de una red de zanjas ó tuberías drenantes conectadas a colectores.
- 6) Construir un canal perimetral situado a unos metros de la base de la escombrera para evitar el estancamiento del agua y la socavación del pié del talud por la acción erosiva de esta.

- 7) Acometer las obras de desvío y canalización de las aguas de esorrentía superficial.
- 8) Cuando se trabaja con el método de “basculamiento final” (con descargas de material desde gran altura), deberá procurarse un talud general de unos 20°, con el fin de garantizar las condiciones de estabilidad de la escombrera durante lluvias prolongadas.
- 9) Depositar y compactar los estériles por capas (método “por capas”) con el fin de aumentar la resistencia al corte y la capacidad de vertido. Al reducirse el efecto de esponjamiento, las condiciones de drenaje se consiguen creando un núcleo central de escollera.
- 10) Para el desarrollo de las escombreras (diseño geométrico, método de deposición) es deseable seleccionar los materiales a colocar a diferentes profundidades, de acuerdo con sus características y objetivos a conseguir. Por ejemplo, si existe algún material con alto contenido de sales puede colocarse a suficiente profundidad para que las raíces no puedan alcanzarla. Si se presentan fenómenos de lavado de sulfatos por las piritas, se puede colocar una capa impermeable para evitar el lavado o colocar dicho material por debajo de la capa freática, donde la baja oxidación contendrá el fenómeno de acidificación.

Recomendaciones adicionales para escombreras de vaguada con núcleo de drenaje o escombreras de llanura.

- 11) En terrenos con pendientes (mayor de 20°) se recomienda el levantamiento de un dique de contención de sección trapezoidal a una profundidad de 1,5 m, en material consolidado, con taludes de 1,5:1 y anchura del fondo superior a 3 m.
- 12) Para aumentar la eficiencia del drenaje se recomienda en ciertos casos que el dique de base se construya con bloques resistentes de arenisca. Cuando los ensayos de suelo de base demuestran que la capacidad portante es suficiente puede omitirse el dique de contención. En las escombreras de más de 0,8 Mm³ de capacidad, el dique de contención puede complementarse con contrafuertes o estribos para reforzar la estabilidad de la masa de material vertido (1 Mm³ = 1 millón de m³)
- 13) En todos los casos, además de los drenajes considerados como principales, se construirán otros secundarios o laterales de acuerdo a las siguientes recomendaciones:

Tipo de estéril	Capacidad de la escombrera	
	Menor de 0,8 Mm ³	Mayor de 0,8 Mm ³
Pizarras ó similares	5 m x 2,5 m	5 m x 5 m
Areniscas ó similares	2,5 m x 1,2 m	5 m x 2,5m

La granulometría del material empleado en los drenajes debe ser tal que contenga menos del 10% de bloques inferiores a 30 cm y no existir tamaños superiores al 25% de la sección de drenaje. Tanto los drenes principales como los

laterales se diseñarán de acuerdo con la valoración de los factores geológicos y topográficos característicos del lugar.

- 14) El procedimiento para la colocación del estéril es el siguiente:
- Si el 65% o mas del material es arenisca puede ser vertido sin compactación.
Se nivelará según la cota del banco al finalizar el relevo del trabajo.
 - Si el material contiene menos del 65% de arenisca puede ser vertido en tongadas de 1,2m, compactándolo a continuación.
 - En terrenos abruptos y de fuerte pendiente y siendo mas del 90% de arenisca, los sistemas de drenaje se construirán basándose en la segregación natural que se produce en el vertido.
- 15) El material de relleno se dispondrá formando bancos con el fin de incrementar la estabilidad, recomendándose las siguientes formas finales:
- Altura del banco: 15 m (máximo).
 - Anchura de berma: 6 m (máximo).
 - Pendiente de desagüe hacia el interior de las bermas, 3-5 %.
 - Pendientes laterales de coronación, 3-5 %.
 - Superficie de estabilización de revegetación coexistente con la construcción.

Todas las superficies de drenaje dispondrán de las pendientes adecuadas hacia ambos lados de la vaguada, dirigiendo las aguas hasta las zanjas construidas en roca inalterada.

4.4. Forma de analizar la compresibilidad, la capacidad portante y la estabilidad de los taludes de los rellenos

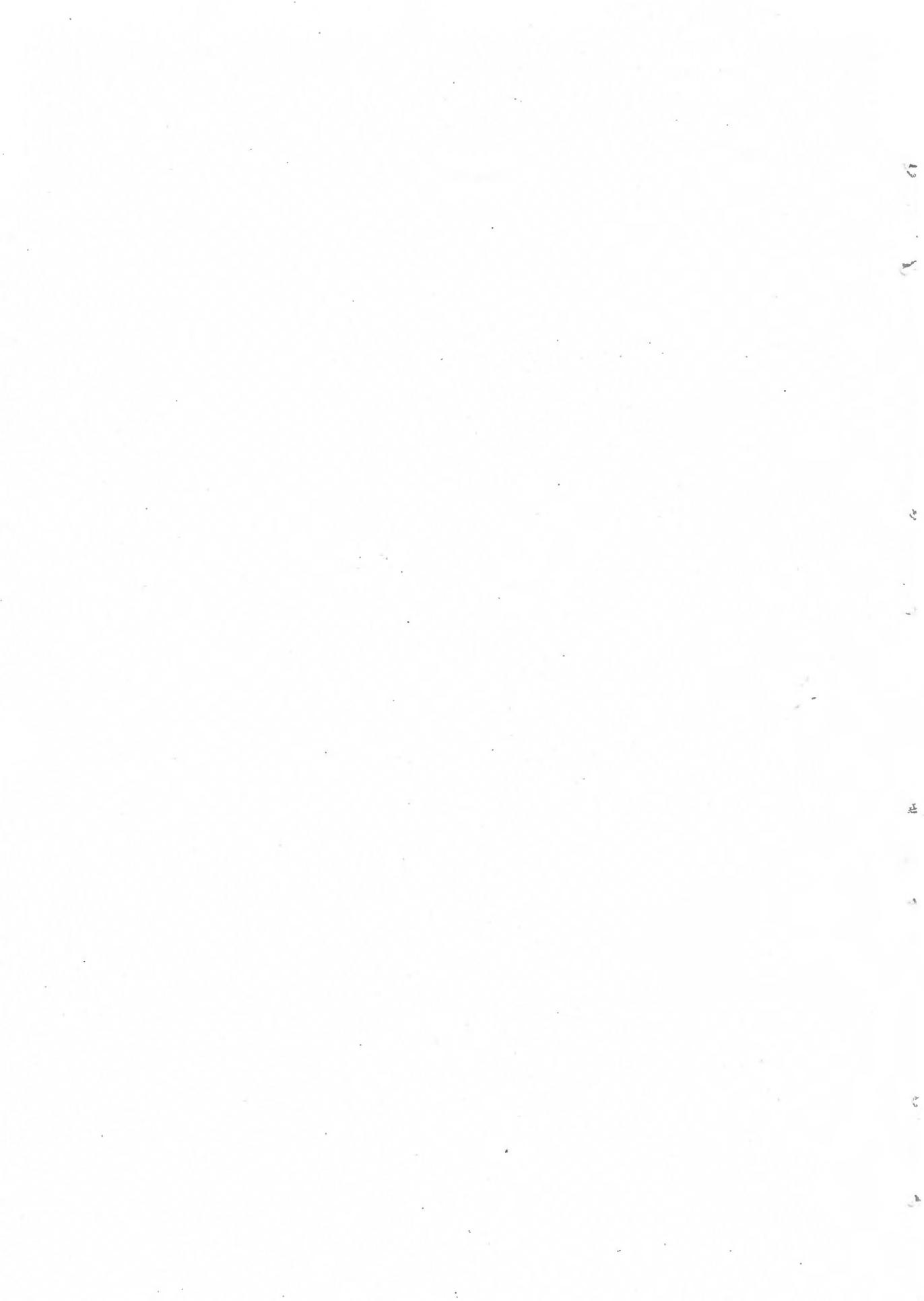
La validez de los análisis depende en gran medida de la calidad de la información relativa a las deformaciones, parámetros resistentes, presión intersticial, densidad, composición química de los residuos, método de colocación y sistemas de drenajes.

- La medición de los movimientos de puntos de la masa del relleno se puede efectuar a través de mediciones topográficas empleando niveles, taquímetros ó estaciones totales. Los asentamientos pueden determinarse con medidores ubicados en distintos puntos u otros dispositivos utilizados para el monitoreo platos de carga (p.ej. inclinómetros).
- Es necesario conocer la densidad y su evolución en el tiempo y profundidad. Es importante conocer el grado de compactación inicial y tener en cuenta que se tiene una capa de cobertura diferente y distintas cantidades de humedad. Los valores normales de densidad se ubican en un rango de 0,30 y 1,50 t/m³, dependiendo del grado de compactación. La obtención de la densidad se puede determinar mediante ensayos de campo con pozos o calicatas.

- c) Parámetros resistentes. La mejor forma de obtener los parámetros que intervienen en el estudio de respuestas tensión-deformación de la masa de la escombrera es la realización de los ensayos in-situ y teniendo en cuenta que la respuesta de las masas depende primordialmente de los parámetros de fricción ó de la cohesión. Estos valores se pueden obtener con una maquina de ensayo gigante (1x 2 m. por ejemplo). Valores corrientes de fricción poseen ángulos entre 24° y 34° y de cohesión entre 16 y 23 kPa.
- d) Se pueden obtener datos de la conformación de la estratigrafía del relleno mediante ensayos de penetración estática.

4.5. Formas de inestabilidad usual

- 1) Fracturas en el subsuelo producidas por diferencias de asentamientos
- 2) Fracturas en el talud que se producen cuando son demasiado inclinados.
- 3) Capas de fluencia debajo del talud.
- 4) Deslizamiento de residuos a lo largo de fracturas.
- 5) Diferencias de asentamiento producidas por la rotura de cañerías de drenaje.
- 6) Inestabilidad producida en zonas interfaces.



CAPÍTULO

RESTAURACION

DE ESCOMBRERAS



5.1. Métodos de explotación

Con el advenimiento de maquinaria cada vez más potente se han conseguido mayores movimientos de materiales a bajo costo utilizando en mayor medida las actividades extractivas a cielo abierto. En la minería tradicional se empleaban en mayor medida las labores subterráneas, con movimientos relativamente pequeños de transporte.

Desde el punto de vista de la restauración de terrenos el proceso a cielo abierto trae aparejado una mayor alteración de la superficie dado que puede generar grandes huecos excavados o cicatrices en los terrenos y por otra parte la creación de importantes depósitos de estériles.

Se pueden distinguir tres fases en las tareas de explotación.

Fase 1. Apertura del hueco inicial. Se trata de conseguir un hueco con un tamaño y longitud suficiente para iniciar las excavaciones iniciales y los accesos y caminos de acuerdo a la planificación general de excavaciones.

Fase 2. Excavaciones de avance de acuerdo a la planificación.

Fase 3. Separación de estériles y formación de depósitos ó escombreras de estériles o de materiales de explotación.

Fase 4. Ejecución de restauración de terrenos afectados simultáneamente con la explotación y la formación de escombreras.

5.2. Vertido de materiales

Los materiales que componen intercalaciones que no serán utilizadas en la explotación, fundamentalmente arcillas, limos, arenas y areniscas, bancos de calizas u otros materiales que no interesaran, son los denominados estériles. Normalmente se deberá disponer de un espacio exterior a la mina donde depositarlos en escombreras. En algunos casos la propia explotación genera materiales de desecho que a veces se depositan para obtener otros fines como por ejemplo la formación de un embalse para disponer de agua en la planta (ver Actis, 2006).

Durante los años en que se están desarrollando los programas de restauración minera, se van estudiando y proponiendo posibilidades de diseño de escombreras, susceptibles de reducir al mínimo el impacto visual, así como la de crear las medidas adecuadas que permitirán conseguir un terreno estable, lo mas regular posible, en el que estén controlados los procesos de erosión y que permita su posterior uso agrícola y forestal y a la vez que una integración paisajista de acuerdo con las características del entorno.

5.3 Restauración

En la restauración se encaran los trabajos de diseño de la geometría final de las escombreras de acuerdo a las necesidades. En las zonas próximas a la superficie, tanto en las plataformas como en los taludes, se procura verter materiales de textura arenosa y pH próximo a 7, para facilitar la penetración en profundidad de las raíces de la cubierta que se pretende obtener .

- Construcción de escombreras con plataformas de mas de 20 m. de altura limitadas por taludes de de menos de 30m de altura y pendientes de 18°. Se trata de evitar las formas rectilíneas para obtener una mayor integración con el paisaje.
- Nivelación de las superficies con una pendiente media del 1% para facilitar el drenaje de las mismas y evitar el encharcamiento.
- Perfilado de taludes hasta los 18° de pendiente para disminuir los efectos de la erosión y facilitar las labores de reforestación y la implantación de cubierta vegetal.
- Ejecución de de una red de caminos de acceso a las zonas restauradas y de cunetas perimetrales con sección en forma de “U”, tanto en la parte superior del talud como en la base de la pendiente. En las zonas con pendiente superior al 1%, las cunetas y canales se revisten de hormigón para protegerlos de la erosión.



Fig. 5.1. Escombreras en la mina Bajo Alumbraera. Argentina.



Fig. 5.2. Escombreras en la mina Bajo Alumbraera. Argentina.

CAPÍTULO

MITIGACIÓN Y RESTAURACIÓN

DEL IMPACTO AMBIENTAL



6.1. Impacto Ambiental

La fuerte alteración que se produce en el paisaje por la explotación minera a cielo abierto es inevitable dadas las grandes dimensiones relativas del hueco, de las escombreras exteriores, así como de otros componentes propios de las labores mineras (cintas transportadoras, instalaciones de obra, etc.), lo que en conjunto provoca un cambio sensible de la topografía, la vegetación, la distribución de los usos del suelo, etc., con respecto al estado original.

A pesar del impacto que supone una actividad extractiva sobre el suelo donde se crea la apertura del hueco y las escombreras, su repercusión se minimiza por la baja potencialidad original que presentan los suelos en zonas serranas y el posterior uso agrícola que se puede hacer de los terrenos restaurados, aumentando la superficie útil para la agricultura.

Se define como restauración al conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales.

La evaluación del daño producido es fundamental para encarar su reparación. En primera instancia se pensará en medidas de mitigación, o sea medidas para reducir los daños potenciales sobre la vida y los bienes que puedan causar los eventos de carácter geológico, hidrológico ó industrial.

Las medidas de remediación son todas las medidas inmediatas que se toman para evitar daños mayores y siempre tendientes a la reparación del daño provocado. Es el conjunto de acciones que se llevan a cabo de limpieza de cualquier descarga ó sospecha de descarga de contaminantes.

6.2. Métodos de restauración

La restauración de terrenos es contemplada ya en la etapa de de elaboración del proyecto de explotación, considerándola como parte integrante de las labores mineras.

Tanto el sistema de explotación como la ejecución de escombreras deben permitir y facilitar la utilización agrícola paisajista del área.

Si bien en porcentaje la superficie de las áreas de explotación no suele ser grande su localización cercana en muchos casos a núcleos de población y su impacto visual explican la intensa repulsa por amplios grupos sociales. Esto provoca una mayor obligación de actuar sobre ellas para restaurarlas.

El objetivo de la restauración es no solo frenar e impedir la degradación en la vegetación autóctona y actuar de forma controlada sobre este medio natural para evitar un retroceso en el orden ecológico, sino también el de elaborar una sistemática de trabajo que permita actuar sobre las escombreras y el hueco de explotación, obteniendo además de los niveles mínimos de calidad exigidos en la legislación vigente una regeneración total de los terrenos afectados, de manera que puedan ser objeto de una explotación agrícola, forestal y ganadera, similar a las de su entorno geográfico.

6.3 Movimientos de tierra

El material edáfico extendido sobre la superficie, una vez lograda la morfología final, crea un adecuado medio para la implantación de vegetación.

Se deberán estudiar las semillas de plantas espontáneas y bulbos que se encuentren en el mercado local, además de la incorporación de nutrientes. Se determinará el espesor de tierra vegetal disponible en los paneles de avance de la mina para lo que se utilizarán calicatas y se realizarán análisis físico-químicos. Se efectuará el acopio de la tierra vegetal sobre plataformas y taludes con un espesor aproximado de 0,50m.

6.4. Revegetación de plataformas y taludes

Se puede seguir un criterio cerealista con siembras después del extendido de la tierra vegetal en otoño. En una segunda fase se pueden utilizar plantaciones arbóreas.

Después del extendido de la tierra vegetal se realiza la siembra de herbáceas con el objeto de estabilizar el suelo, evitando al mismo tiempo la erosión hídrica y eólica. Se utilizan leguminosas y gramíneas.

Las leguminosas fijan el nitrógeno atmosférico en el suelo poniéndolo a disposición de las plantas que a su vez fijan el suelo con su sistema radicular. También se disminuye el riesgo de erosión hídrica superficial al amortiguar el impacto de las gotas de lluvia directamente sobre el suelo, generando un efecto de salpicadura. Pueden emplearse numerosas especies tales como cebada, avena, alfalfa, etc.

6.5. Plantaciones arbóreo-arbustivas

Constituye la segunda parte de la revegetación de taludes. Con ella se pretende reconstituir su homologación con el espacio natural. Se tratará de emplear especies del paisaje natural de la zona. Para ello se deberá efectuar un estudio de las comunidades vegetales existentes en las proximidades de la zona que se pretende restaurar.

Podemos citar algunas especies arbóreas útiles: acacia de tres puntas, ciprés, pino negro, y arbustivas: rosa silvestre, romero, salvia, tomillo. etc.

6.6. Estudios generales a realizar para la programación de actividades

Además de los estudios que hemos ya citado anteriormente deberemos tener en cuenta los siguientes:

Clasificación del clima, que incluye, temperatura ambiental, estudio de las precipitaciones de agua y nieve, humedad atmosférica, estudio del viento e insolación. Se estudiarán además la geomorfología y los tipos de terrenos.

6.7. Vegetalización

Las superficies de los taludes de los depósitos de materiales de desecho pueden presentar una pendiente muy grande ó pendientes escalonadas ó ambas. Estas condiciones pueden influir en que se pierdan ó no se disponga de nutrientes para las plantas. El material superficial puede ser predominantemente ácido con valores de pH entre 5 y 2 o menos. Cualquier acidez puede reaccionar con otros minerales para formar sales que migrarán a otros lugares por el movimiento de aguas capilares bajo la acción de gradientes de evaporación.

En las superficies el agua se evapora, dejando sales y concentrando residuos ácidos. Esto constituye un ambiente muy hostil para las plantas por lo que los materiales deben ser tratados para asegurar el buen éxito de la vegetalización. Si el material es ácido deberá tratarse para disminuir la acidez y levanta el pH agregando limos y varios fertilizantes para proveer nutrientes y agregar agua para diluir sales y ácidos. Como el interior de los depósitos suele ser a menudo alcalino, los ácidos son neutralizados y las sales son inmovilizadas.

Los escurrimientos producidos por la infiltración del agua de lluvias a menudo ocurren en la parte superior de los depósitos por lo que en los bordes es necesario efectuar riego por aspersión. En los bordes donde se producen cárcavas se pueden producir correcciones o alisamientos por medio del uso de herramientas y el establecimiento de vegetación por medio de los siguientes medios:

- a) Uso de geotextiles que producen una reducción de la velocidad de los escurrimientos para prevenir la erosión.
- b) Utilización de pastos naturales plantados a razón de 3 tn/ha.
- c) Empleo de fertilizantes esparcidos en la superficie de los taludes. Primero se colocarán limos a razón de 7,5 tn/ha y luego superfosfatos a razón de 300kg/ha.
- d) Riego por spray sobre la superficie que se realiza a razón de 20 minutos, tres veces por día.
- e) La mezcla de granos leguminosos con cantidades apropiadas de bacterias "rhizobium", las que aseguran la fijación de nitrógeno atmosférico, a razón de 200 kg/ha con limo agrícola.
- f) Cuatro días después se aplica un fertilizante en una proporción adecuada (aproximadamente 300 kg/ha), repitiendo la aplicación después de tres semanas.
- g) El regado es continuado hasta que se tenga una cubierta suficiente y entonces el regado se va reduciendo progresivamente.

6.8. Vegetalización en los coronamientos de las escombreras

Para el establecimiento de la vegetación en los coronamientos de las escombreras se debe usar el método “dryland” durante condiciones favorables del tiempo, después de usar dispositivos de control de agua sobre la superficie del depósito una vez por año o por lo menos una vez cada dos años.

Se establecen canteros de prueba de 10m x 10m y uno cada 25 ha.

Estos canteros se fertilizan y son sembrados con granos seleccionados .

El método de vegetalización es como sigue:

- a) Se coloca una capa de limo agrícola en cantidad de 7,5 t/ha y superfosfato 10,5%, con una relación de 600 kg/ha y luego se pasa un disco con una profundidad de 100 mm.
- b) Durante un periodo con favorable condiciones climáticas y utilizando equipos convencionales usados en la agricultura. Luego es rolado con Soller tipo Cambridge ó corrugado.
- c) Cuatro días después se aplica fertilizante a razón de 300 kg/ha. Esto se repite en condiciones climáticas favorables.
- d) Una vez que la vegetación esta bien afianzada ,alrededor de cuatro a cinco semanas después de la germinación se aplica urea a razón de 50 kg/ha y se repite la aplicación después de 10 días, ambas aplicaciones deben ser realizadas durante condiciones favorables del tiempo.
- e) La mezcla usada es la misma que la usada en los taludes.



Figura 6.1. Ejemplo de vegetalización

6.9. Mezclas de semillas

Las mezclas incluyen semillas de especies de distintos tipos: pastos de invierno, estoloníferos ó de correderas ó rastreras, para prevenir erosión de superficies y leguminosas para proveer nitrógeno y prevenir una reducción de acciones de mantenimiento.

En el coronamiento de los depósitos solo se efectuará un mantenimiento anual de 5 m. de ancho y delimitado en parcelas de 5 ha. En los costados del coronamiento se usan fertilizantes para el mantenimiento y para producir el crecimiento de pastos estoloníferos ó rastreros como oposición a especies de rápido crecimiento. Los primeros aseguran una buena cobertura del sol demandando pocos elementos nutritivos en lugares donde existen pastos locales endémicos.

Estos pastos son introducidos en la mezcla de granos porque ellos permiten el establecimiento rápido de una cubierta vegetal que conforme una buena mezcla de germinación en un lugar en el que las condiciones son particularmente desfavorables como son los taludes de las acumulaciones de desechos.

Para favorecer el desarrollo de ciertas especies se aplican anualmente a mano, selectivamente, fertilizantes con una proporción de 350 kg/ha y por un lapso de tres años después que la vegetación inicial fue establecida.

6.10. Control del agua en la rehabilitación

Mientras se encuentran las instalaciones en operación el agua de la superficie de las escombreras es evacuada por medio de torres de decantación, estaciones de bombeo flotantes, evacuadores de crecidas, sifones, etc. Las evacuaciones del agua de precipitación de las otras superficies (taludes) son colectadas en alcantarillas ó piletas al pie de los taludes donde se efectúa la evaporación.

6.11. Biodiversidad

Desde las primeras etapas de un proyecto minero se deben realizar estudios de evaluación del impacto ambiental. Es importante efectuar un gráfico donde se efectúe la intersección de las actividades mineras propuestas y los potenciales impactos (ver gráfico 6.1). A medida que avanzan las etapas del proyecto minero se modifican los impactos en la biodiversidad hasta alcanzar la última etapa que corresponde con el cierre de mina. Durante la operación minera a cada etapa corresponde un impacto potencial al medio ambiente. Los impactos y su relación con las etapas del proyecto minero se ejemplifican en el gráfico 6.2.

	ACTIVIDADES MINERAS	Exploración y construcción	Primeras etapas de exploración	Construcción de rutas de accesos	Remoción de tierra (para construcción, etc.)	Obtención de materiales de construcción	Infraestructura relacionada con la construcción	Rutas, vías e infraestructura auxiliar	Tuberías para lodo o concentrado	Líneas de energía, electricidad transmisión	Fuentes de agua, tratamiento de aguas residual	Transporte de materiales peligrosos
IMPACTOS POTENCIALES												
Impactos en la biodiversidad terrestre												
Pérdida de ecosistemas y hábitat												
Pérdida de especies extrañas en peligro												
Efecto sobre especies sensibles o migratorias												
Efectos del desarrollo inducido en la biodiversidad												
Biodiversidad acuática e impactos de las descargas												
Sistemas hidrológicos alterados												
Sistemas hidrogeológicos alterados												
Incremento de metales pesados, acidez o polución												
Incremento de turbidez (sólidos suspendidos)												
Riesgo de contaminación del agua subterránea												
Impactos sobre la biodiversidad relacionados con la calidad del aire												
Incremento de partículas ambientales (TSP)												
Incremento sulfuro de dióxido ambiental (SO ₂)												
Incremento de óxido de nitrógeno ambiental (NO _x)												
Incremento de metales pesados ambientales												
Interfaces sociales con la biodiversidad												
Pérdida de acceso a hábitat pesqueros												
Pérdida de acceso a árboles frutales, plantas medicinales												
Pérdida de acceso a cultivos de forraje o pasturas												
Acceso restringido a recursos de biodiversidad												
Incremento de presiones de caza												
Impactos inducidos por el desarrollo sobre la biodiversidad												

Fig. 6.2. Impactos potenciales (ICMM, 2006)

CAPÍTULO

MEDIDAS DE SEGURIDAD



7.1. Accidentes comunes

En las obras de escombreras se producen accidentes de distintos tipos producidos por las maquinas, por los errores de los operarios o por acontecimientos naturales tales como lluvias vientos, terremotos etc.

Los accidentes más frecuentes son:

- 1- Deslizamientos de maquinas por los taludes. Se produce a menudo, generalmente durante los fines de semana o en períodos de interrupción del trabajo, la caída de topadoras, palas cargadoras ó dumpers de transporte y vertido.
- 2- Choques de los equipos producidos por maniobras mal coordinadas o insuficientes plataformas de trabajo.
- 3- Rodadura de bloques a grandes distancias ladera abajo que pueden afectar a personas, edificios, carreteras, y llegar a producir aludes.
- 4- Caída de bloques sobre personas que transitan por la base de la escombrera.
- 5- Accidentes de equipos trabajando sobre zonas blandas de los taludes etc.

7.2. Prevención de accidentes

El mal tiempo hace incrementar las posibilidades de accidentes. Los vientos fuertes, las lluvias, la escasa visibilidad, generan condiciones que son propicias para que se produzcan accidentes. En estos casos es conveniente reducir las actividades al mínimo o suspenderlas.

Debe prestarse especial atención a la excavación de zanjas, aperturas de caminos, etc., al pie de escombreras situadas sobre laderas ya que pueden inducirse deslizamientos importantes en el caso de que tengan un cimiento arcilloso.

En ningún caso se podrán excavar zanjas a menos de 3 m. del pie final de la escombrera ó a menos de 1,5 veces el espesor del suelo susceptible de fluencia.

También se plantean frecuentes problemas cuando el trabajo se realiza en las proximidades de líneas eléctricas, conducciones de agua ó gas etc. debiendo adoptarse las

medidas preventivas necesarias.

Es aconsejable no superar en cada banco de trabajo la altura alcanzable por las palas ó excavadoras y en el caso de escombreras muy altas el trabajo debe hacerse por bancos, de arriba a abajo, dejando bermas cada 10m. aproximadamente.

Los trabajos de excavaciones deben suspenderse en épocas de lluvias intensas.

Debe limitarse al mínimo la circulación de personal al pie de los taludes en curso de excavación, acordonándolos convenientemente. También es peligroso circular por los propios taludes ya que pueden inducirse deslizamientos que arrastren a personas ó equipos.

Debe evitarse igualmente el paso de conducciones de agua ó drenaje sobre las escombreras ya que su rotura puede provocar la saturación y deslizamiento de los escombros. Cualquier fuga debe repararse de inmediato.

En cualquier escombrera en la que aparecieran grietas ó deformaciones indicativas de un posible deslizamiento profundo se realizarán inmediatamente las operaciones de vertido en el área afectada, estableciendo unos piquetes de limitación y realizando observaciones sistemáticas de los movimientos y de la evolución de las grietas.

Es conveniente plantear un pequeño plan de seguimiento o de auscultación con los elementos de medición que se disponga, realizando marcas con testigos medidores de juntas, extensiómetros, etc. En paralelo se efectuarán los oportunos estudios del problema por personal especializado para adoptar medidas correctoras o estabilizadoras que correspondan.

Si el deslizamiento fuera inminente y pudiera ocasionar daños graves se darán los oportunos avisos y ordenes de desalojo, realizando las obras de contención, drenaje ó estabilización que permitan seguir la evolución de los movimientos.

Cuando haya personal que trabaje en zonas de posible ignición ó incendios deberán adoptarse las mayores precauciones para que no sufran intoxicaciones graves por los gases desprendidos como así también para los que trabajen en pozos ó galerías de drenaje.

CAPÍTULO

ABANDONO DE ESCOMBRERAS



8.1. Generalidades

En el proyecto de una escombrera deben estar previstas las medidas a adoptar una vez finalizado el vertido de escombros, en función de las eventuales exigencias de utilización.

La condición fundamental es que una escombrera abandonada no pueda dar lugar a problemas de inestabilidad o de contaminación, que afecten posteriormente al uso común que tenía la tierra en la zona y que afecten también a los valores paisajísticos o a los usos agrícolas, urbanos, etc.

8.2. Medidas más comunes

Generalmente consisten en producir un recubrimiento de tierra adecuado con espesores no inferiores a 30 cm., debiendo ensayarse y justificarse las especies a aplicar para asegurar un crecimiento adecuado y una propagación espontánea sobre los taludes.

En la elección de las especies vegetales se tendrán en cuenta las condiciones de acidez, la escasez de nutrientes, la temperatura, etc. de los residuos, aplicando si es necesario tratamientos de tierra vegetal, abonos, cubiertas de paja, etc. que favorezcan el crecimiento de las plantas y arbustos.

El recubrimiento debe iniciarse incluso antes del abandono completo de la escombrera, de forma tal que al año de realizarse el mismo la superficie protegida sea como mínimo de un 60% de la expuesta.

Los aspectos de protección frente a la erosión y recubrimiento vegetal hacen necesaria una corrección del perfil de los taludes respecto a los que se forman por simple vertido, dejando preferentemente taludes que tengan relaciones ancho/alto entre 2:1 y 4:1. En estos casos se procurará que los taludes presenten una cierta concavidad (taludes más suaves en la parte baja), y que no se pueden superar los 18° de inclinación para tolerar la vegetación prevista, con el límite de unos 26° para la maquinaria usual.

Debería además limitarse el desarrollo de los taludes cada 12 – 15 m. mediante bermas de unos 4 m. de ancho mínimo y pendiente hacia el interior del 5 % aproximadamente.

Estas bermas deberán llevar una cuneta de recogida para evitar que el agua se infiltre y produzca la inestabilidad del talud adyacente. En el caso de escombros arcillosos debe sopesarse este riesgo frente a la utilidad de las bermas.

CAPÍTULO

AUSCULTACION Y MONITOREO



9.1. Generalidades

Las escombreras son estructuras delicadas construidas con coeficientes de seguridad normalmente muy bajos y por lo tanto se deberá mantener una inspección periódica para poder subsanar a tiempo cualquier defecto observado. Las escombreras altas, con taludes muy inclinados, serán las que se controlarán con mayor atención.

Los principales aspectos a controlar son los movimientos horizontales y verticales en superficie y en profundidad, además del control de asentamientos, ensayos de penetración dinámica, entre otros.

La persona más indicada para decidir sobre el planeamiento de la auscultación de la escombrera es el realizador del proyecto puesto que él conoce las dificultades del lugar y los problemas que puede ser necesario controlar, siendo el mas indicado, junto con un experto en instrumental comercial, en decidir el tipo de aparatos a usar para realizar el monitoreo que se desea realizar.

9.2. Objetivos de la auscultación

Los principales objetivos son:

- a) Control continuo de la seguridad de la obra.
- b) Verificación de las hipótesis sobre las propiedades de los materiales.
- c) Verificación de la validez de las hipótesis del proyecto.
- d) Evaluación de los métodos de cálculos.
- e) Estudio de la influencia de los diversos parámetros de diseño en el comportamiento de la estructura.

9.3. Revisaciones periódicas

El plan de revisión periódica debe controlar los siguientes aspectos:

- 1- Formación de grietas ó deslizamientos en los taludes.

- 2- Abombamiento de las paredes de los taludes.
- 3- Asentamientos diferenciales.
- 4- Aparición de surgencias ó humedades en los taludes ó en los contactos de los mismos con el cemento.
- 5- Instalaciones de drenaje.
- 6- Cuando se observen movimientos o desplazamientos generalizados deberá hacerse un seguimiento de los mismos mediante controles taquimétricos o de nivelación.
- 7- En algunos casos de vertido de escombros adosados a una escombrera existente pueden generarse situaciones de inestabilidad que deberán analizarse en forma particular.
- 8- Una alternativa ante fenómenos de inestabilidad, especialmente cuando sean provocadas por lluvia, es el extendido de cal viva hasta esperar que las condiciones climáticas favorezcan una mínima desecación superficial que absorba humedad y que provoque una ligera cementación.
- 9- Drenaje. Cuando la ubicación de la escombrera es tal que se formen acumulaciones de aguas ó endicamientos de agua por lluvia, por caso en escombreras situadas en vaguadas ó en laderas, se podrán utilizar elementos de ayuda para corregir los problemas que se generan.

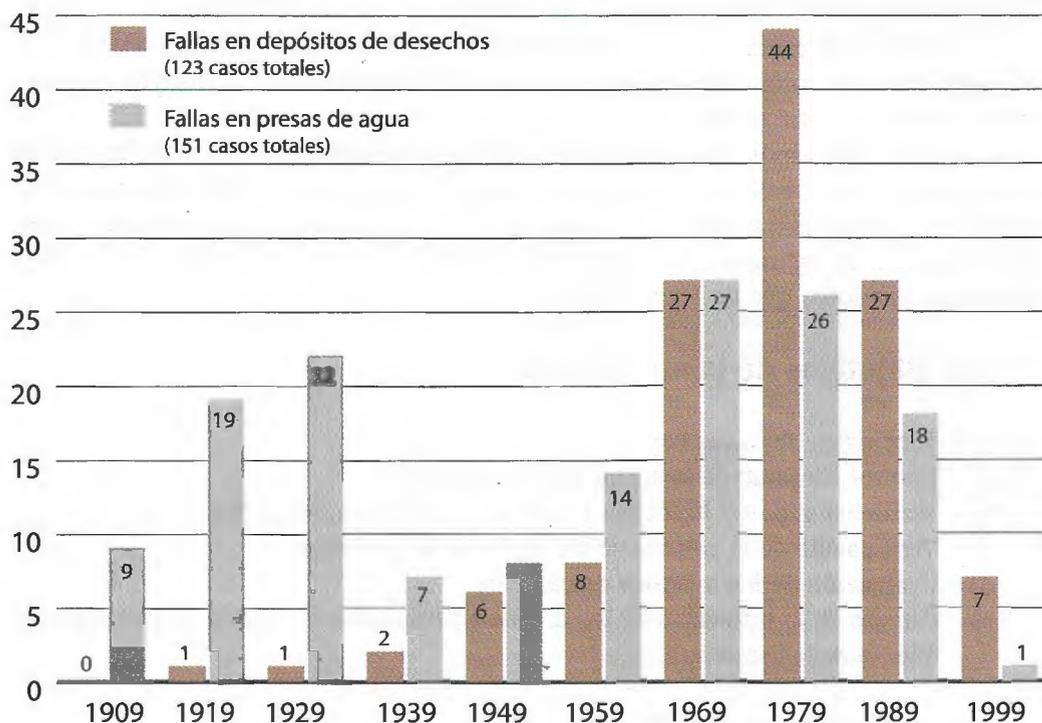


Figura 9.1. Fallas producidas en depósitos de desechos (presas de colas). Estadística del ICOLD.

CAPÍTULO ESCOMBRERAS MUNICIPALES

10

10.1. Generalidades

La disposición final de escombros y materiales de construcción en los predios urbanos es generalmente reglamentada por las autoridades municipales, quienes se encargan también del control de su cumplimiento.

Es necesario contar con una reglamentación clara y exhaustiva a fin de que quienes generan este tipo de residuos no tengan dudas de los procedimientos a seguir. A manera de ejemplo se transcribe la reglamentación vigente en la ciudad de Bogotá, Colombia.

10.2. Decreto 357/97 del Alcalde Mayor de Bogotá

CAPITULO 1

ARTICULO 1º- Para fines de este decreto se tendrán las siguientes definiciones:

Escombros: Todo residuo sólido sobrante de la actividad de la construcción, de la realización de obras civiles o de otras actividades conexas complementarias o análogas.

Materiales de construcción: Arenas, gravas, piedra, asfalto, concretos y agregados sueltos, de construcción ó demolición, capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación, ladrillo, cemento, acero, hierro, mallas, maderas, etc.

Estaciones de transferencia: Son los lugares en donde se hace el traslado de escombros de un vehículo recolector a otro, con mayor capacidad que los que transporta hasta su disposición final en las escombreras.

Escombrera del distrito: Es el lugar designado por el distrito para la disposición final de los materiales.

Operador de escombreras ó de estaciones de transferencia: Es la persona, comunidad, unión temporal o consorcio que celebra un contrato con el Distrito Capital con el objeto de administrar escombreras o estaciones de transferencia.

De las Normas de Conducta.

ARTICULO 2º- Está prohibido arrojar, ocupar, descargar o almacenar escombros y materiales de construcción en áreas de espacio público. Los generadores y transportadores de escombros y materiales de construcción serán responsables de su manejo, transporte y disposición final de acuerdo con lo establecido en el presente decreto.

Parágrafo 1º- Cuando se requiera la utilización temporal del espacio público para el almacenamiento de escombros o materiales de construcción o para adecuación, transformación o mantenimiento de obras, se deberá delimitar, señalizar y acordonar el área en forma que se facilite el paso peatonal ó el tránsito vehicular. Los escombros y materiales de construcción deberán estar apilados y totalmente cubiertos. El tiempo máximo permitido para el almacenamiento de escombros y materiales de construcción en el espacio público es de veinticuatro horas.

Parágrafo 2º Los vehículos no pueden arrastrar materiales fuera del área de trabajo o de los límites del inmueble.

ARTICULO 3º- Los vehículos destinados al transporte de los materiales de que trata el presente Decreto deberán ser adecuados y mantenidos de acuerdo con las siguientes especificaciones:

- a) El contenedor ó platón deberá estar en buen estado de mantenimiento, en forma tal que no haya lugar a derrames, pérdidas de material o escurrimiento de material húmedo durante el transporte. Las compuertas de descargo deberán estar herméticamente cerradas durante el transporte.
- b) La carga debe estar a ras del platón, siendo una obligación cubrirla con el fin de evitar la dispersión de la misma. El material de la cubierta ha de ser lo suficientemente fuerte y estar bien sujeto a las paredes exteriores del platón, de manera que impida la fuga del material que se transporta.
- c) En el evento de escape, pérdida o derrame de material en áreas del espacio público, éste deberá ser recogido inmediatamente por el transportador.
- d) El contenedor o platón podrá utilizar un par de tablas adheridas sobre sus lados más largos. Estas tablas no podrán aumentar en más de 30 cm. la altura de contenedor o platón.

ARTICULO 4º. El transporte de material en vehículos de tracción animal deberá cumplir con las mismas condiciones establecidas en el artículo anterior. En todo caso, éste quedará suspendido hasta cuando entren a operar plenamente las estaciones de transferencias.

ARTICULO 5º. La disposición final de los materiales a los que se refiere el presente Decreto deberá realizarse en las escombreras distritales, en las estaciones de transferencias debidamente autorizadas por el departamento técnico del medio ambiente o en los rellenos de obra autorizados por las autoridades.

ARTICULO 6º. Esta prohibido arrojar escombros en rellenos sanitarios.

CAPITULO II DE LAS ESCOMBRERAS Y ESTACIONES DE TRANSFERENCIAS

ARTICULO 7º- Las escombreros se localizarán preferiblemente en áreas cuyo paisaje se encuentre degradado, tales como minas y canteras abandonadas. La utilización de estas áreas debe contribuir a su restauración paisajística.

ARTICULO 8º. El Departamento técnico del medio ambiente exigirá un plan de manejo ambiental a los operadores de estaciones de trasferencias y de escombreras y entregará en cada caso los términos de referencia para la elaboración de ese plan.

ARTICULO 9º Las estaciones de transferencias y las escombreras podrán ser operadas directamente por la administración distrital o por un operador autorizado por esta.

ARTICULO 10ª Los operadores de las estaciones de transferencias y de las escombreras fijaran las tarifas y las cobrarán directamente al transportador. El pago de estas tarifas será la única retribución económica que reciba el operador.

CAPITULO III DE LAS SANCIONES Y DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS

ARTICULO 11º. La condición de infractores establece sin tener en cuenta su naturaleza jurídica.

ARTICULO 12º. Al establecerse que quien cometió la infracción tiene relación de subordinación o de contratación con otra persona natural o jurídica y que el hecho se realizó como consecuencia de dicha subordinación con contratación, la responsabilidad recae directamente sobre quien subordina o contrata.

ARTICULO 13º. La infracción a las normas determinadas en el presente Decreto dará lugar a las siguientes medidas preventivas y sancionatorias:

Medidas Preventivas:

- A. Amonestación verbal o escrita.
- B. Decomiso temporal de equipos utilizados para cometer la infracción.
- C. Realización por parte del infractor dentro de un tiempo perentorio de los estudios y evaluaciones requeridas para establecer la naturaleza, efectos e impactos de los daños causados por la infracción y de las medidas necesarias para mitigarlos o compensarlos.

ARTICULO 14º. El Director del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente reglamentará las multas e impondrá las medidas preventivas y las sanciones que trata este Decreto.

ARTICULO 15°. Cualquier autoridad o funcionario distrital que conozca de infracciones a lo dispuesto en este Decreto deberá, dentro de las veinticuatro horas siguientes, informar al Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente.

ARTICULO 16°. Cuando se verifique que el infractor ha reincidido en la conducta, habrá lugar a incrementar el valor de la multa hasta en las dos terceras partes.

CAPITULO IV DEL PROCEDIMIENTO

ARTICULO 17. Para la aplicación de las sanciones de que se trate en este Decreto se tendrán en cuenta los siguientes procedimientos.

Procedimiento en flagrancia.

- a) Cuando por parte de la autoridad de policía o ambiental se sorprenda a una persona infringiendo lo estipulado en este Decreto habrá lugar a que el funcionario diligencie el acta correspondiente identificando al infractor y las circunstancias de tiempo, modo y lugar de los hechos. Una vez tramitado el documento se hará firmar por la persona implicada y ante la renuencia de ésta se procederá a firmar por testigos.
- b) Del acta se correrá traslado a la Subdirección Jurídica del Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA) en un termino máximo de 24 horas para que este proyecte el acto administrativo correspondiente.
- c) En un termino de diez días hábiles se decidirá sobre la infracción mediante Resolución motivada que se notificará en los términos del Código contencioso.

Procedimiento ordinario.

- a) Una vez conocido el hecho de la infracción por parte de la autoridad de policía o ambiental se diligenciará un acta identificando al posible infractor y las circunstancias de tiempo, modo y lugar de los hechos. En la misma diligencia se le citará para la audiencia dentro de los 5 días hábiles siguientes.
- b) Una vez tramitado el documento se hará firmar por la persona implicada y ante la renuencia o ausencia de ésta se procederá a firmar por testigos.
- c) El Acta se habrá de trasladar a la Subdirección del DAMA dentro de las 24 horas siguientes para que ésta proceda a realizar la audiencia.
- d) En la audiencia se escucharán los descargos.

CAPÍTULO TRATAMIENTO DE RESIDUOS PETROLEROS

11

11.1. Legislación aplicada a la actividad hidrocarburífera

Se puede mencionar los siguientes antecedentes legales que regulan la actividad hidrocarburífera (tomada de la legislación de Ecuador):

- a) Constitución de la República. Establece la conservación de los ecosistemas y el derecho que tienen los ciudadanos a vivir en un ambiente sano.
- b) Convenios internacionales firmados entre EEUU y Ecuador.
- c) Convención firmada en Paris de protección del patrimonio mundial cultural y natural.
- d) Convenio sobre la diversidad biológica.
- e) Leyes nacionales.
 - 1- Ley forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre.
 - 2- Ley de Gestión Ambiental.
 - 3- Ley de Hidrocarburos.
 - 4- Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental
 - 5- Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas .
 - 6- Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en Ecuador.

11.2. Fuentes de generación de aguas residuales

En la explotación del petróleo se manejan grandes cantidades de aguas y lodos que vienen acompañando a los materiales hidrocarburíferos.

En la fase de explotación del petróleo las principales fuentes de generación de aguas residuales son:

1. Lodos de perforación.
2. Aguas de perforación.
3. Aguas residuales de los skim ponds.
4. Aguas negras y grises de los campamentos.
5. Lixiviados.

Especial atención merecen las aguas de formación que constituyen el mayor riesgo ambiental debido a las características fisicoquímicas. Estas aguas poseen altas concentraciones de cloruros con una salinidad que puede superar las 180.000 ppm.

En el caso que estas sean descargadas al ecosistema aledaño sensible, estas causarían un fuerte impacto ambiental, alterando el habitat acuático y terrestre en el área de influencia directa e indirecta. Además de la alta salinidad, las aguas de formación contienen sulfuros y sales de calcio, magnesio y manganeso. También contienen gases disueltos tales como dióxido de carbono, gas sulfídrico y dióxido de azufre, y otras sustancias contaminantes como metales pesados (bario, mercurio selenio, cadmio, cobalto, vanadio y plomo).

También, por su propia naturaleza, esta agua contiene residuos de hidrocarburos.

Una de las fuentes generadoras de importantes volúmenes de aguas negras y grises constituyen los campamentos para alojamiento del personal, cuyo caudal se incrementa proporcionalmente al incrementarse el número de personas.

11.3. Beneficios de la aplicación de tecnologías limpias

La aplicación de tecnologías limpias en el manejo de las aguas residuales de la explotación petrolera proporciona una serie de beneficios económicos, ambientales sociales y legales.

1. Beneficios económicos

Al reducir el volumen de consumo de agua, también se reduce el volumen de aguas residuales y por ende se reducen los costos de tratamiento del agua captada y el costo de tratamiento de las aguas residuales .

2. Beneficios ambientales

La aplicación de técnicas limpias en el desarrollo de las actividades hidrocarburiíferas en ecosistemas sensibles adquiere especial importancia debido a que ello implica la reducción de la carga contaminante en las aguas residuales y disminuye el riesgo de contaminar los cuerpos hídricos, de los cuales potencialmente podrían abastecerse comunidades de la zona.

3. Beneficios sociales

Un programa bien estructurado de tecnologías limpias en el manejo de las aguas residuales en la fase de la explotación petrolera contribuye notablemente a mejorar las relaciones de la industria petrolera con la comunidad, así como a proporcionar una adecuada imagen de la industria hacia la sociedad y el estado..

4. Beneficios legales

Los sistemas de control ambiental, en lugar de prevenir la contaminación están enfocados al cumplimiento y aseguramiento de disposiciones y ordenanzas orientadas a regular las descargas de los efluentes industriales contaminantes ,desde este punto la aplicación de tecnologías limpias a través de un plan de prevención de la contaminación ofrece beneficios legales como

- Mejor cumplimiento de las regulaciones ambientales.
- Evitar sanciones.
- Evitar posibles demandas legales por parte de los perjudicados.
- Evitar demandas por perjuicios y delitos ambientales.

11.4. Aplicación de tecnologías limpias

11.4.1. Aguas de formación

Utilizar químicos altamente biodegradables tales como demulsionantes, antiespumantes, floculantes /coagulantes, anticorrosivos y biocidas para minimizar la contaminación ambiental.

El 100% de las aguas de formación son reinyectadas a la formación original y de esa manera se evita la mezcla de aguas incompatibles y la posible formación de precipitados de carbonatos y sulfatos insolubles que potencialmente generarían el taponamiento de la formación y la consecuente reducción de la producción de petróleo y decrecimiento de la productividad del yacimiento.

11.4.2. Aguas de piscinas de separación

Los demulsionantes a ser utilizados en esta fase deben ser muy eficientes y además altamente biodegradables a fin de que se minimice la presencia de aceites y grasas, hidrocarburos totales, aromáticos policíclicos, que son muy proclives a presentar el riesgo de contaminación.

11.4.3. Aguas negras y grises de los campamentos

1. Uso de detergentes 100% biodegradables y que sus contenidos de fosfatos sean reducidos; de esta manera se minimiza el riesgo de eutrófosis, valido especialmente cuando los efluentes son descargados a esteros o cuerpos hídricos con poca captación del agua..
2. La dosis de detergente a ser agregado a la levadura debe ser solo aquella sugerida por el fabricante y evitar el excesivo uso de detergente.
3. Reunir la ropa del campamento y lavarla en un solo horario, para evitar lavadas discontinuas..
4. Instalar rejillas de desbaste grueso y fino en las aguas residuales del comedor.

Algunos ejemplos de instalaciones.



Fig. 11.1. Instalaciones de desechos petroleras



Fig. 11.2. Instalaciones de desechos petroleras

CAPÍTULO PUBLICACIONES CONSULTADAS

12

- 1) U.S.BUREAU OF MINES, 1977). Design Guides for Metal and Nonmetal Tailings Disposal. IC 8755.
- 2) ABADJIEV.S.G, 1976. Seepage through mill tailings dams. 12º Congreso de Grandes Presas, México, Vol. i Q.44.
- 3) AYALA GARCEDO y otros.1985. “Ábacos para calculo de estabilidad de minas a cielo abierto. Instituto Geológico y Minero de España.
- 4) BUREAU OF RECLAMATION. Diseño de presas pequeñas. México.
- 5) RICHTIE, A. M. 1965. “Estudio de las caídas de rocas y su control”. Bol. Inf. Lab. Transp. y M.S., nº 32, Madrid.
- 6) D.R.TESARIK y Mc WILLIAMS P.C; 1981. “Factor of Safety Charts for Estimating the Stability of Saturated and Unsaturated Tailings Ponds Embankments”. US BUREAU OF MINES.
- 7) DAWSON,R.F., N.R. MORGENSTERN and W.H. GU. Instability Mechanims Initiating Flow Failures in Mountainous Mine Waste Dumps. Contract D:S:S 2344-O-9198101-X8G. CANMET, November 1992.
- 8) Broughton,S.E. “Mined Rock and Overburden Piles; ReView and Evaluation of Failures”. British Columbia Ministry of Energy. 1992.
- 9) INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS.COMMITTEE ON MINE AND INDUSTRIAL TAILINGS DAMS.Tailings dams and environnement; Review and Recommendations. Bulletin 103.1996.
- 10) ICMM. Consejo Internacional de minería y metales.”Guía de buenas practicas para la minería y la biodiversidad”, Londres, 2006.





Impreso en el mes de Agosto de 2009 en LDM Editorial
Obispo Trejo 29 - Local 4 - Córdoba - Argentina
Tel./Fax: 0351-4251603
ldmgrafica@yahoo.com.ar - ldmgrafica@hotmail.com



ISBN 978-987-23291-1-2



9 789872 329112



**FUNDACION
EMPREMIN**

SECRETARIA DE MINERIA DE LA NACION
www.empremin.org.ar

ISBN: 978-987-23291-1-2