

MANEJO DE RESIDUOS SOLIDOS EN MINERIA *

Luis Enrique Sánchez

*Departamento de Engenharia de Minas
Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo*

1. INTRODUCCION

Las actividades mineras generan grandes cantidades de residuos sólidos, de los cuales los más importantes en términos de volumen son los estériles y desechos. Otros residuos sólidos en la industria minera son resultantes de pérdidas del proceso (como los productos de derrames en las usinas de beneficiamiento), residuos de las etapas posteriores al procesamiento de los minerales tales como escorias de fundición y el fosfoyeso resultante de la fa-

bricación de ácido fosfórico, embalajes de diversos tipos, chatarras, basura de oficinas, laboratorios y talleres, basura doméstica proveniente de comedores y alojamientos o villas residenciales, y otros tipos de residuos diferentes, desde tubos fluorescentes hasta escombros de construcción.

Todos estos residuos deben ser manipulados y tratados en forma adecuada desde la generación hasta su destino final. Dada la diversidad de residuos, ellos deben ser clasificados y manipulados separadamente de manera adecuada para cada tipo de residuo. Una práctica común en gran parte de las minas como la co-disposición de estériles y todos los otros tipos de residuos en una misma escombrera no se admite más sin que se pueda probar que ésta es la mejor forma de administrar el problema.

* Trabajo publicado en "Aspectos Geológicos de Protección Ambiental", Volumen I, UNESCO, 1995.

2. PRINCIPALES RESIDUOS SOLIDOS EN MINERIA

2.1. Estériles

Estéril de mina es todo material sin valor económico extraído para permitir la explotación del mineral útil. 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. La figura 1 representa una sección de un yacimiento de calcáreo de un tipo comúnmente encontrado en el grupo Açungui, en el sureste del Estado de São Paulo y nordeste del Estado de Paraná, con capas de decenas a centenas de metros de espesor, muy inclinadas e introducidas en esquistos, filitas o cuarcitas; la explotación a cielo abierto de ese yacimiento requiere la remoción de una determinada cantidad de roca encajante para permitir la mayor recuperación del mineral: en este caso las encajantes son los estériles. La figura 2 representa una sección típica de un yacimiento de calcáreo del grupo Bambuí, como ocurre en la región central de Brasil, con capas horizontales de calcáreos con diferentes tenores de calcio, magnesio y sílice; dependiendo del tipo de utilización económica del mineral, hay restricciones en cuanto a los tenores de esos elementos, por ejemplo, para la fabricación de cal se necesita calcáreo calcítico, con poco magnesio y poca sílice; para la fabricación de cemento es preciso una determinada cantidad de sílice; asimismo, parte del material no podrá ser aprovechado en el proceso industrial y deberá ser descartado, pero lo que es estéril en una mina podrá no serlo en otra: basta pensar en dos minas cercanas que comparten el mismo yacimiento, una produciendo mineral para la fabricación de cemento y la otra para la fabri-

cación de cal, aunque el mineral sea muy parecido, una deberá tener estéril magnesiano y la otra silicoso.

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. El concepto de tenor de corte, sin embargo, es geoeconómico. Lo que es estéril hoy podrá transformarse en mineral en pocos años porque cambiaron las condiciones del mercado, por ejemplo, o porque mejoras tecnológicas en la explotación redujeron los costos de extracción, o aún porque modificaciones en el proceso de beneficiamiento permiten la concentración económica de minerales con tenor más bajo. Un ejemplo típico de la transformación de estéril en mineral es dado por el caso del cobre, en que explotan yacimientos con tenores cada vez más bajos, alcanzando hoy, para las grandes minas a cielo abierto, tenores por debajo de 1%. Lo mismo sucede con el oro, donde hay minas con tenores medios de hasta 0,65 g/ton 0,65 ppm, como es el caso de la mina a cielo abierto de Paracatu, Minas Gerais, y uranio, como la mina de Caldas, Minas Gerais, cuyo tenor medio es de 1000 ppm o 0,1% y el tenor de corte es de 200 ppm o 0,02%.

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, pudiendo ser menor que 1 y alcanzar 20, 30 o todavía más. En el caso de la mina de uranio de Caldas, esta relación es de 16:1, lo que significa que para cada tonelada

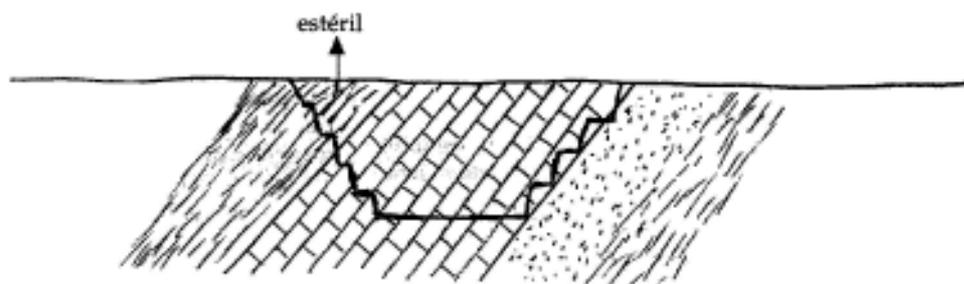


Figura 1 - Representación esquemática del perfil de una cava de calcáreo encajada en filitas y cuarcitas (estériles)

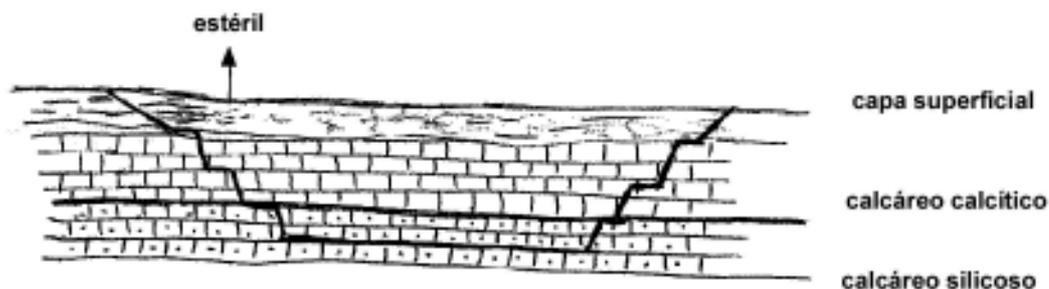


Figura 2 - Representación esquemática del perfil de una cava de calcáreo sedimentario donde las capas tienen diferentes composiciones químicas: dependiendo del uso de la minera, algunas capas pueden ser consideradas como estériles, así como el suelo de alteración, llamado capa superficial del yacimiento.

de mineral que alimenta la usina de beneficiamiento, se remueven de la mina 16 toneladas de estéril y deben ser dispuestas en algún lugar. Esto da una idea de la dimensión del problema de manejo de residuos sólidos en minería, pues las cantidades incluidas son muy grandes.

2.2. Desechos

El mineral que alimenta la usina de beneficiamiento posee un determinado tenor de mineral útil, estando compuesto por minerales útiles y minerales de ganga. En la usina este mineral es normalmente fragmentado para permitir la liberación del mineral útil y su separación de los minerales de ganga a través de procesos físicos, químicos o físico-químicos. Un ejemplo de proceso de separación física es la concentración gravimétrica de minerales pesados como oro, casiterita e ilmenita que, por ser más pesados que la mayoría de los minerales de ganga, son separados en función de la diferencia de densidad. Un ejemplo de proceso químico es la lixiviación de mineral de oro o de uranio, que son atacados por soluciones ácidas que disuelven los metales. Un ejemplo típico de proceso físico-químico es la flotación, en que reactivos químicos producen una espuma que reduce la tensión superficial y hacen flotar algunos minerales mientras que otros van al fondo en las celdas de flotación.

Desechos son todos los residuos sólidos de las operaciones de tratamiento de los minerales. Como la mayoría de los procesos de beneficiamiento son de vía húmeda, los desechos en general se presentan en forma de pulpa con una fracción sólida y una fracción acuosa conteniendo diferentes partículas minerales en suspensión y/o iones disueltos. Se define la recuperación como la relación entre la cantidad de mineral útil contenida en el concentrado (o sea, el producto de la usina de beneficiamiento) y la cantidad total de ese mineral contenida en el run of mine.

Como ningún proceso de concentración tiene una recuperación de 100%, los desechos siempre contienen determinado porcentaje de mineral útil que puede eventualmente ser recuperado en el futuro cuando una nueva tecnología permita su aprovechamiento o cuando cambien las condiciones de mercado. Por esa razón, muchos desechos se almacenan en lugares apropiados que posibiliten su beneficiamiento futuro. Pero, era común en el pasado muy remoto, que muchas empresas de minería simplemente descartaran los desechos arrojándolos en un río, por ejemplo.

Actualmente esa práctica no se acepta más por razones ambientales y los desechos deben ser dispuestos de manera adecuada.

Los desechos pueden tener las más diversas composiciones químicas y mineralógicas. Las

arcillas casi siempre asociadas a los depósitos de arena son desechos del proceso de beneficiamiento así como la pirita y otros sulfuros asociados al mineral de carbón. Los problemas ambientales a ser ecuacionados en un programa de manejo de desechos son por ende muy variados. Las arcillas pueden ser simplemente retenidas en cuencas de decantación, pero los sulfuros se oxidarán en contacto con el aire y el agua y generarán ácido sulfúrico, que a su vez solubilizará metales que estarán presentes en las aguas efluentes del sistema de disposición de desechos y podrán contaminar el curso de agua receptor. Por ejemplo, el cloruro de bario presente en los desechos de la mina de niobio de Araxá estaba contaminando el agua subterránea antes que fueran tomadas medidas correctivas.

2.3. Otros residuos sólidos

Diversos tipos de otros residuos sólidos son generados por las actividades de minería. Estos incluyen: ramas, hojas y otros materiales orgánicos provenientes de las actividades de remoción de la vegetación, basura doméstica, lodos de sistemas de tratamiento de efluentes líquidos y cloacales, chatarras, embalajes, lámparas quemadas, baterías, aceites usados, basura de oficinas y otros. Algunos de ellos pueden merecer cuidados especiales debido a sus características químicas, como las lámparas fluorescentes, que contienen mercurio, las baterías que contienen ácidos y plomo, embalajes de tintas y solventes, que contienen compuestos orgánicos, transformadores eléctricos, que pueden contener ascarel, y embalajes de reactivos.

Los residuos sólidos se conceptúan como «residuos en los estados sólido y semi-sólido, que resultan de actividades de la comunidad de origen: industrial, doméstico, hospitalario, comercial, agrícola, de servicios y de barrido. Están incluidos en esta definición los lodos provenientes de sistemas de tratamiento de agua, los generados en equipos e instalaciones de sistemas de control de contaminación, así como determinados líquidos cuyas particularidades hagan inviable su vertido en la red pública de saneamiento o cuerpos de agua, o exijan para ello soluciones técnicas y económicamente inviables delante de una mejor tecnología disponible». (ABNT, norma técnica NBR 10004).

Las normas brasileñas clasifican los residuos sólidos según su potencial de riesgo a la salud y a la calidad ambiental. Las clases definidas

por la norma NBR 10004 son mostradas en el cuadro 1.

Cuadro 1 - Clases de residuos sólidos

Clase I - residuos peligrosos
los que presentan peligrosidad o son inflamables, corrosivos, reactivos, tóxicos o patogénicos
Clase II - residuos no inertes
los que no se encuadran en las clases I o III
Clase III - residuos inertes
los que, sometidos a la prueba de solubilización, no tengan ninguno de sus constituyentes solubilizados en concentraciones superiores a los patrones definidos en el listado 8

Fuente: ABNT (1987), NBR 10004

Los residuos inertes pueden disponerse, prácticamente sin problemas ambientales, por ejemplo junto con los estériles. Ya los de la clase II pueden requerir un tratamiento especial, mientras que los peligrosos deben ser manipulados con cuidado y dispuestos de acuerdo con normas muy estrictas, usualmente en rellenos especialmente contruidos para esos fines y operados por empresas especializadas que naturalmente cobran por el servicio. (El costo actualmente está en la faja de 100 a 500 dólares por tonelada).

Los aceites usados y los residuos aceitosos captados en sistemas de separación agua/aceite deben encaminarse a empresas especializadas en su tratamiento y re-refinación. Los residuos de las operaciones de deforestación pueden ser aprovechados con materia orgánica y cobertura muerta en las actividades de revegetación. Ya la basura «doméstica» y la de oficina debe ser recogida separadamente pues muchas cosas pueden ser nuevamente aprovechadas o recicladas. La parte orgánica también puede ser aprovechada para elaborar compost orgánico y empleada en los trabajos de revegetación, el

papel y los plásticos pueden ser vendidos a empresas de reciclado.

3. METODOS DE MANEJO DE RESIDUOS

Las prácticas actuales de manejo de residuos sólidos en la industria apuntan hacia dos direcciones: por un lado la minimización y el reaprovechamiento de residuos, por otro el tratamiento y la disposición final. La minimización y el reaprovechamiento de residuos es una actividad hasta cierto punto constante en minería. Siempre hubo interés en minimizar la relación estéril/mineral por razones de costo, de la misma manera que las principales empresas normalmente mantienen una búsqueda constante tratando de aumentar la recuperación de mineral en el proceso de beneficiamiento. El reaprovechamiento de residuos se efectúa ya por la eventual recuperación de los depósitos de desechos. Modernamente, como consecuencia de presiones ambientales, algunas empresas de minería están procurando alternativas de utilización de residuos, como es el caso del fosfoyeso de Serrana de Cajati, São Paulo, que no tenía utilización; pero con el desarrollo de un proceso tecnológico y de empleo de técnicas mercadológicas hoy se consigue comerciar ese material.

Algunas técnicas de tratamiento de residuos empleadas por otros sectores industriales tienen utilización nula o muy restringida en minería, como es el caso de la incineración. El método más común de manejo de residuos sólidos en minería es la disposición controlada.

3.1. 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. Una manera interesante de manejo de estériles es utilizarlos para construir diques o rellenos, pues no sólo el volumen a disponerse en otro lugar es reducido sino también se disminuye la necesidad de préstamo para esas obras.

Tradicionalmente los estériles se disponen en escombreras que, como el propio nombre indica, son lugares donde se tira algo. Este concepto de disposición de estériles se encuentra en muchas minas en que ellos son arrojados en valles o en laderas transformándose en escombreras potencialmente inestables, sujetas a formación de surcos y erosión acelerada y pudiendo causar eventualmente la contaminación química de las aguas superficiales y subterráneas. Este último caso puede ser observado por ejemplo en las escombreras de la mina de uranio de Poços de Caldas, constituidas sobre nacientes: el agua que drena de la escombrera es ácida y debe ser recogida al pie del talud y bombeada hacia una estación de tratamiento.

Escombreras constituidas de esa manera muchas veces causan perjuicios aguas abajo, como la turbidez de las aguas y su recuperación es en general más cara que la construcción de una pila adecuada. Hay inclusive casos de escombreras constituidas al lado de la mina, con formación intensa de surcos con erosión y riesgo de movimiento de masa hacia adentro de la propia cava!

Las pilas de estériles controladas son otro concepto: en ellas el material va siendo dispuesto de forma ordenada de abajo hacia arriba, con fajas intermedias drenantes y taludes de inclinación adecuada para permitir la revegetación y de esta forma reducir los riesgos de erosión y de ruptura de la pila; en las fajas se instalan sistemas de drenaje que recogen las aguas de lluvia y las conducen hacia cotas inferiores. La figura 3 representa una pila de estériles debidamente proyectada.

■ ■

3.2. Disposición de desechos

Los desechos pueden ser objeto de disposición superficial, subterránea o subacuática. Este último método ha sido a vía de ejemplo condenado por razones ambientales debido a los impactos negativos que provoca a los ecosistemas acuáticos. Este fue el caso de la mina de bauxita de Trombetas, de la empresa Mineração Rio do Norte (MRN), en Oriximiná, Estado de Pará, que durante muchos años arrojó los desechos del beneficiamiento en el lago Batata, causando innumerables daños ecológicos. Después de casi diez años de operación la empresa paralizó el vertido en el lago, pero para ello tuvo que cambiar la localización de la usina de

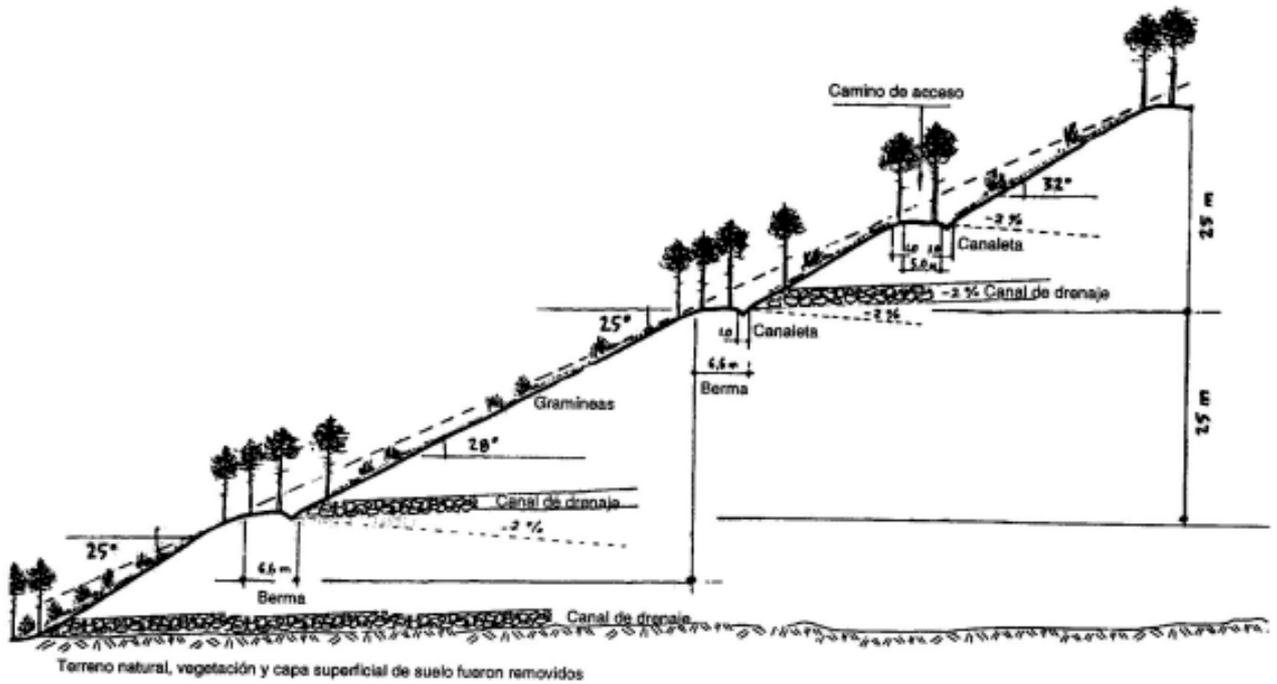


Figura 3 - Sección esquemática de una pila de estériles

beneficiamiento, a un alto costo.

La disposición subterránea sólo puede hacerse, obviamente, en minas subterráneas, donde la pulpa de los desechos puede ser enviada de vuelta por bombeo o gravedad. Algunos métodos de explotación subterránea exigen inclusive que los vacíos sean llenados con material competente, lo que indica un buen potencial de disposición subterránea en este caso.

Es más común la disposición a cielo abierto, que puede hacerse esencialmente de tres formas: en cuencas de desecho, en pilas controladas o en la mina. Esta última forma es actualmente empleada por la MRN, que emplea el método de explotación en tiras, reservando algunos paneles para la disposición de los desechos. En la mina de carbón de la Copelmi, en Rio Grande do Sul, que también emplea el método de explotación en tiras, los desechos se colocan entre capas de estéril en los paneles ya explotados (Bugin y Costa, 1989). Ya en la mina de caolín de la ECC en Moji das Cruzes, São Paulo, emplea otra técnica de disposición en cava: allí el desmonte es hidráulico, formando una cava de cerca de 20 metros de profundidad y pocas centenas de metros de largo y

ancho; en un sector ya explotado se construyó una represa y la pulpa de desechos es arrojada en la cuenca así formada. Este método también es empleado en minas de arena industrial en el interior del Estado de São Paulo.

El método más difundido, sin embargo, es el de la disposición en cuencas formadas por represas de desechos. Las represas son generalmente construidas en valles y pueden ser de dos tipos principales: de tierra y de relleno hidráulico. Las represas de tierra se construyen con material de préstamo, eventualmente con el estéril de la mina, mientras que las de relleno hidráulico son hechas con los mismos desechos, siempre que ellos presenten condiciones adecuadas para eso.

3.2.1. Métodos constructivos de represas de desechos

Cuando la pulpa de desechos presenta una fracción arenosa es posible utilizarla como material de construcción de la represa. En este caso, es preciso separar la arena de las fracciones granulométricas más finas, lo que puede hacerse con hidrociclones. Las arenas pueden ser utilizadas como material estructural del cuerpo

del dique en tres métodos diferentes, de aguas arriba, de aguas abajo y de la línea de centro.

Estos métodos son mostrados en la figura 4. Las represas van siendo construidas paulatinamente y elevadas conforme la cantidad de desecho a ser almacenada. En todos los casos existe un dique inicial a partir del cual el cuerpo de la represa va siendo ampliado y su cima elevada. En el método de aguas arriba los diques subsiguientes son construidos sobre la cuenca de desechos. El lanzamiento de la pulpa se hace a partir de la cima de la represa por picos lanzadores llamados «spigots»; como esa pulpa tiene distribución granulométrica en varias fajas, las partículas más gruesas sedimentarán más rápidamente, mientras que las partículas finas permanecerán en suspensión en el agua y serán transportadas hacia la extremidad distal de la cuenca y solamente allí decantarán. Se forma así una playa de arena en la porción proximal, observándose una gradación granulométrica decreciente hasta la lámina de agua, que contendrá partículas finas en suspensión. Como consecuencia de este proceso, la represa va tomando altura sobre sedimentos gruesos y no sobre arcillas y sílices saturados de agua, lo que podría resultar peligroso para la estabilidad de la estructura.

En el método de aguas abajo, la represa va avanzando aguas abajo a medida que toma altura. En este esquema hay dos diques iniciales, uno para contención de los desechos y otro de pie, construido al pie del futuro talud final aguas abajo de la represa. Entre los dos puede construirse un tapete drenante con la finalidad de rebajar el nivel de agua en el cuerpo de la futura represa. El material de construcción puede ser compactado, resultando así una represa con excelentes condiciones de estabilidad a largo plazo, lo que no sucede con las represas aguas arriba, pues puede resultar peligroso compactar el material de los diques sobre un substrato de finos saturados.

Una variante del método de aguas abajo es el de la línea de centro, llamado así porque el eje de la represa es mantenido en la misma posición mientras que ella es elevada. También en este caso hay un dique inicial impermeable y uno de pie, filtrante. El material puede ser compactado sin peligro. Una ventaja significativa del método de aguas arriba es el de necesitar poca cantidad de material, ya que no siempre se dispone de una cantidad suficiente de fracción gruesa para construir una represa por el método de aguas abajo o por el de la línea de

centro. Además, estos dos métodos requieren un área significativamente mayor que la del método de aguas arriba, y no siempre esta área está disponible. El método de aguas arriba, por otra parte, puede tener el talud de aguas abajo con nueva vegetación a medida que fuere elevado, lo que no sucede con los otros métodos, en donde el talud sólo puede tener una nueva vegetación al final de la construcción. Este puede ser un factor importante cuando los desechos son finos pues al secarse podrán ser transportados por arrastre eólico, con contaminación del aire. El cuadro 2 sintetiza las principales ventajas y desventajas de cada método.

La figura 5 muestra una sección típica de una represa de tierra. Estas represas están constituidas por una fundación, un talud aguas arriba (que quedará en contacto con los desechos), un talud aguas abajo, la cima y un filtro, que tiene por finalidad drenar el agua del interior del macizo de tierra manteniéndolo seco. Tales represas pueden también ser construidas en etapas, siendo ampliadas a medida que el volumen de desechos para almacenar vaya creciendo.

Todas las represas deben disponer de un sistema de vertedero, cuya función es la de transportar aguas abajo las aguas que convergen en la cuenca de desechos, provengan ellas de lluvias, de infiltración subterránea o de escurrimiento superficial. En modo diferente que en una represa convencional, estos vertederos no siempre tendrán un funcionamiento continuo, pues muchas cuencas de desechos son también utilizadas como reservorios de agua industrial, que es recirculada al proceso, de modo que es común la situación en que sólo hay derramamiento cuando llueve continuamente.

Hay también diversos tipos de sistemas de vertederos. Los principales empleados en represas de desechos son los siguientes:

(1) vertedero de superficie, construido normalmente en uno de los lados de la represa; está compuesto por un canal excavado en suelo o roca, eventualmente revestido y que debe ser dimensionado para una creciente milenaria o decamilenaria; debe ser concebido para ser operativo en las fases de operación y abandono de la represa.

(2) conjunto galería de fondo/galería de ladera: una galería de fondo se construye en la fundación de la represa con secciones de hormigón armado o de metal; el agua es recogida por una

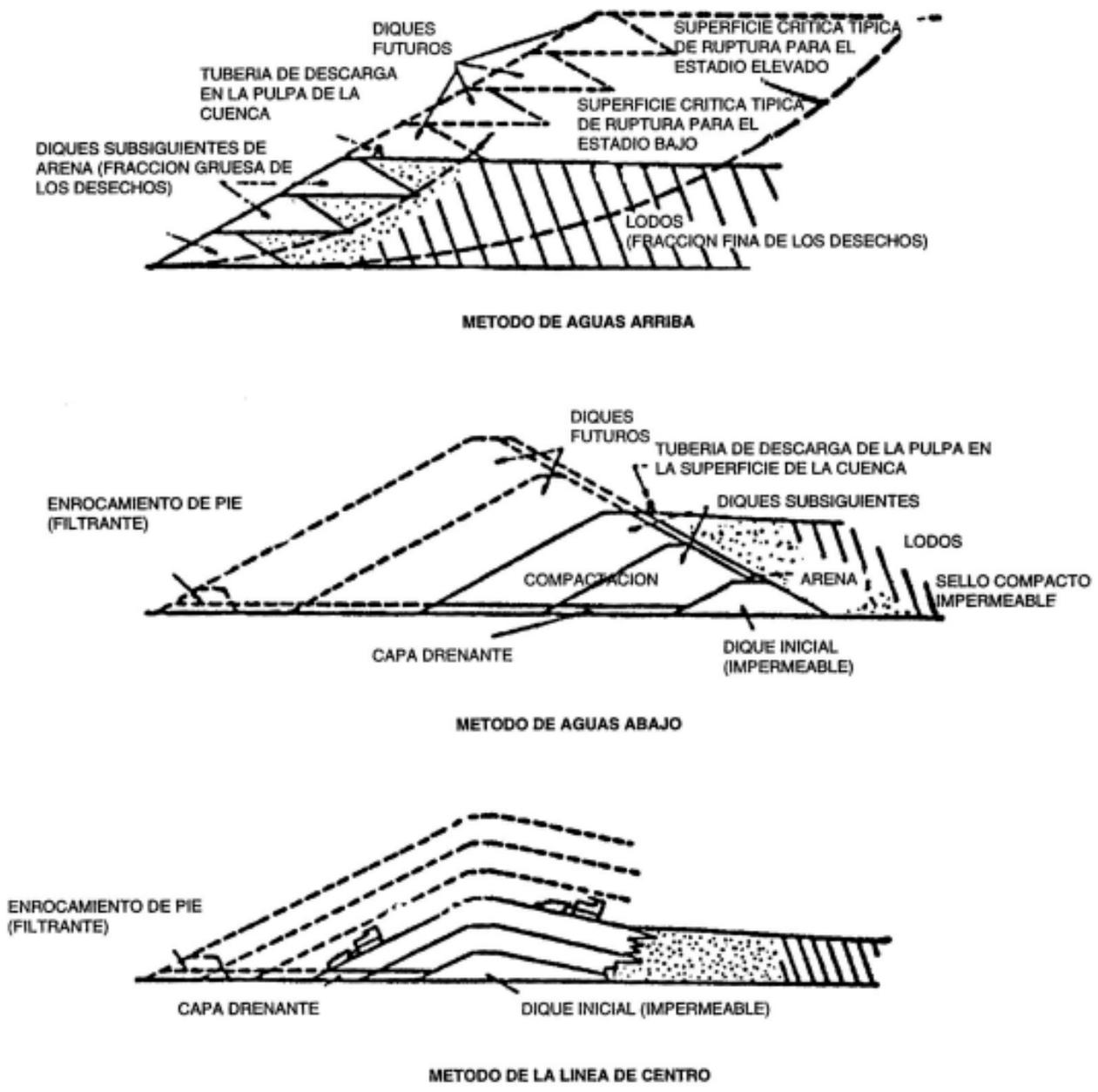


Figura 4 - Métodos constructivos de represas de desechos



Figura 5 - Sección típica de presa de tierra

galería de ladera construida sobre la superficie natural del terreno donde serán almacenados los desechos, de forma de quedar suficientemente distante del cuerpo de la presa y del punto de lanzamiento de la pulpa de modo de recoger agua clarificada; la galería de ladera va siendo ampliada a medida que la cota de llenado va subiendo.

(3) conjunto galería de fondo/vertedero tipo tulipa: en vez de la galería de ladera, se construye en el área de la cuenca una torre cuya cima se sitúa exactamente en la superficie de la lámina de agua, por donde el agua clarificada fluirá hasta la galería de fondo.

(4) conjunto túnel/vertedero tipo tulipa: al contrario de la galería de fondo, el agua deja el área de la cuenca a través de un túnel excavado en una de las entradas de la presa.

(5) bomba flotante: el agua clarificada es bombeada; es un sistema válido solamente durante la operación de la presa o de la mina, pues en la fase de abandono la estructura debe ser estable de forma auto-sustentable; trae también problemas en caso de lluvias muy intensas, por eso debe ser utilizada en conjunto con un vertedero de superficie que garantizará el desagüe.

El cuadro 3 muestra algunas ventajas y desventajas de los tres primeros sistemas de vertederos. El esquema galería de fondo/galería

de ladera se utiliza en algunas represas brasileñas de desechos y ya presentó problemas durante la misma fase de operación. En un caso inclusive, hubo serios riesgos de ruptura de la presa. El vertedero de superficie es sin duda el más seguro y el único que puede operar indefinidamente casi sin exigencia de acompañamiento o mantenimiento.

3.2.2. Pilas controladas

Pilas controladas son sistemas de disposición de desechos en que a la pulpa se le extrae el agua y la fracción sólida es almacenada en pilas similares a las de los estériles. Además de la extracción del agua es necesario promover la separación por lo menos de parte de la fracción arcillosa a fin de asegurar la estabilidad a largo plazo de la pila. Por ello, muchas veces la pila controlada debe ser utilizada en conjunto con otro sistema para disposición de los finos, usualmente una presa de desechos o, más precisamente en este caso, una presa de lodo.

Los principales componentes de una pila controlada son: dique de partida, tapete drenante perimetral y drenos internos, sistema de drenaje superficial y canaleta de desvío perimetral en la cima de la pila en el caso en que ella sea implantada en una ladera. Las pilas de desechos presentan ventajas ambientales significativas, la más importante de ellas es sin duda la no interferencia con la red de drenaje, además de hacer innecesario un sistema de vertedero.

Una desventaja es que la fracción fina no puede ser almacenada de esa forma, pues el porcentaje de agua es muy alto. Es un método poco difundido todavía y desconocido por la mayoría de los profesionales del área y por esa razón poco empleado.

3.2.3. Diques perimetrales

En este método los desechos se disponen en cuencas formadas por diques perimetrales, que siempre deben disponer de un sistema de veredero de agua y su tratamiento posterior, que puede ser la simple decantación si el objetivo fuere solamente el de clarificar el agua.

En las llamadas pilas adensadas (Robinsky, 1975; Barbour et al., 1993) la pulpa de desecho pasa por un canal antes de ser arrojada en cuencas donde podrá formar conos de pocos grados de inclinación. Las cuencas están delimitadas por diques de contención y sistemas perimetrales de drenaje hacia donde converge el agua de percolación de los diques, así como el agua residual de la pulpa de desechos.

La gran ventaja de este método es que no es necesario construir represas, que siempre in-

terfieren con la red de drenaje y alteran significativamente las condiciones ambientales del lugar de su implantación. La disponibilidad de terrenos en condiciones topográficas adecuadas, o sea, interfluvios con laderas de baja inclinación, puede ser un factor limitante.

BIBLIOGRAFIA

BARBOUR, S. L. Et al. 1993. Aspects of environmental protection provided by thickened tailing disposal. En: Bawden. W. F. Y Archibald, J. F. (eds.) *Innovative mine design for the 21st century*. 725-736, Balkema, Rotterdam.

BUGIN, A., COSTA, J. F. 1989. Recuperacao de áreas con mineracao de carvao. *Brasil Mineral*. 71-54-60.

ROBINSKY, E. I. 1975. Thickened discharge, a new approach to tailing disposal. *CIM Bulletin*. 68: 47-53.

Cuadro 2 - Métodos constructivos de repesas de desechos

	Método de aguas arriba	Método de aguas abajo	Método de la línea de centro
Características generales	<ul style="list-style-type: none"> - el método más antiguo y todavía el más empleado - lanzamiento a partir de la cima por <i>spigots</i> (las fracciones gruesas se depositan junto al cuerpo) / también se puede usar hidrociclones 	<ul style="list-style-type: none"> - dique inicial impermeable y represa de pie - separación de los desechos en la cima del dique por medio de hidrociclones 	<ul style="list-style-type: none"> - variación del método de aguas abajo
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - menor costo - mayor velocidad de elevación 	<ul style="list-style-type: none"> - mayor seguridad - posibilidad de compactación de todo el cuerpo de la represa 	<ul style="list-style-type: none"> - reducción del volumen de <i>underflow</i> necesario con relación al método de aguas abajo
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - mayor probabilidad de problemas de inestabilidad debido : - a la presencia de finos no compactados junto al cuerpo de la represa; - a la baja compacidad del material 	<ul style="list-style-type: none"> - necesidad de grandes cantidades de <i>underflow</i> (problemas en las primeras etapas) - dislocación constante del talud de aguas abajo (la revegetación sólo puede ser hecha al final) 	<ul style="list-style-type: none"> - puede ser necesario extender los trabajos de compactación aguas arriba del eje de la represa

Cuadro 3 Sistemas de vertederos en represas de desechos

	Galería de fondo	Vertedero de superficie	Túnel
Características generales	<ul style="list-style-type: none"> - construida en la fundación de la represa - captación en torres o galerías de ladera localizadas en puntos del reservorio donde el agua se presenta permanentemente clarificada 	<ul style="list-style-type: none"> - canal excavado en el lado de la represa 	<ul style="list-style-type: none"> - excavado en el lado de la represa
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - posiblemente presente un costo menor 	<ul style="list-style-type: none"> - riesgo mínimo 	<ul style="list-style-type: none"> - captación en torres o galerías de vertiente
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - riesgo de hundimiento de las fundaciones pudiendo comprometer el funcionamiento y la propia estabilidad de la represa en lugares de gran inclinación, la velocidad del agua puede provocar erosión por cavitación en las galerías de la vertiente 	<ul style="list-style-type: none"> - deben ser construidos nuevos vertederos a medida que la represa va tomando altura 	<ul style="list-style-type: none"> - estabilidad mecánica - posibilidad de ocurrencia de cargas muy altas en la boca del túnel