Juan Herrera Herbert

La gestión del agua en minería: abastecimiento a operaciones y drenaje de mina

Madrid - 2022

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Minas y Energía

www.minasyenergia.upm.es

La gestión del agua en minería: abastecimiento a operaciones y drenaje de mina

Autor: Juan Herrera Herbert (juan.herrera@upm.es).

ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de las incidencias en los costes de explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.

Foto de portada: Tratamiento dinamico o pasivo de drenajes acido de mina en el cierre de operaciones mineras subterraneas - 2022 (https://www.srk.com)

Copyright © 2022. Todos los derechos reservados

Universidad Politécnica de Madrid
Departamento de Ingeniería Geológica y Minera
Laboratorio de Tecnologías Mineras

Calle Rios Rosas 21
28003 Madrid (España)

Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner. Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.

Estructura del bloque temático

1. Problemática general del agua en la minería.
2. Enfoques y principios generales para la gestión eficaz de aguas de mina.
3. Estudios de drenaje.
4. Técnicas de drenaje y desagüe de aguas superficiales en las explotaciones mineras.
5. Gestión de aguas en minería de interior.
6. Gestión de aguas de filtración y escorrentías de escombreras y presas de residuos.
7. Suministro de agua potable e industrial.
8. Tratamientos del agua.
    a. Depuración y regeneración hídrica.
    b. Sistemas pasivos de regeneración hídrica.
9. Selección de bombas.
10. Gestión de aguas en la restauración ambiental de explotaciones mineras.

1

Problemática general del agua en la minería

Consideraciones derivadas de la presencia del agua

- La minería está estrechamente ligada al agua:
  - Como problema a evitar, disminuir o corregir
  - Como necesidad de utilización del recurso para su aprovechamiento en la propia mina o fuera de ella

- El agua requiere:
  - El adecuado enfoque y
  - La correcta gestión

- Todo ello fundamentado en estudios hidrológicos e hidrogeológicos:
  - Suficientemente detallados,
  - Desarrollados desde el propio inicio del proyecto
  - Destinados a permitir la gestión correcta de la presencia del agua.
  - Encaminados al dimensionamiento y construcción de las infraestructuras de captación y conducción.

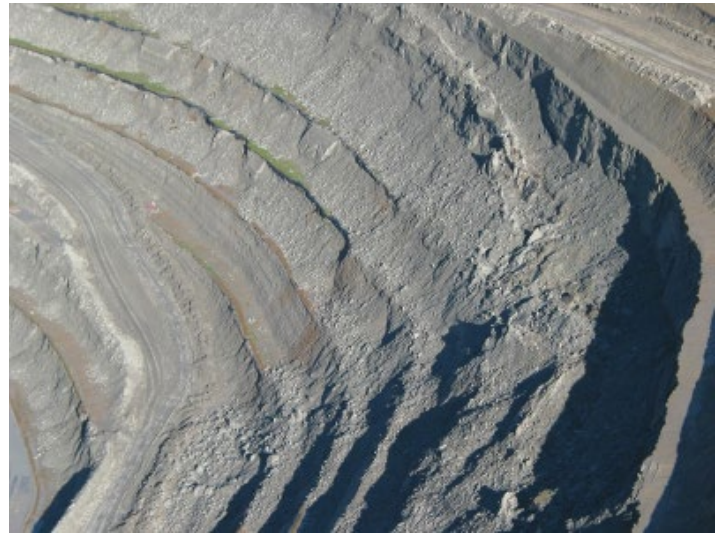
Objetivos de la correcta gestión del agua

- Conocer la problemática que supone la presencia de agua en los macizos rocosos.
- Comprender cómo la minería es una actividad intensiva en el consumo de agua.
- Conocer los distintos contextos en los que debe analizarse la problemática del agua.
- Conocer la sistemática con la que se aborda un problema de drenaje:
  - Entender qué es y porqué se realizan los estudios de drenaje.
  - Conocer los factores a tener en cuenta en un estudio de drenaje.
  - Conocer en qué consisten los estudios de drenaje.

- Conocer la problemática del abastecimiento de agua potable e industrial.
- Conocer la problemática de la gestión de vertidos.
- Conocer la trascendencia del agua en la restauración y remediación posterior de los emplazamientos.

Antigua mina de Cobre Las Cruces

Antigua mina de Cobre Las Cruces

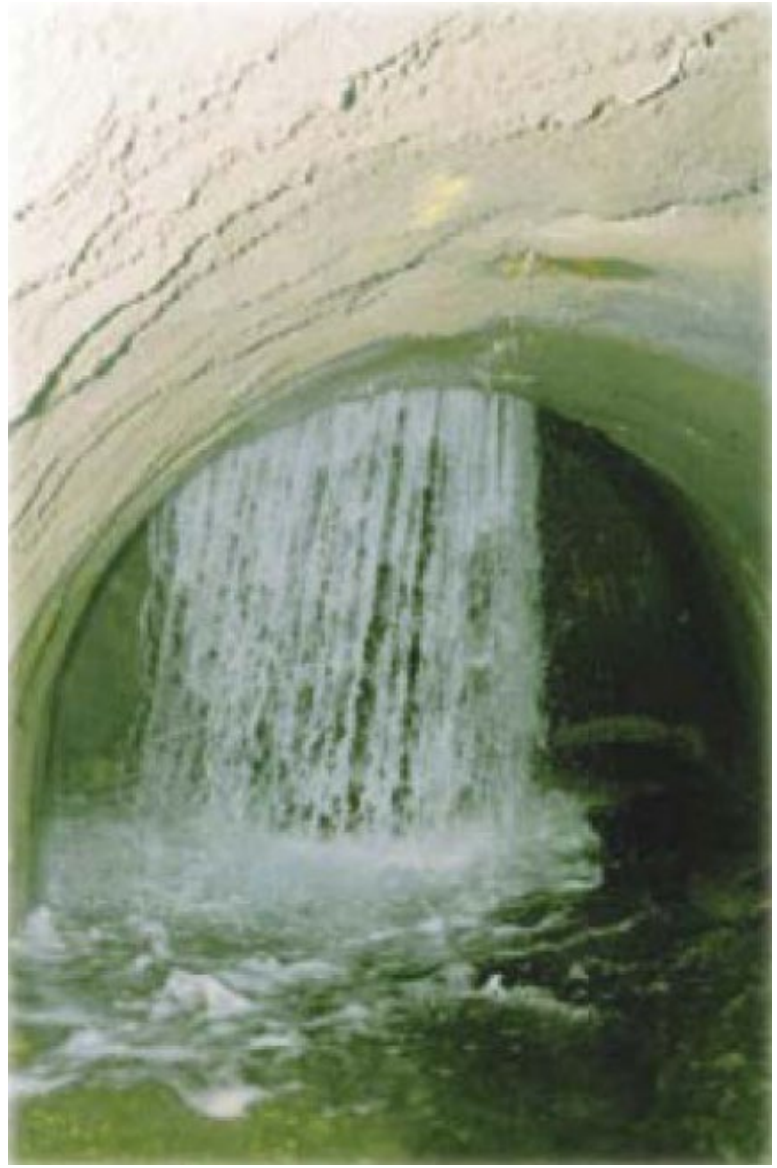


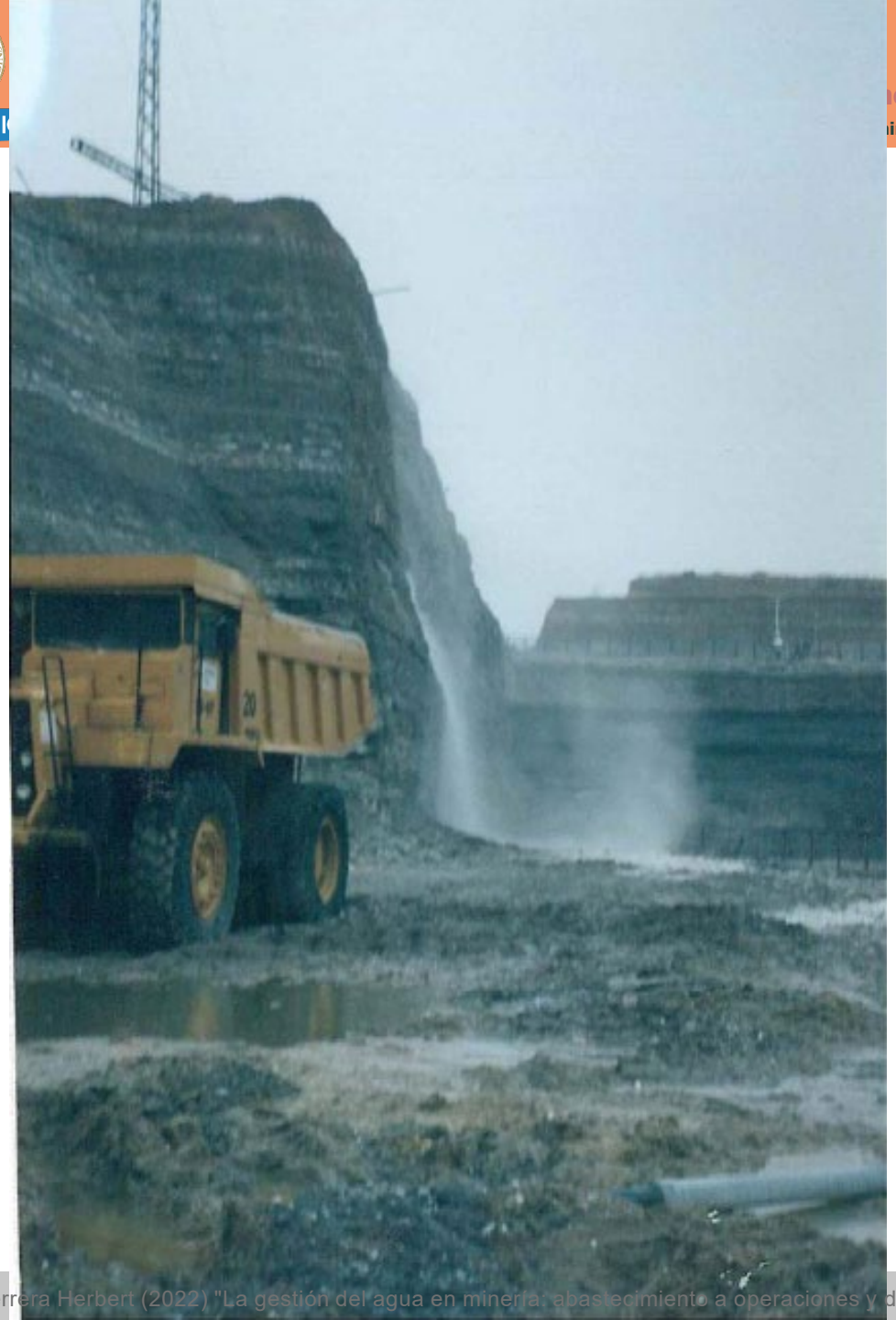
Antigua mina de
Cobre Las Cruces

Antigua mina de Los Frailes (Aznalcollar, Sevilla)

Antigua mina de Alquife
(Guadix, Granada)

Con carácter general, un diseño deficiente o una mala gestión del drenaje pueden entorpecer las labores mineras, encarecen la explotación e incluso pueden llevar a la suspensión de la explotación minera en sí.





Mina de Belorado (Burgos)

Problemática originada por la presencia de agua

- Reducción de la estabilidad de los taludes de excavación y terraplén
- Reducción de los rendimientos de las unidades de carga y transporte
- Incremento de los costes de mantenimiento
- Incremento de la rotación de neumáticos
- Incremento de los costes y plazos para la ejecución de voladuras
- Aumento del peso específico del material y variación de sus características físicas.
    - Ejemplo: una roca con una densidad de 2,1 t/m^3 en seco y con una porosidad del 13%
    - En saturación, pesará un 6,2% más.

- Drástica reducción en los rendimientos de las cribas
- Incremento de los atascos en la trituración
- Mayor consumo de energía de tratamiento.
- Generación de aguas ácidas (ARD [Acid Rock Drainage] o "Drenaje Ácido de Rocas")
- Incremento del deterioro de túneles y obras subterráneas
- Reducción de la vida útil de obras e instalaciones subterráneas.
- Producción de daños en las instalaciones y necesidad de empleo de costosos equipos de control y evacuación.
- Aumento de la siniestralidad y de las enfermedades profesionales.
- Aumento en el coste del drenaje y desagüe

Beneficios obtenidos por la presencia de agua en los macizos

- En algunos países y zonas remotas, suministro a poblaciones cercanas, previa depuración y tratamiento.
- Aprovechamiento en las plantas de concentración, estación de lavado, riego de pistas, reforestaciones, jardines y otras actividades.
- Extracción de materias solubles minerales que por un proceso de disolución se han incorporado a las aguas.

2

Enfoques y principios generales para la gestión eficaz de aguas de mina

Principios de la gestión de aguas de mina

- Estructura general de un sistema de gestión de aguas en una mina:
  - Clasificación y fuentes (puntos de generación) de tipos de aguas.
  - Planteamiento del sistema de gestión de aguas de mina:
    - Gestión de aguas contaminadas de alto riesgo.
    - Gestión de aguas contaminadas de bajo riesgo
    - Gestión de aguas no contaminadas

- Gestión de aguas de mina:
  - Técnicas de captación y achique
  - Diseño de un sistema de sumideros / bombeo de aguas de mina
  - Impactos y mitigación de aguas de mina
  - Calidad de las aguas de mina:
    - Química del agua
    - Temperatura del agua
  - Cantidad y calidad de las aguas de mina después de la etapa de cierre

Principios de la gestión de aguas de mina

- Filtración de escombrera de mina y aguas de escorrentía:
  - Filtración y drenaje de escombrera.
  - Escorrentía superficial de una escombrera
  - Cierre y restauración

- Gestión de aguas superficiales:
  - Selección y evaluación de los eventos de tormentas para el diseño de los sistemas de gestión de aguas.
  - Metodología para la estimación de los índices de escorrentía.
  - Cálculo de los índices de escorrentía
  - Distribución y diseño de los canales de drenaje
  - Cálculo del flujo de los canales abiertos
  - Control de sedimentación y erosión

- Suministro de agua potable e industrial
  - Abastecimiento de agua industrial
  - Gestión de aguas industriales usadas
  - Abastecimiento de agua potable, sistemas contraincendios y sistemas de alcantarillado

Principios de la gestión de aguas de mina

- Balance de agua en la ubicación de la mina:
  - Panorámica general del consumo de agua
  - Consideraciones del balance de agua
  - Criterios de diseño de los principales elementos para la gestión de las aguas

- Tratamiento del agua:
  - Calidad/es estimada/s del agua antes de su entrada al tratamiento
  - Tecnologías para el tratamiento de las aguas
  - Descarga de efluentes. Autorizaciones de vertido.

- Monitorización del sistema de gestión de aguas de mina:
  - Monitorización de las aguas subterráneas.
  - Monitorización de las aguas superficiales.

3

Estudios de drenaje

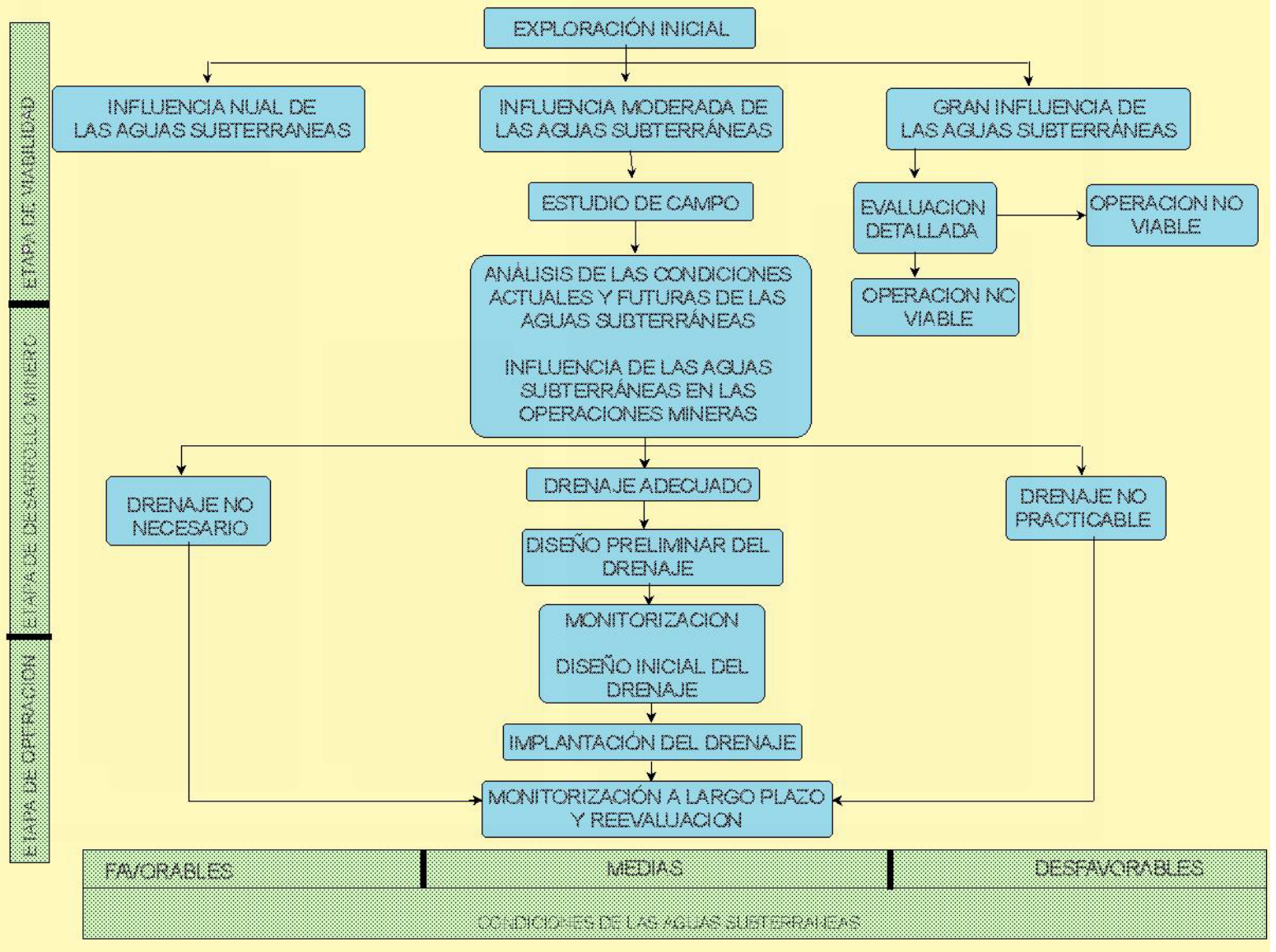
Enfoque actual

- El control y la gestión de las aguas de mina permiten **evitar impactos adversos** sobre el medio acuático y el entorno de la mina en general, que a su vez constituyan un significativo impacto sobre todos los recursos de agua de la zona del emplazamiento, sus usos, tratamiento y descargas en las cercanías de los emplazamientos de las minas.

- Un sistema de gestión eficaz incluye el uso simultaneo de **tecnologías eficaces y probadas, así como de buenas prácticas,** todo ello encaminado a reducir y mitigar impactos adversos y, en lo posible, evitándolos.

- También se diseña para **minimizar el uso del agua en la actividad minera** y asegurar la estanqueidad frente a fugas de aguas contaminadas y su descarga al entorno.

- Con ello se asegura no solo la protección del medio ambiente, sino también la de las comunidades circundantes.


EXPLORACIÓN INICIAL
INFLUENCIA NUAL DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS
INFLUENCIA MODERADA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
GRAN INFLUENCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
ESTUDIO DE CAMPO
EVALUACION DETALLADA
OPERACION NO VIABLE
OPERACION NC VIABLE
ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES ACTUALES Y FUTURAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
INFLUENCIA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LAS OPERACIONES MINERAS
DRENAJE NO NECESARIO
DRENAJE ADECUADO
DRENAJE NO PRACTICABLE
DISEÑO PRELIMINAR DEL DRENAJE
MONITORIZACION
DISEÑO INICIAL DEL DRENAJE
IMPLANTACIÓN DEL DRENAJE
MONITORIZACIÓN A LARGO PLAZO Y REEVALUACION
ETAPA DE VIABILIDAD
ETAPA DE DESARROLLO MINERO
ETAPA DE OPERACION
FAVORABLES
MEDIAS
DESFAVORABLES
CONDICIONES DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

- Con carácter general, debe abordar:
  - Captación
  - Tratamiento y conducción
  - Reaprovechamiento
  - Vertido

- Las aguas incluidas en el sistema de gestión son:
  - Captación de aguas no contaminadas
  - Captación de aguas contaminadas de bajo riesgo.
  - Captación de aguas contaminadas de alto riesgo:
    - Aguas de mina
    - Laguna de aguas de contacto.
    - Balsas de retención
    - Escombreras y presas de residuos
    - Stocks y pilas de almacenamiento / Área de trituración
    - Planta de tratamiento de mineral
    - Plata de tratamiento de aguas.

Enfoque de los estudios

- La profundidad y el detalle del estudio de drenaje viene determinada por la trascendencia de:
  - La influencia del agua en la estabilidad de taludes y huecos mineros y, en definitiva, en la seguridad geotécnica de la explotación.
  - La influencia del agua (falta o exceso) dentro de la planificación y de las operaciones de la mina, teniendo en cuenta que los usos del agua dentro de la mina son muy diversos.
  - La relación del agua con el medio ambiente, abordando tanto los problemas asociados a la operación minera en sí como los derivados del futuro abandono de la actividad.

Sistemas y técnicas de desagüe

- Las medidas de drenaje deben ser:
  - Anticipativas
    - en el tiempo y
    - en el espacio
  - Es decir, deben establecerse al inicio de las propias actividades de explotación minera (varios años antes de iniciar las labores mineras).
  - Mantenerse en el tiempo durante todo el tiempo de la explotación minera (20 o 25 años en muchos casos) e incluso, en alguna de sus fases, durante la etapa de abandono de la misma.
  - Deberán ser de un alcance espacial considerable, por lo que influirán, importantemente, en el balance hidrico y de funcionamiento hidrogeológico del área de afección.

- Se dividen en dos tipos:
    - superficiales y
    - profundas.
- Se aplicarán siempre
    - de manera combinada y
    - en función de las necesidades concretas de cada caso.

Selección del sistema de desagüe

- La selección del sistema de drenaje dependerá de los siguientes factores:
  - Geología e hidrogeología del área de explotación.
  - Objetivos del desagüe.
  - Aprovechamiento secundario de aguas drenadas
  - Método minero de explotación y su secuencia.
  - Estudios de los costes.

- **La correcta selección del método, sistema y técnicas de desagüe parte del adecuado y acertado estudio de caracterización del problema.**

Estudios de drenaje de una explotación minera

- **NECESIDAD:** Toda explotación se ubica en una cuenca hidrológica e hidrogeológica concreta y debajo de los niveles freáticos de la zona.

- Las explotaciones son puntos de drenaje y descarga de escorrentías superficiales y subterráneas y afectan, en cualquier caso, al funcionamiento hidrológico e hidrogeológico de la zona.

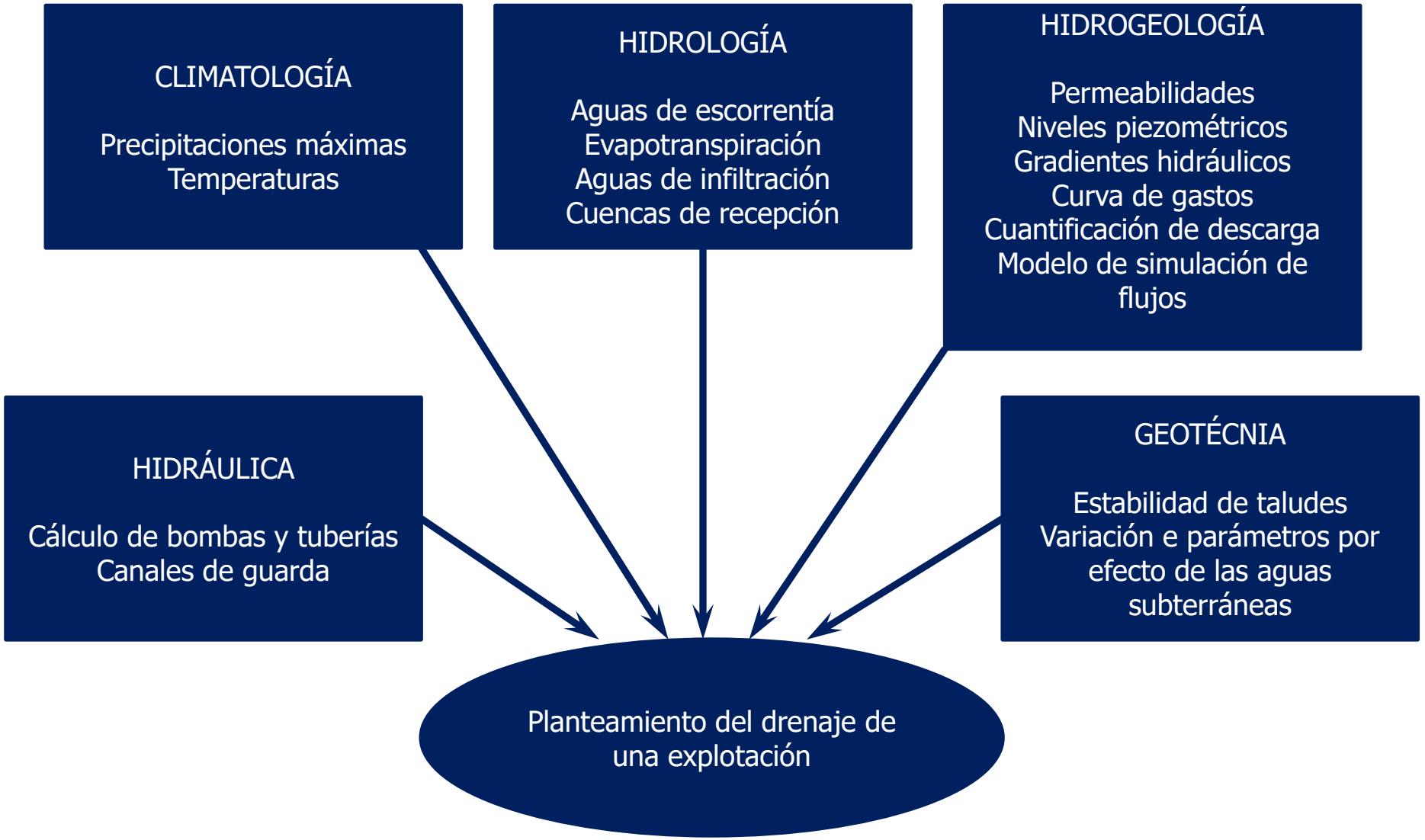
- **OBJETIVO:** Que el agua que entre en contacto con la mina sea la mínima posible y que el previsible contacto se realice de la manera más controlada posible.

- Las afecciones hidrológicas e hidrogeológicas debidas a las actividades de drenaje y desagüe de la mina serán de larga duración, ya que los trabajos deberán iniciarse dos o tres años antes del comienzo de la explotación, se prolongarán a lo largo de la vida de la mina (20 - 25 años o más) y seguirán durante la fase de abandono, una vez concluida la explotación.

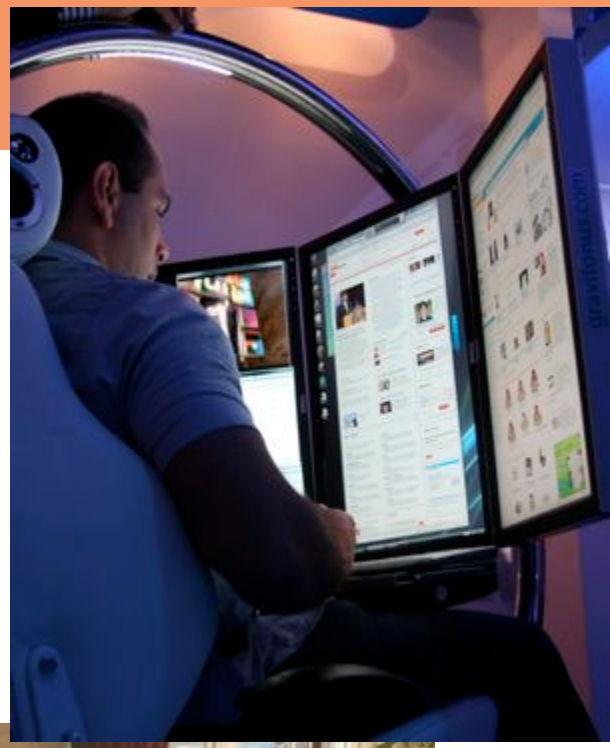
Tipología de los estudios de drenaje

- Son necesarios para controlar el conjunto de afecciones
- Son requeridos desde el inicio del proyecto
- Deben ser suficientemente exhaustivos, de tal manera que:
  - Se identifique y caracterice detalladamente toda el área de funcionamiento
  - Se conozca la afección hidrogeológica de la zona a explotar (áreas de recarga y de descarga)
  - Permita plantear un modelo conceptual de funcionamiento
  - Permita el posterior desarrollo de un modelo numérico de flujo
  - Permita la simulación de diversas alternativas de drenaje
  - Permita llegar a la elección y el diseño del sistema de drenaje más conveniente.

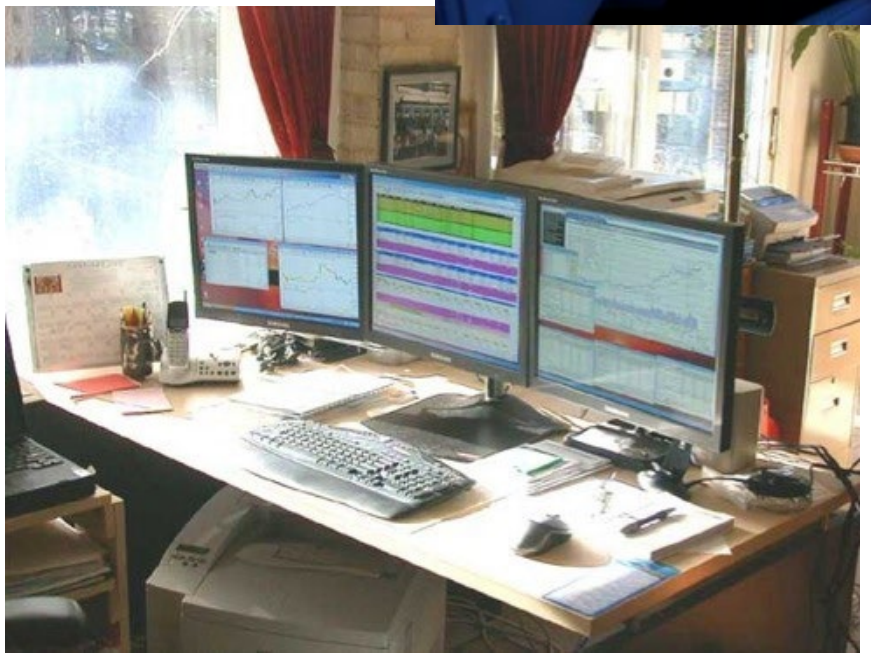
- Los estudios hidrológicos e hidrogeológicos de drenaje deberán realizarse:
  - Con unos objetivos eminentemente prácticos
  - Combinando actividades convencionales con trabajos de instrumentación y experimentación.


CLIMATOLOGÍA
Precipitaciones máximas
Temperaturas
HIDROLOGÍA
Aguas de escorrentía
Evapotranspiración
Aguas de infiltración
Cuencas de recepción
HIDROGEOLOGÍA
Permeabilidades
Niveles piezométricos
Gradientes hidráulicos
Curva de gastos
Cuantificación de descarga
Modelo de simulación de flujos
HIDRÁULICA
Cálculo de bombas y tuberías
Canales de guarda
GEOTÉCNIA
Estabilidad de taludes
Variación e parámetros por efecto de las aguas subterráneas
Planteamiento del drenaje de una explotación

Estudios de drenaje



- Actividades convencionales.
- Estudio de evaluación de escorrentías superficiales y de aguas caídas sobre la corta.
- Trabajos de experimentación.
- Modelos de funcionamiento hidrológico e hidrogeológico y diseño del sistema de drenaje
- Ingeniería y dimensionamiento de la solución final. Proyecto constructivo.



Estudios de drenaje de aguas superficiales. Actividades convencionales.

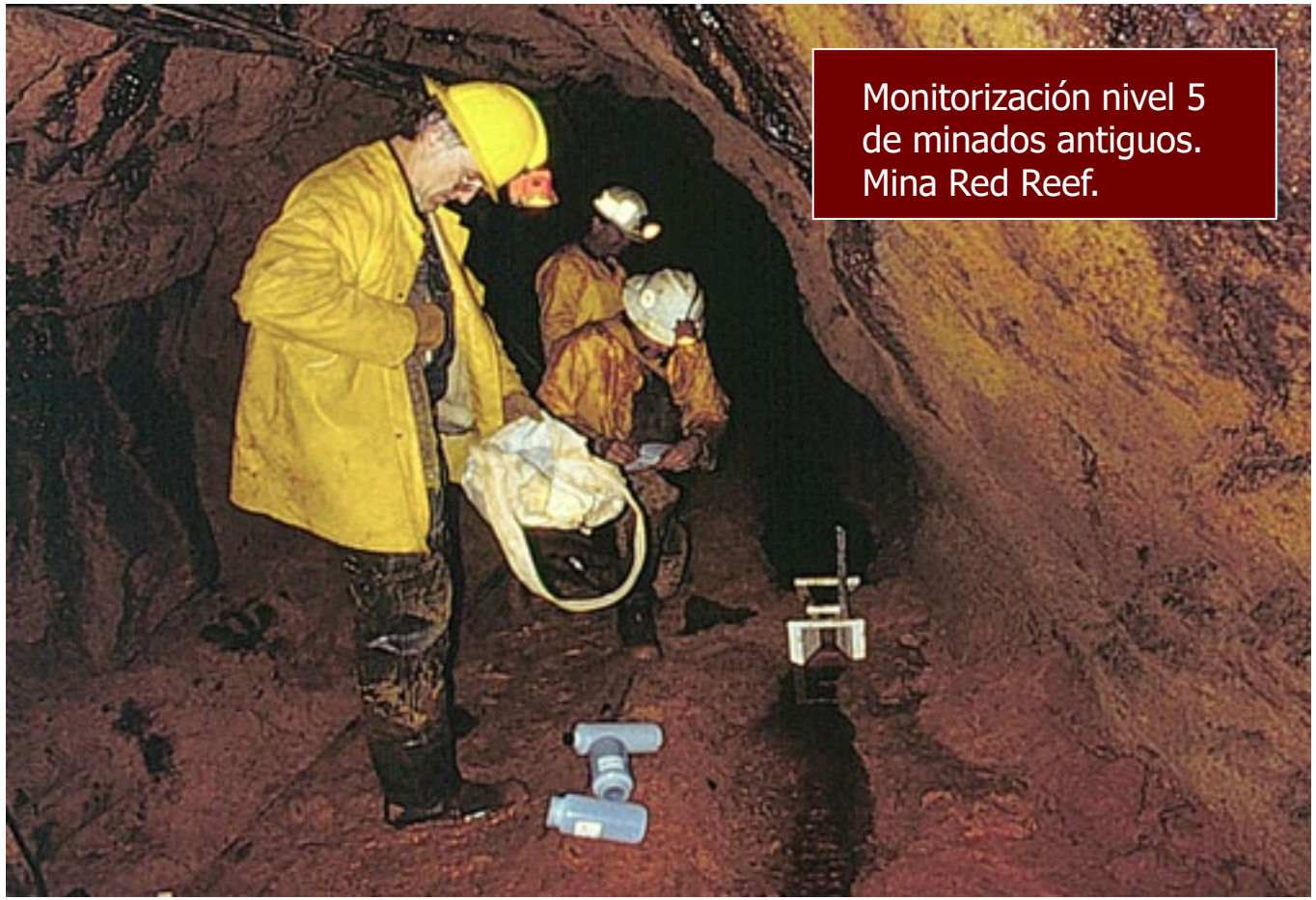
- Hidrología superficial:
  - Identificación y caracterización de cuencas
  - Control de caudales circulantes.
- Estudio hidroclimático:
  - Estudio de precipitaciones
  - Estudio de temperaturas
  - Cálculo de evapotranspiración potencial, real y
  - Cálculos de lluvia útil o escorrentía total.
- Evaluación de aguas superficiales y de aguas caídas sobre la corta
- Estudio de máximas avenidas:
  - Pluviometría
  - Definición de avenidas, Ley de precípitaciones-tiempo, tiempo de concentración, coeficientes de escorrentía
  - Características de las cuencas vertientes
  - Cálculo de hidrogramas
- Cálculo de los volúmenes hídricos (superficiales y subterráneos) relacionados con la mina.
- Inventario de puntos de agua: manantiales, surgencias, pozos y sondeos.
- Redes de control periódico: piezometría, foronomía y calidad química.

Estudio de aforos de caudales

Estudios de drenaje de aguas subterráneas interceptadas. Trabajos de experimentación

- Caracterización geológica y estructural:
  - Litologías,
  - Geometría y estructuras de las formaciones a drenar.

- Construcción e instalación de sondeos o pozos vertícales de drenaje
- Construcción de sondeos piezométrícos, abiertos y cerrados.
- Instrumentación de los sondeos piezométricos cerrados.
- Realización de ensayos de bombeo individuales
- Realización de pruebas de drenaje
- En su caso, realización de pruebas de bombeo conjunto (por grupos de pozos) de larga duración.

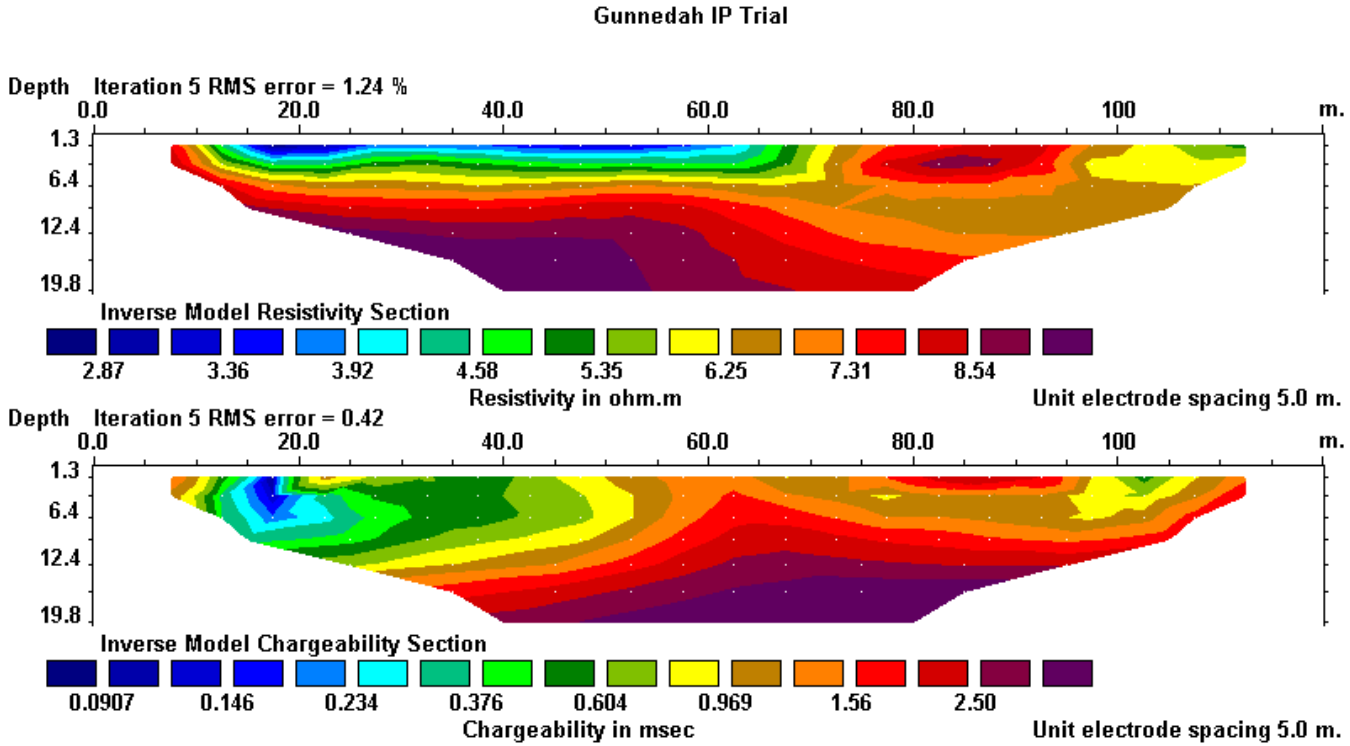

Monitorización nivel 5
de minados antiguos.
Mina Red Reef.

R. SNOW

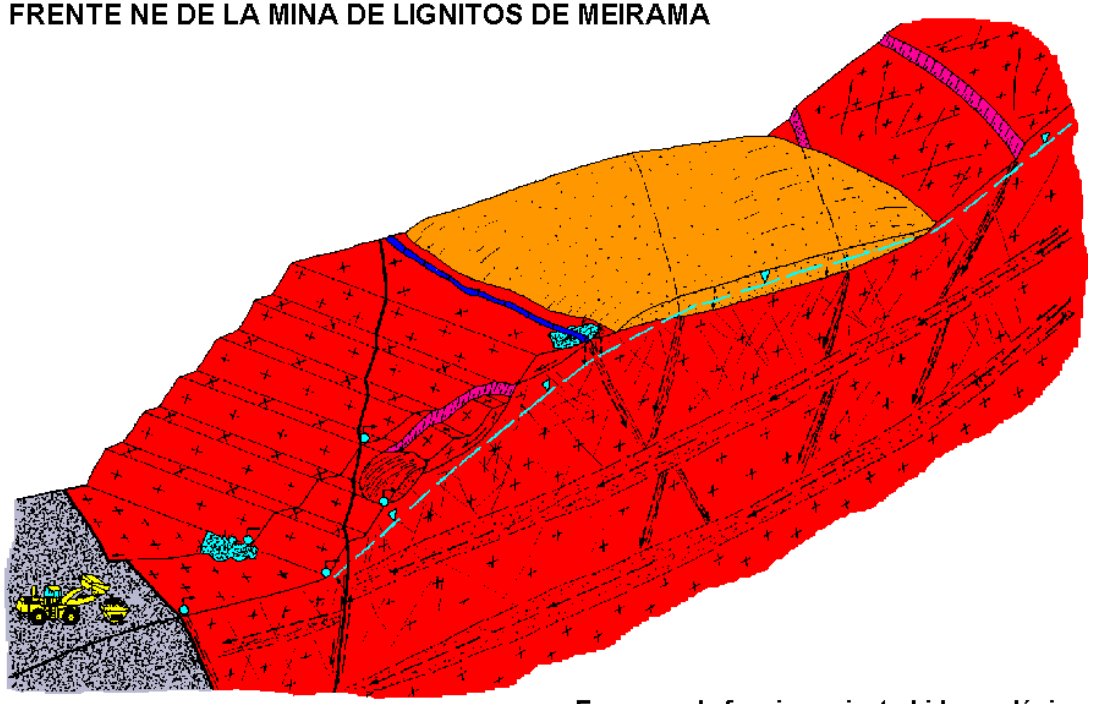
10 3'98

Modelos de funcionamiento hidrológico e hidrogeológico y diseño del sistema de drenaje y desagüe

- Planteamiento de un modelo de funcionamiento hidrológico y fenómenos de tormenta.
- Planteamiento de un modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico del área de estudio:
  - Definición litológica y geotécnica de las formaciones a drenar
  - Definición de la recarga y descarga de las mismas
  - Definición de los tipos de flujos subterráneos existentes
  - Estimación de volúmenes a drenar:
    - Almacenados en zonas saturadas
    - De renovación anual
    - Totales.
  - Estimación de puntas de demanda y fenómenos extremos.
- Desarrollo de un modelo numérico de flujo:
  - Calibración en régimen permanente (permeabilidades)
  - Calibración en régimen transitorio (coeficientes de almacenamiento)
  - Sobre los datos obtenidos en los ensayos de bombeo y pruebas de drenaje realizadas.
- Simulación de las alternativas de drenaje.



FRENTE NE DE LA MINA DE LIGNITOS DE MEIRAMA



Esquema de funcionamiento hidrogeológico

Estudios de dimensionamiento de la solución de drenaje. Ingeniería de la solución

- Estudio y diseño de alternativas:
  - Definición de los elementos de desagüe
  - Definición de sondeos, captaciones, sumideros, etc
  - Canales perimetrales
  - Volúmenes a desaguar
  - Superficies a expropiar
  - Construcción de drenajes
  - Etc.

- Estudio comparativo de las diferentes alternativas planteadas:
  - Cálculo preliminar de costes
  - Estimación de eficiencias
  - Discusión y análisis de sus ventajas e inconvenientes.
- Elección del sistema de drenaje más adecuado:
  - Definición del número de pozos
  - Definición de las obras de drenaje subterráneo
  - Diseño de sus características constructivas
  - Instalación de bombeo.

- Dimensionamiento de la alternativa más conveniente:
  - Ejecución del diseño constructivo
  - Cálculo de costes de construcción, instalación y explotación.

- Ejecución del diseño de la solución de drenaje. Definición detallada de costes:
  - Realización de los pozos (perforación, entubación y preparación)
  - Instalación y explotación (mantenimiento, conservación y administración, energía y potencia utilizada y totales de explotación).

Ejemplo de casos excepcionales

El geyser de Granátula de Calatrava (Ciudad Real)

Otros casos

4

Técnicas de drenaje y desagüe de aguas superficiales en las explotaciones mineras

Técnicas exteriores a la explotación

Técnicas exteriores a la explotación

- Desvío de cauces.
- Perforación de pozos de bombeo exteriores.
- Excavación de galerías de drenaje.

Desvío de cauces próximos

- Es una de las primeras medidas a adoptar.
- Consiste en el desvío de los cauces que transcurren próximos o sobre el área de la explotación y en la canalización de las aguas de escorrentía hasta su vertido en puntos alejados de la mina.
- Ejemplos en España: Aznalcollar, Las Cruces, Puertollano, Almadén, etc.
- Las obras de desvío y canalización:
  - Trincheras, zanjas o canales abiertos en superficie, estando revestidos o no según las condiciones de circulación.
  - Túneles o galerías de drenaje.
  - Bombeo de las aguas desde presas o zonas de embalse hasta los canales perimetrales, o bien a los antiguos huecos de otras explotaciones (caso de imposible canalización por gravedad).

Mina de Puertollano

Aznalcollar

Mina Los Pelambres (Chile). Desvío del Río Cuncumén.

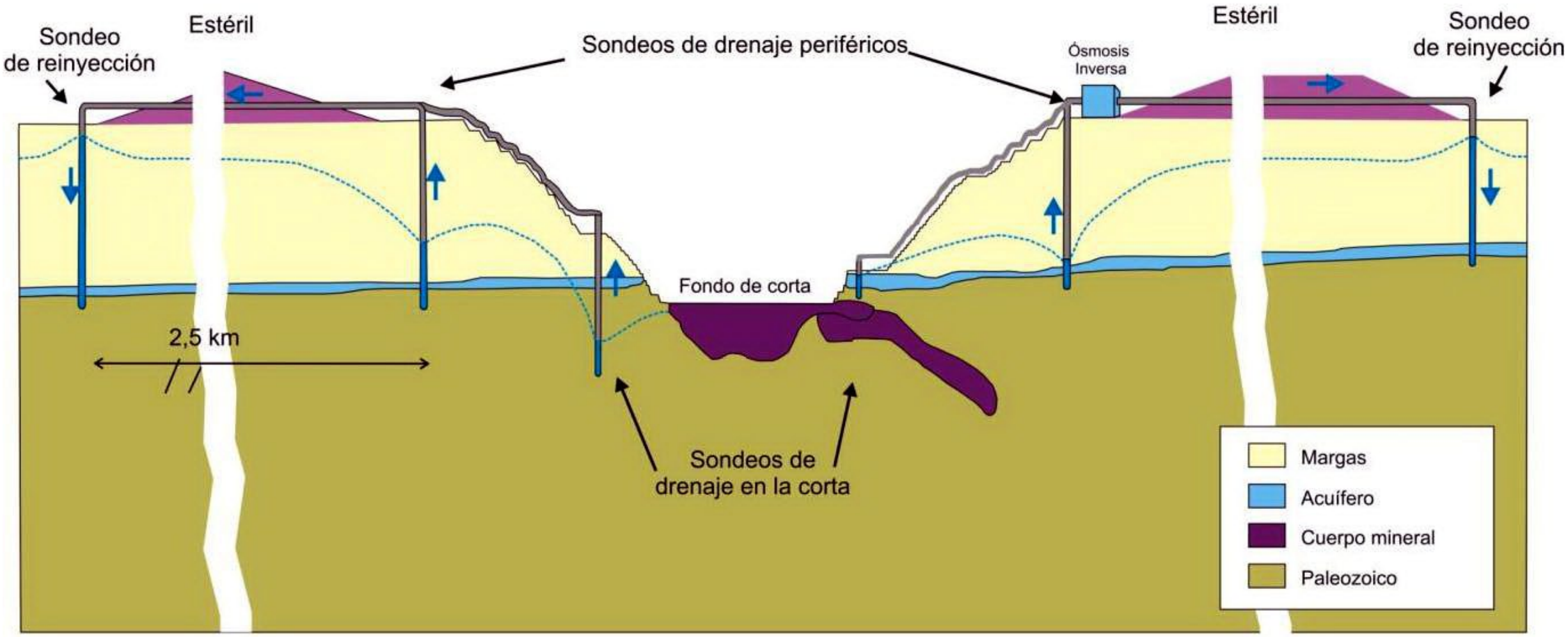
Sondeos o pozos de bombeo exteriores

- Su utilización es viable cuando la permeabilidad es suficientemente alta.
- Consiste en la perforación, alrededor del perímetro de la explotación, de una serie de pozos con una profundidad superior a la de la explotación para mantener el nivel freático por debajo del fondo de corta.

Sondeos o pozos de bombeo exteriores

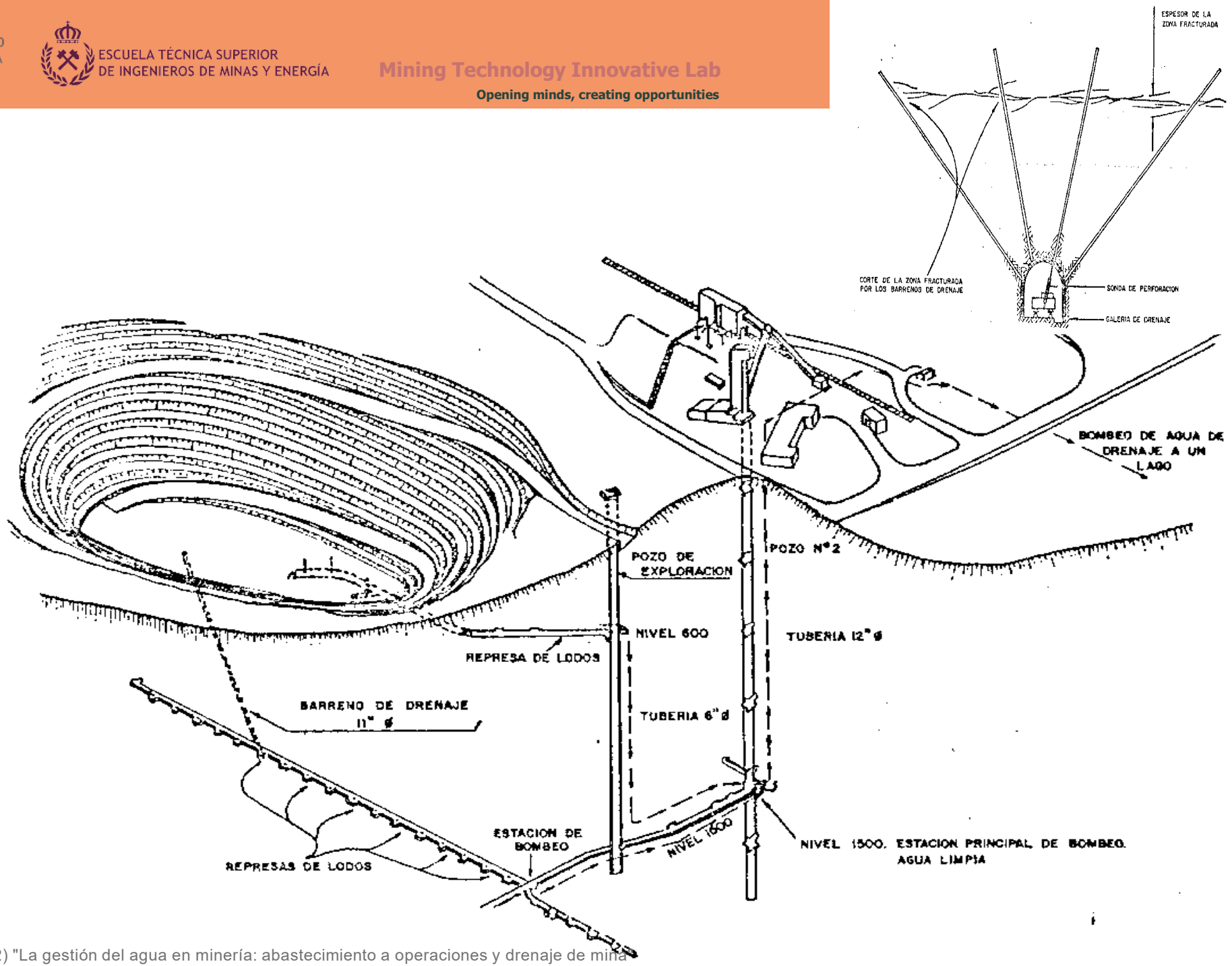
- Principales ventajas:
- El nivel freático sufre un rebajamiento o retroceso por detrás de los taludes y pisos de explotación, reduciendo los problemas de estabilidad, agua en los barrenos de la voladura, etc.
- No interfieren a las labores de explotación como sucede con los pozos de bombeo interiores.
- Son permanentes y nunca se mueven de posición.
- No están sometidos a los posibles daños derivados de las voladuras o del tráfico del transporte.
- Su mayor coste de instalación en terrenos poco consolidados será frecuentemente compensado por los mayores caudales de bombeo y mayores radios de influencia del nivel freático deprimido.
- Las profundidades alcanzadas oscilan entre los 150 y 200 m, con diámetros que oscilan entre los 200 y los 800 mm.
- Sus características constructivas dependen de los materiales atravesados.
- En general serán entubados y estarán provistos de rejillas y filtros de gravilla y arena.

Ejemplo del caso de la mina de Cobre Las Cruces



Galerías o túneles de drenaje

- Su utilización es viable tanto para el drenaje de cortas como para el de taludes simplemente.
- Consiste en la apertura de labores en el interior del macizo que se desea drenar y por debajo de la posible superficie de la explotación.
- Normalmente, se perforan barrenos en abanico en la corona de las galerías con objeto de mejorar el drenaje.


ESPESOR DE LA ZONA FRACTURADA
CORTE DE LA ZONA FRACTURADA POR LOS BARRENOS DE DRENAJE
SONDA DE PERFORACION
GALERIA DE DRENAJE
BOMBEO DE AGUA DE DRENAJE A UN LAGO
POZO DE EXPLORACION
POZO N°2
NIVEL 600
TUBERIA 12" ø
REPRESA DE LODOS
BARRENO DE DRENAJE 11" ø
TUBERIA 6" ø
ESTACION DE BOMBEO
NIVEL 1500
REPRESAS DE LODOS
NIVEL 1500. ESTACION PRINCIPAL DE BOMBEO. AGUA LIMPIA

Galerías o túneles de drenaje

- Principales ventajas:
  - Gran capacidad drenante: su gran sección transversal permite una favorable conexión hidráulica con el medio saturado a drenar.
  - Son apropiadas para actuaciones diseñadas a largo plazo: el drenaje se produce por gravedad y sin necesidad de impulsión mecánica.
  - No interfieren las operaciones mineras en superficie, al estar construidas a gran profundidad y con bocas de entradas laterales.
  - Suelen ser muy eficaces en materiales con mayor permeabilidad en sentido vertical que en horizontal.
- Principales inconvenientes:
- Menor eficacia en formaciones con permeabilidad horizontal superior a la vertical, requiriéndose la perforación de drenes verticales que faciliten y aumenten el drenaje vertical.
- Presentan también una menor eficacia
  - En formaciones heterogéneas y con frecuentes variaciones espaciales de permeabilidades,
  - En macizos rocosos con una gran separación entre las discontinuidades.
  - En estos casos, deberán instalarse también drenes complementarios, cuyas direcciones deben ser lo más perpendiculares posibles a las de las discontinuidades existentes.

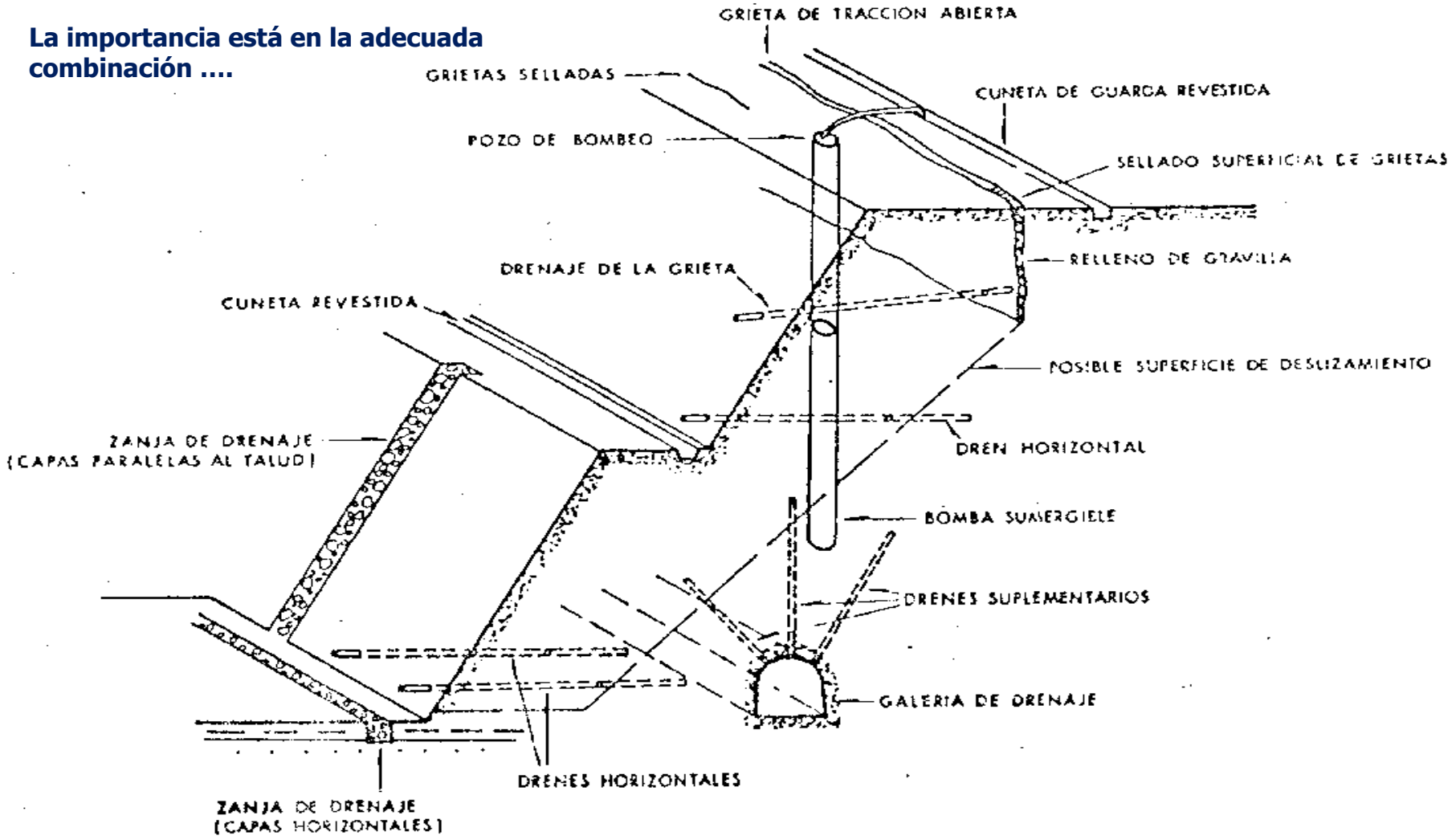
Técnicas interiores a la explotación

Técnicas interiores a la explotación

- Inclinación de las bermas y del fondo de corta.
- Construcción de sistemas de zanjas perimetrales y cunetas.
- Construcción de zanjas con relleno drenante.
- Construcción de balsas y pozos colectores.
- Perforación de sondeos horizontales.
- Perforación de pozos interiores de bombeo.
- Inundaciones locales.
- Sondeos superficiales.

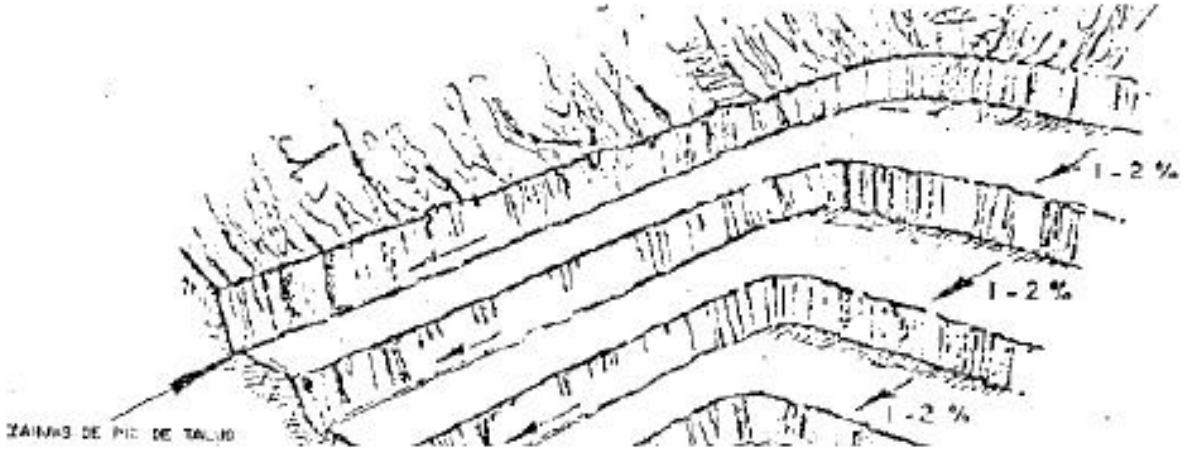
Técnicas interiores a la explotación

La importancia está en la adecuada combinación ....



Zanjas perimetrales

Inclinación de bermas y fondos de corta



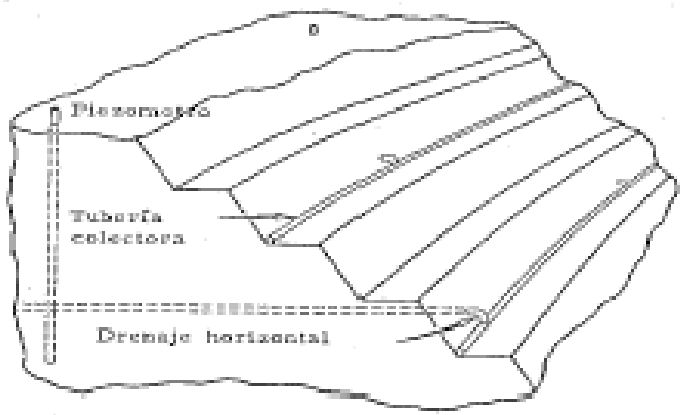
Drenes horizontales

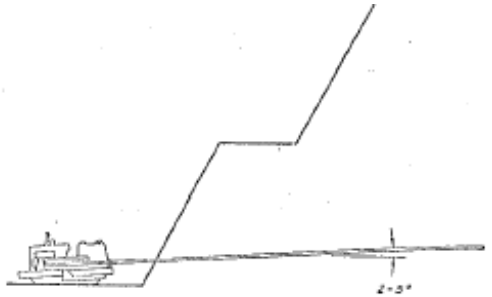
- Se perforan desde la superficie del talud

- Son de pequeño diámetro (entre 6 y 15 cm) y escasa inclinación (entre 5 y 10°) para permitir el drenaje por gravedad.
- Es un sistema flexible, readaptable en función de las litologías y estructuras encontradas.

- **Principales ventajas:**
  - Su instalación es muy rápida y sencilla.
  - El drenaje se efectúa por gravedad.
  - Requieren escaso mantenimiento.

- **Inconvenientes:**
  - Presentan un área de influencia y de efectividad relativamente limitada y siempre menor que la de otros sistemas de drenaje profundo.
  - Su perforación debe ser posterior a la de la construcción del talud, por lo que no pueden aplicarse con carácter anticipativo en el espacio y en el tiempo a la finalización de los taludes.
  - Son escasamente eficaces en taludes de gran altura, y antieconómicos en taludes con alturas superiores a los 100 m, en cuyos casos deben instalarse desde bermas intermedias y en combinación con otros métodos de drenaje profundo.

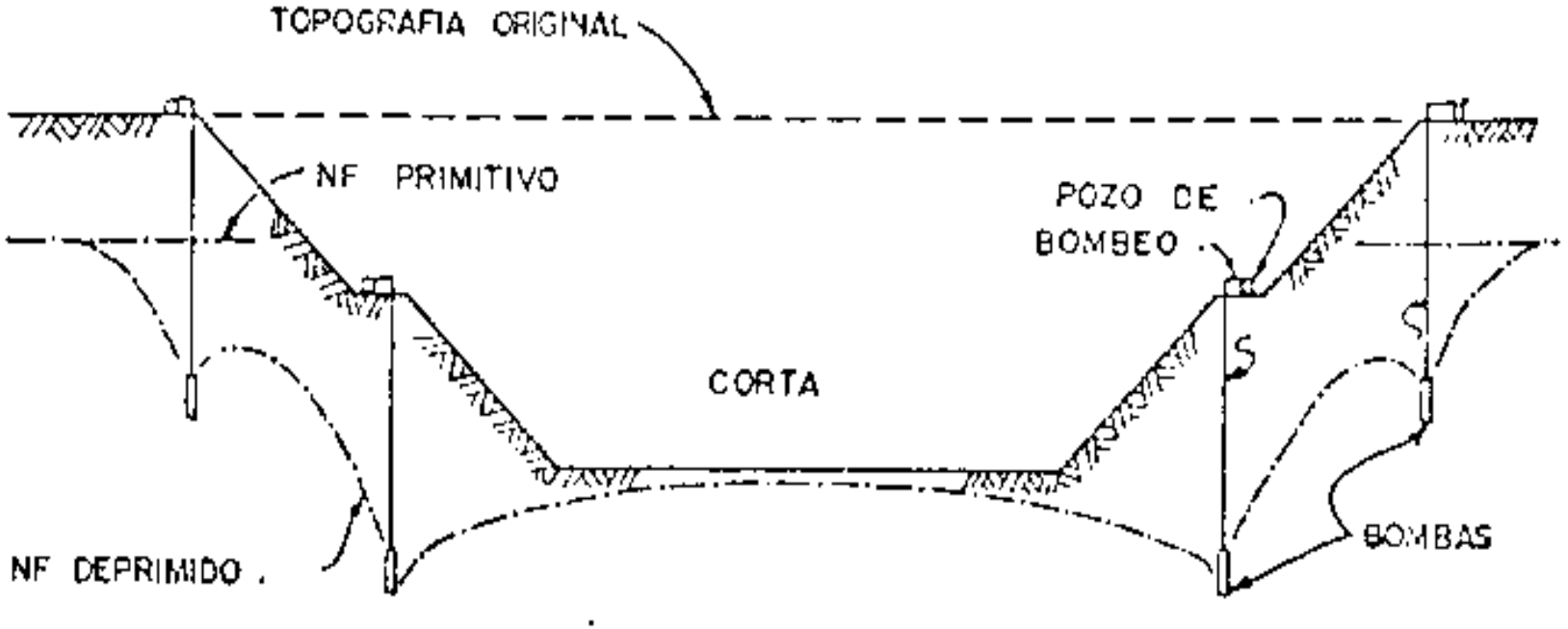

Piezometro
Tubería colectora
Drenaje horizontal



Pozos verticales

- Se perforan desde la superficie superior del talud o desde el mismo talud.
- Extraen el agua mediante bombeo con bombas sumergibles emplazadas en la parte inferior de los pozos y consiguen el rebajamiento del nivel freático en las proximidades del talud.
- Principales ventajas:
  - Puede instalarse con anterioridad a la construcción del talud y garantiza su seguridad durante toda la fase constructiva.
  - Pueden utilizarse como pozos de drenaje verticales los mismos sondeos de investigación que se hayan construido en la zona, siempre y cuando dispongan del diámetro de entubación suficiente.
  - Su área o zona de influencia y efectividad es mucho más amplia que la que se consigue con los drenes horizontales, pudiendo conseguirse con dicho sistema, y en el caso de terrenos con permeabilidades altas, el drenaje completo del talud en cuestión.
- Inconvenientes:
  - Presentan una longitud y unos diámetros constructivos importantes (entre 100 y 300 m, y entre 300 y 500 mm, respectivamente)
  - Requieren el adecuado mantenimiento continuado.
  - Sus características constructivas, sus equipos de bombeo y el consumo de energía que necesita para la extracción del agua, hace que su coste de instalación y de utilización sea mucho mayor que el de los drenes horizontales.

Pozos verticales



Zanjas con relleno drenante

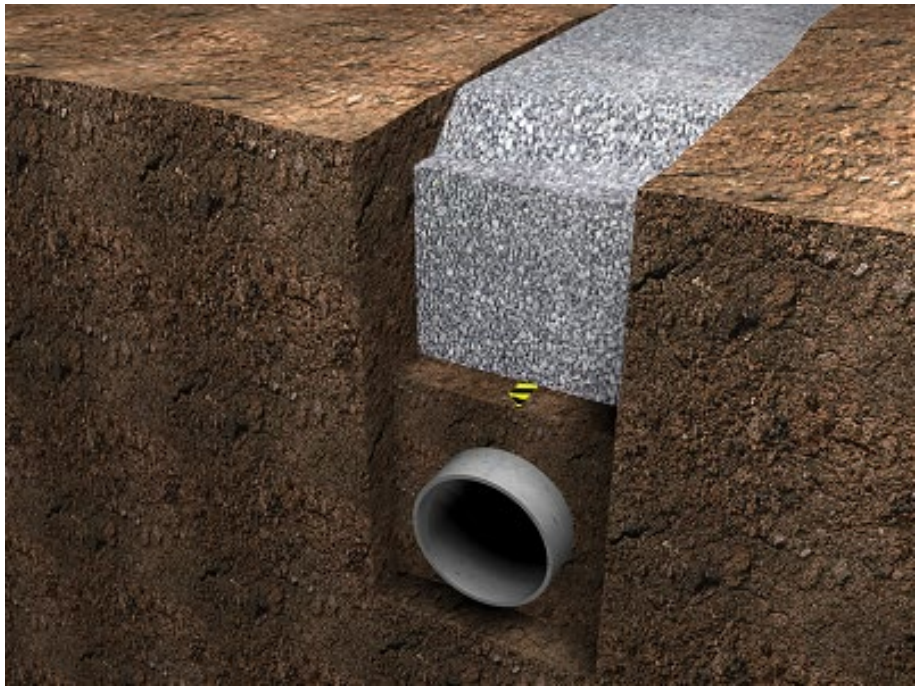
- Consisten en zanjas excavadas en el talud o en sus proximidades, que se rellenan de materiales drenantes. Su acción drenante es únicamente efectiva para pequeñas profundidades, pero son muy eficaces cuando los deslizamientos potenciales se sitúan a escasa profundidad.

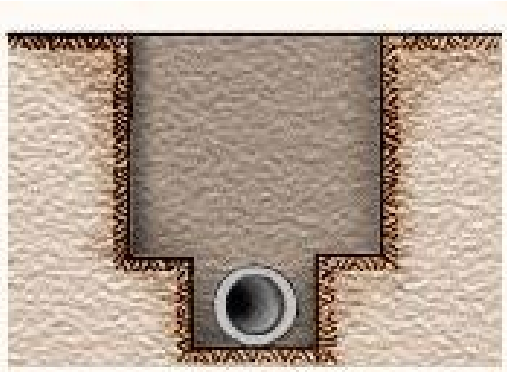
- Existen dos tipos principales de zanjas con relleno drenante:

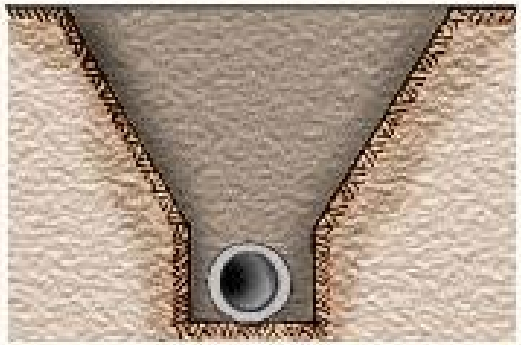
  - Zanjas de talud: construidas siguiendo la línea de máxima pendiente del talud, son muy eficaces en los casos en los que se presentan estratos duros y blandos alternantes, de escaso espesor y dispuestos de forma paralela al talud.

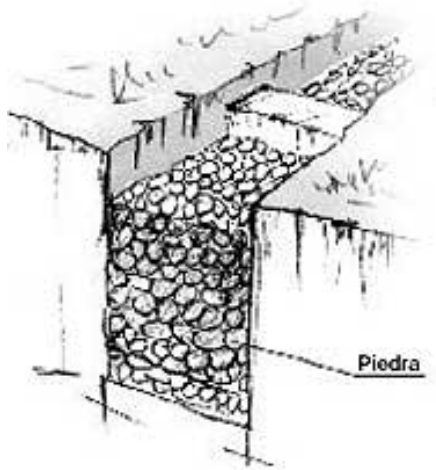
  - Zanjas horizontales: construidas paralelas al talud y al pie del mismo. Suelen ser muy eficaces en el caso de estratos horizontales y de diferente permeabilidad, siempre y cuando las zanjas alcancen un estrato permeable.

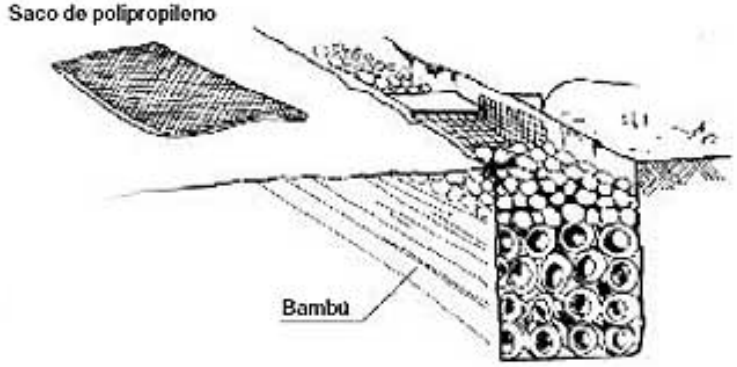
- Drenes de cola de pescado: consisten en la combinación de zanjas drenantes construidas según la línea de máxima pendiente y zanjas secundarias (en forma de espinas), emplazadas ligeramente inclinadas y convergentes en una espina central.

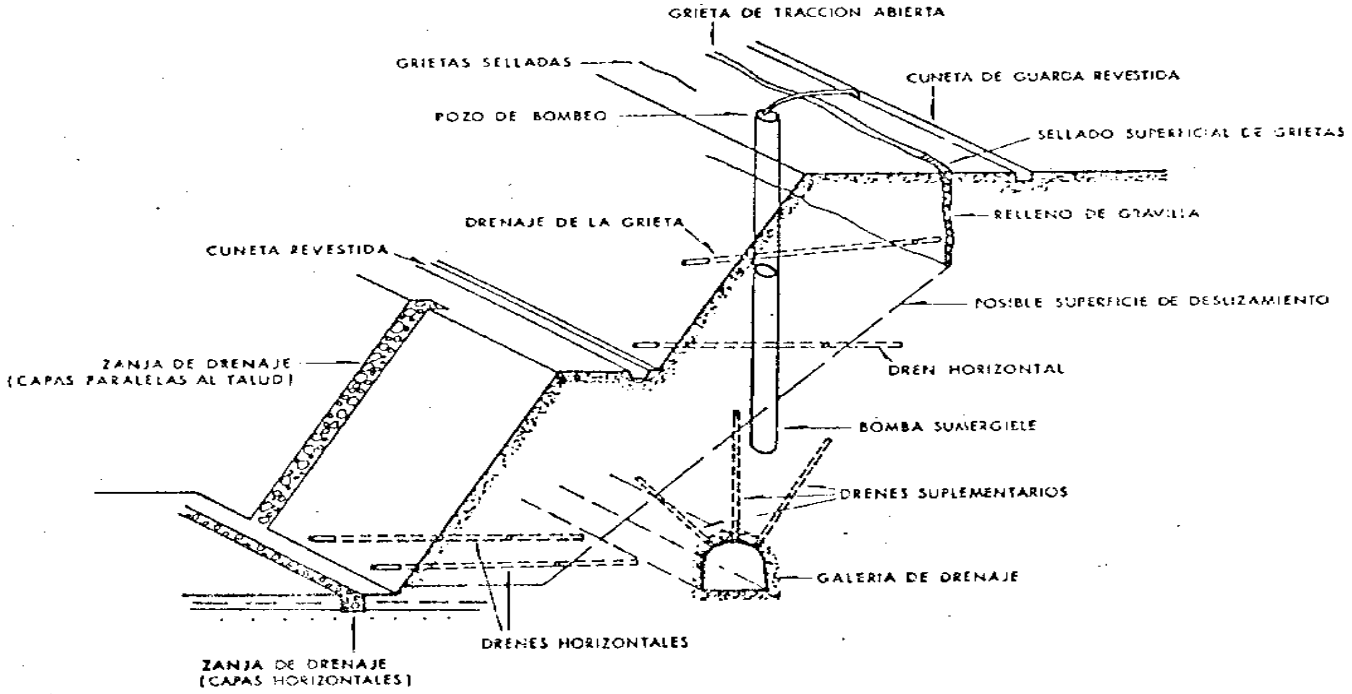


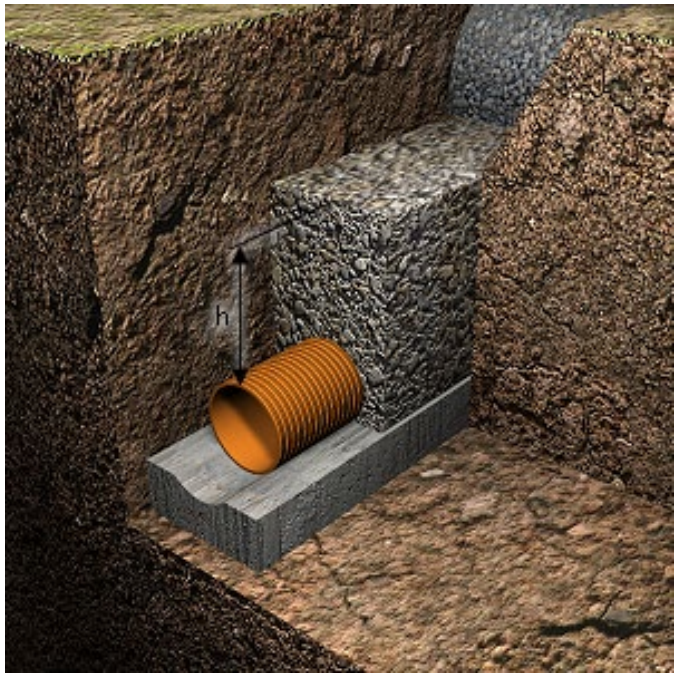





Piedra

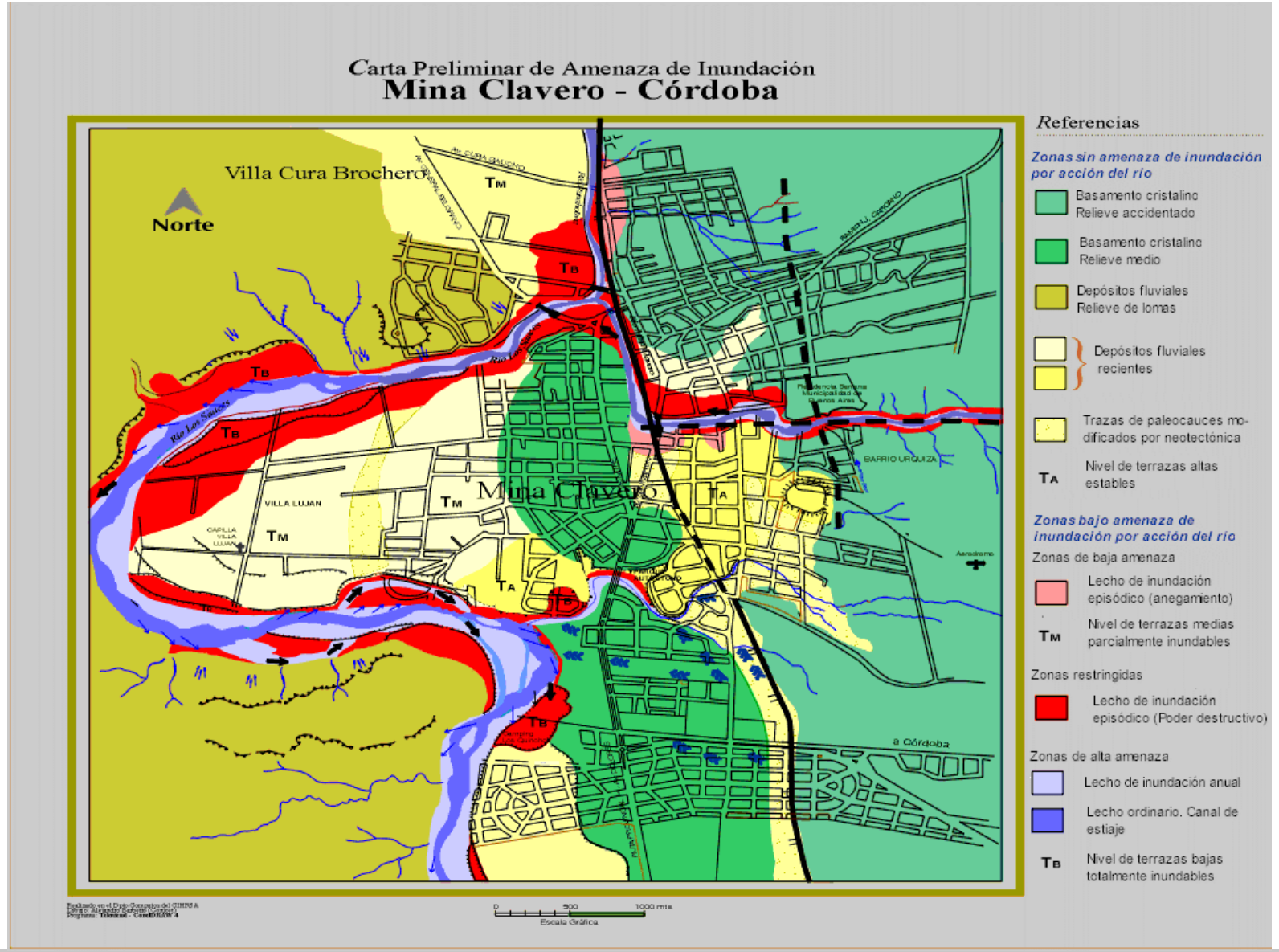

Saco de polipropileno
Bambú


GRIETA DE TRACCION ABIERTA
GRIETAS SELLADAS
CUNETA DE GUARDA REVESTIDA
POZO DE BOMBEO
SELLADO SUPERFICIAL DE GRIETAS
RELLENO DE GRAVILLA
DRENAJE DE LA GRIETA
CUNETA REVESTIDA
POSIBLE SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO
ZANJA DE DRENAJE (CAPAS PARALELAS AL TALUD)
DREN HORIZONTAL
BOMBA SUMERGIBLE
DRENES SUPLEMENTARIOS
GALERIA DE DRENAJE
DRENES HORIZONTALES
ZANJA DE DRENAJE (CAPAS HORIZONTALES)


h

5

Gestión de aguas en minería de interior

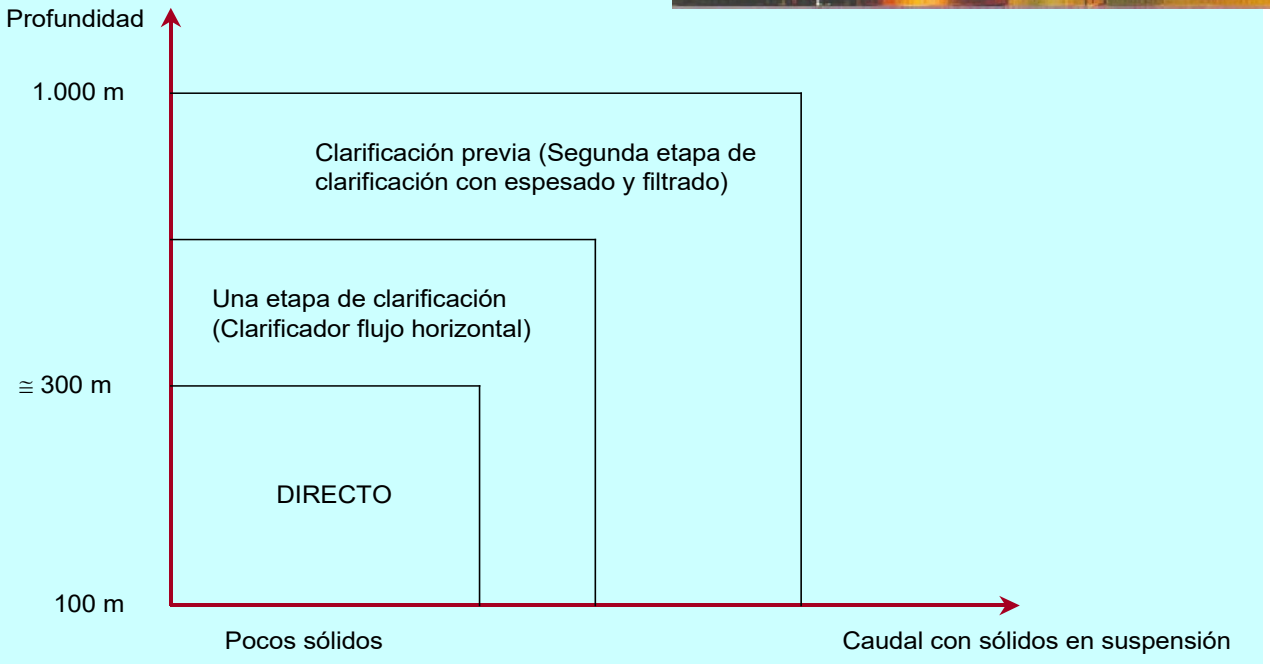

Carta Preliminar de Amenaza de Inundación
Mina Clavero - Córdoba
Villa Cura Brochero
Norte
Mina Clavero
VILLA LUJAN
BARRIO URQUIZA
Río Los Sauces
a Córdoba
TM
TB
TA
Referencias
Zonas sin amenaza de inundación por acción del río
Basamento cristalino Relieve accidentado
Basamento cristalino Relieve medio
Depósitos fluviales Relieve de lomas
Depósitos fluviales recientes
Trazas de paleocauces modificados por neotectónica
Nivel de terrazas altas estables
Zonas bajo amenaza de inundación por acción del río
Zonas de baja amenaza
Lecho de inundación episódico (anegamiento)
Nivel de terrazas medias parcialmente inundables
Zonas restringidas
Lecho de inundación episódico (Poder destructivo)
Zonas de alta amenaza
Lecho de inundación anual
Lecho ordinario. Canal de estiaje
Nivel de terrazas bajas totalmente inundables
Escala Gráfica

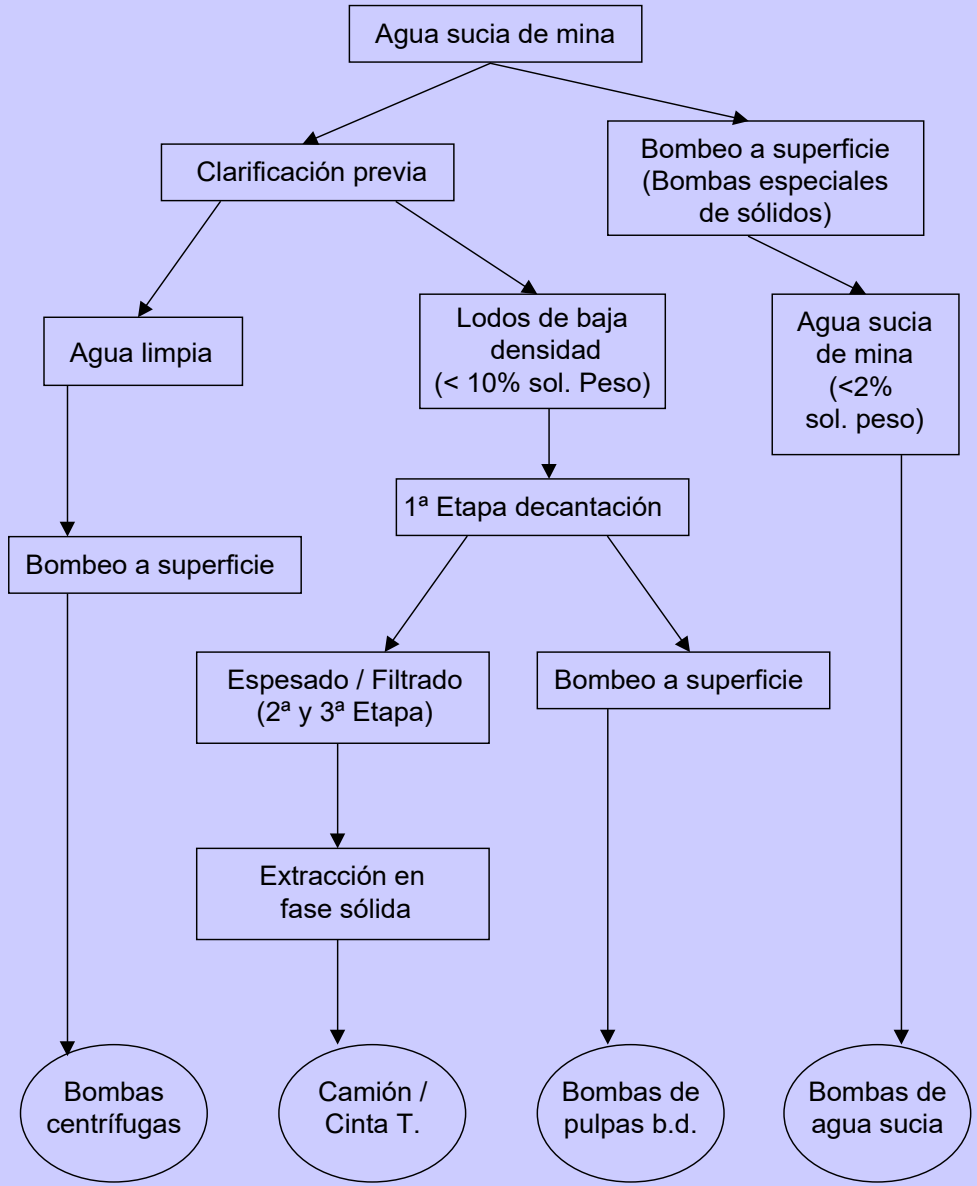
Desagüe de mina de interior

- NECESIDAD
  - Las instalaciones. de desagüe de mina permiten la evacuación a la superficie del agua y los lodos que se generan durante la excavación.

- El agua de mina proviene de :
  - Agua alumbrada por la propia roca
  - Abastecimiento de agua a las labores mineras
  - Pérdida en la red de distribución de agua a la mina
  - Agua procedente del relleno de huecos de explotación
- Los lodos se generan por :
  - Detritus de perforación
  - Polvo y finos generados por las voladuras
  - Degradación del mineral durante la carga y transporte
  - Polvo generado en las estaciones de machaqueo
  - Degradación de capas de rodadura en galerías y rampas
  - Finos procedentes del relleno de huecos de explotación

- Las aguas y sólidos en suspensión que se generan en la mina son extraído mediante bombeo con o sin separación previa de lodos (clarificación).

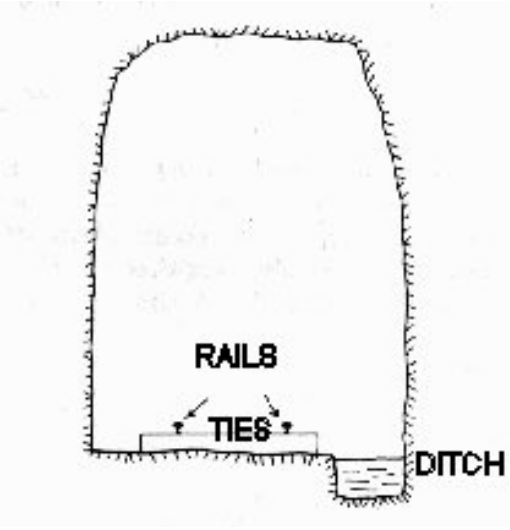

Profundidad
1.000 m
Clarificación previa (Segunda etapa de clarificación con espesado y filtrado)
Una etapa de clarificación (Clarificador flujo horizontal)
≅ 300 m
DIRECTO
100 m
Pocos sólidos
Caudal con sólidos en suspensión

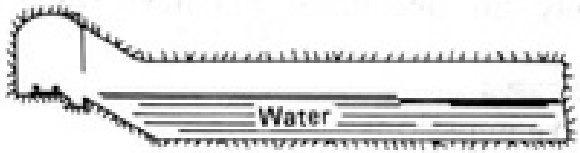

Agua sucia de mina
Clarificación previa
Bombeo a superficie (Bombas especiales de sólidos)
Agua limpia
Lodos de baja densidad (< 10% sol. Peso)
Agua sucia de mina (<2% sol. peso)
1ª Etapa decantación
Bombeo a superficie
Espesado / Filtrado (2ª y 3ª Etapa)
Bombeo a superficie
Extracción en fase sólida
Bombas centrífugas
Camión / Cinta T.
Bombas de pulpas b.d.
Bombas de agua sucia

- La clarificación de las aguas consiste en separar el agua limpia y los lodos.

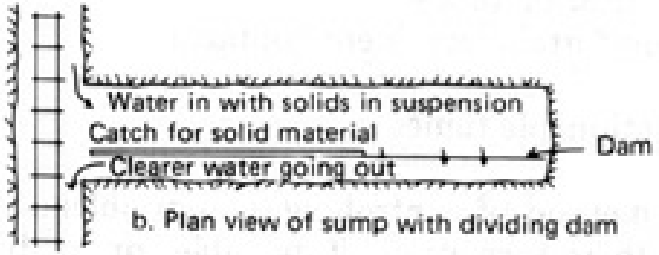
- En la minería subterránea, se emplean los siguientes métodos de clarificación:
  - Decantadores de flujo horizontal
  - Decantadores de flujo vertical
  - Espesadores y filtros

- En cualquiera de estos tres métodos, el proceso de decantación y clarificación puede ser mejorado mediante la adición de floculantes.


RAILS
TIES
DITCH

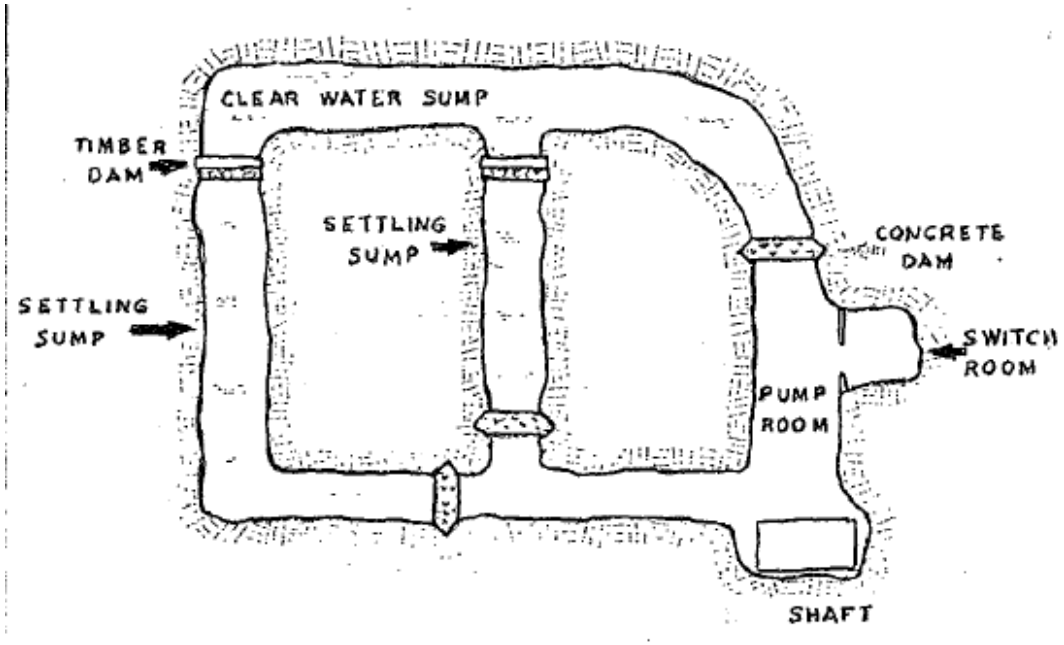


a. Cross-section of sump

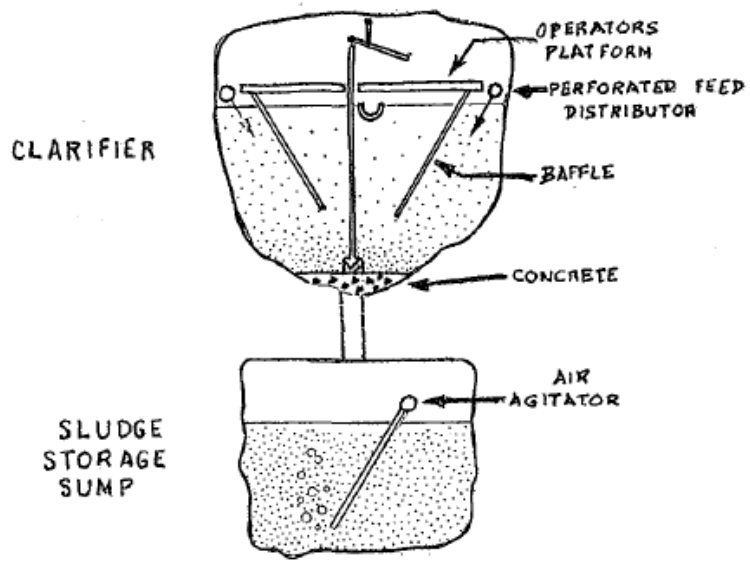


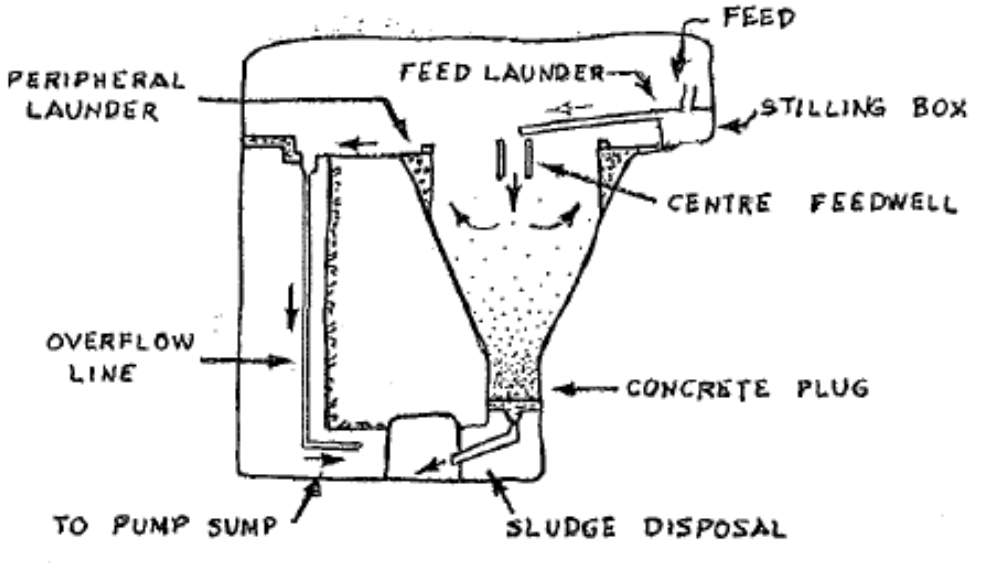
b. Plan view of sump with dividing dam

- **Decantadores de flujo horizontal.**
  - Las aguas de mina son conducidas a galerías de 20m a 40m de longitud y 10-20 m2 de sección, en las que el agua fluye hacia el muro de rebose siguiendo una trayectoria horizontal, a muy baja velocidad.
  - Las partículas sólidas decantan sobre el piso de la galería y el agua rebosa a una galería de agua limpia donde están instaladas las tuberías de aspiración de las bombas.
  - La disposición general de éstos sistemas de clarificación se representa a continuación:

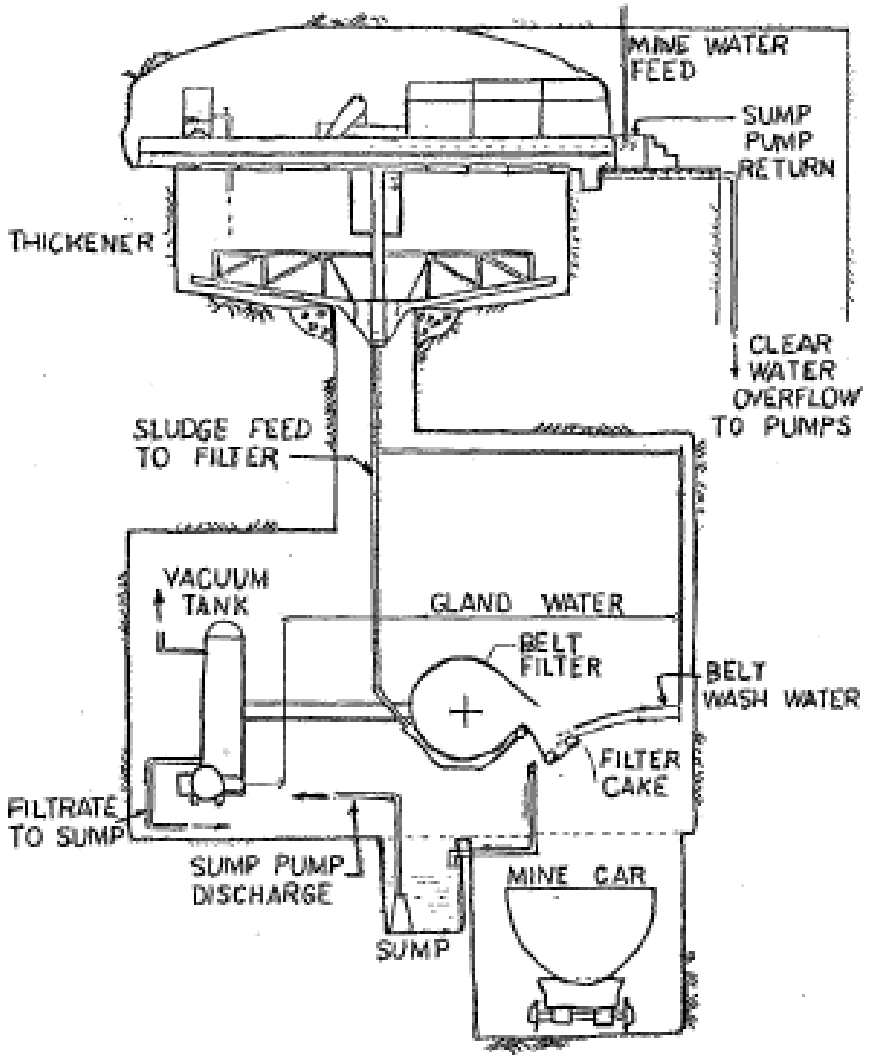


- **Decantadores de flujo vertical.**
  - El agua y las partículas sólidas son obligadas, mediante "bafles", a un flujo vertical descendente hacia la parte inferior de unas cámaras de decantación.
  - El agua limpia rebosa por la parte superior y los sólidos se almacenan en el fondo, generalmente con forma de cono invertido, siendo evacuados a través de un taladro dotado de válvula de apertura-cierre, a la galería de recogida de lodos, situada debajo, a una cota inferior.
  - Existen varios tipos de decantadores de flujo vertical (ver croquis).
  - En general, tienen la ventaja de requerir menores volúmenes de excavación (son mas compactos), y permitir la mecanización de la evacuación de lodos. Las desventajas son su mayor coste de instalación y la necesidad de mantener y reparar las partes mecánicas.





- **Espesadores y filtros.**
  - En minas donde se prevé la necesidad de evacuación de grandes cantidades de lodos, se emplean espesadores alimentados:
    - Directamente por las aguas de mina
    - Instalados en serie con decantadores de flujo vertical.
  - El producto obtenido es una pulpa de lodos de alta densidad (hasta 50% de sólidos en peso), que puede ser fácilmente escurrida en filtros de vacío.
  - El "cake" de filtro, con menos del 15% de humedad, puede ser manejado con los mismos medios empleados para el manejo y transporte del mineral (palas, transportadores de banda, vagonetas, skips etc.).
  - Los espesadores empleados en minería subterránea son similares a los utilizados en lavaderos y plantas de tratamiento.



Cámaras de bombeo

- Las bombas de desagüe se suelen instalar dentro de una galería corta o nicho de gran sección separada por un muro de hormigón de la cámara de almacenamiento de aguas.

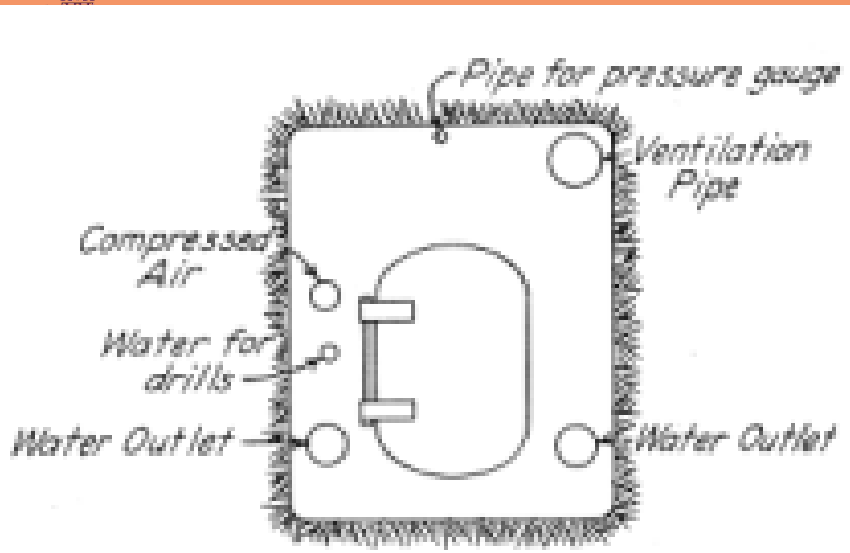
- El bombeo a superficie se puede realizar en una o varias etapas, dependiendo de la profundidad de la mina, los volúmenes a bombear y el sistema empleado.

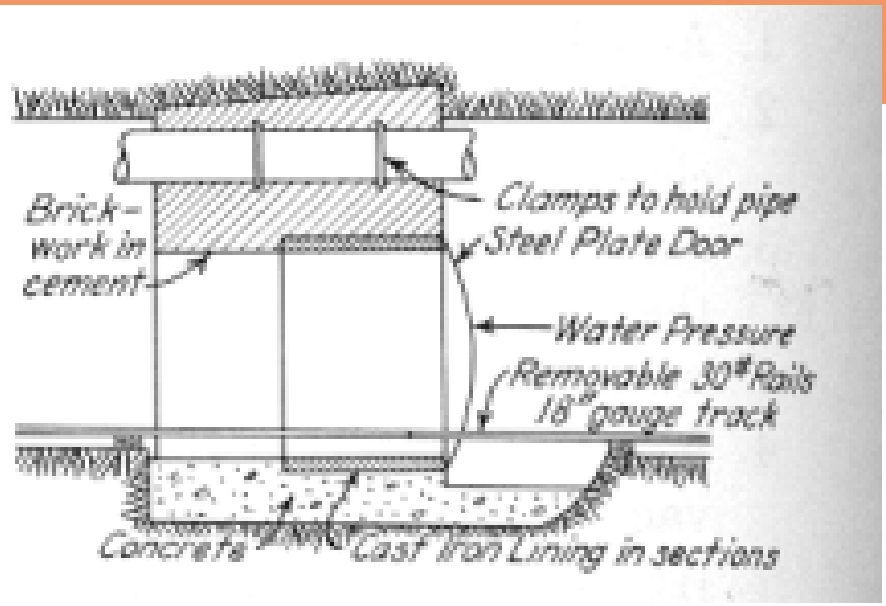
- La decisión de instalar una o mas etapas de bombeo debe adoptarse en base a una estudio técnico-económico que permita determinar la alternativa mas rentable.

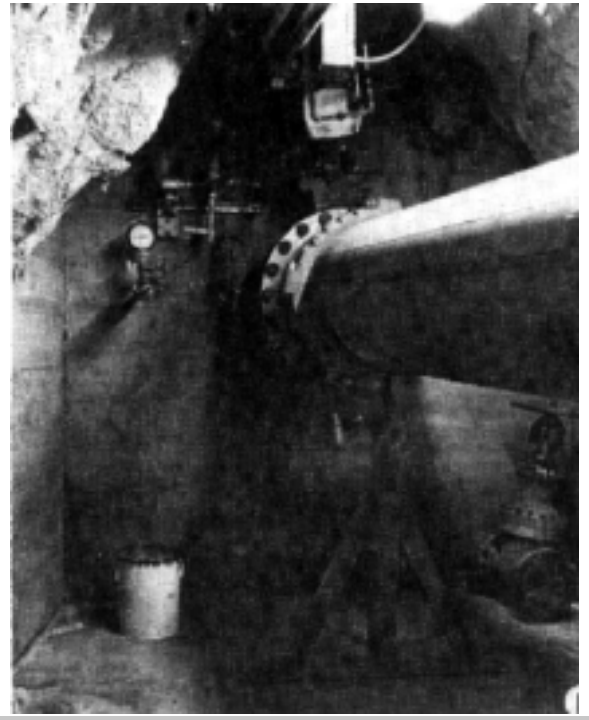
- Algunos criterios importantes en el diseño de una cámara de bombeo son :
  - Emplear al menos dos bombas, todas de las mismas características.
    - Para un caudal de aporte máximo previsible "Q", el número "n" de bombas de caudal "q" a emplear viene dado por siendo (f = coef. de seguridad):

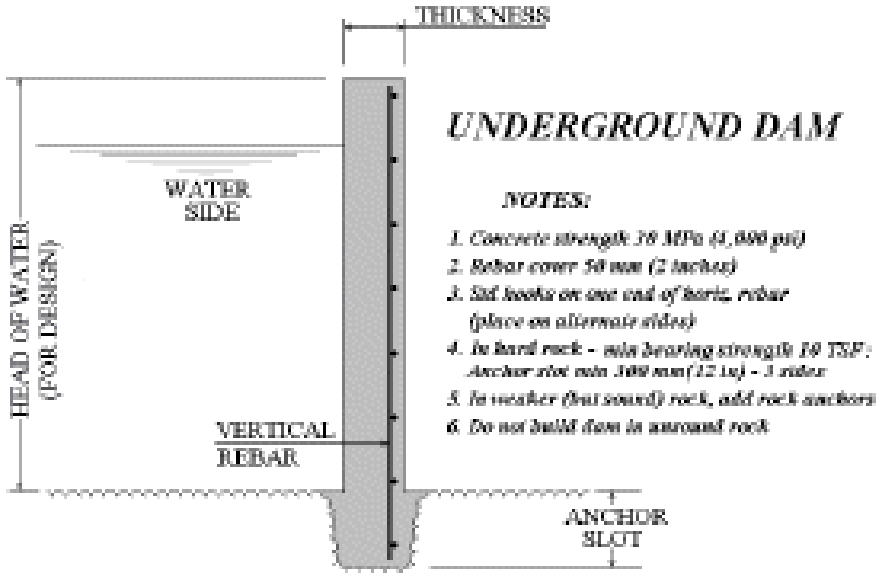
$$n = f \frac{Q}{q}$$

    - El coeficiente de seguridad debe ser f=2 para n=2 y de al menos 1,5 (para n>2).
    - El caudal máximo Q se suele determinar como el caudal medio máximo para un periodo de 8 horas.

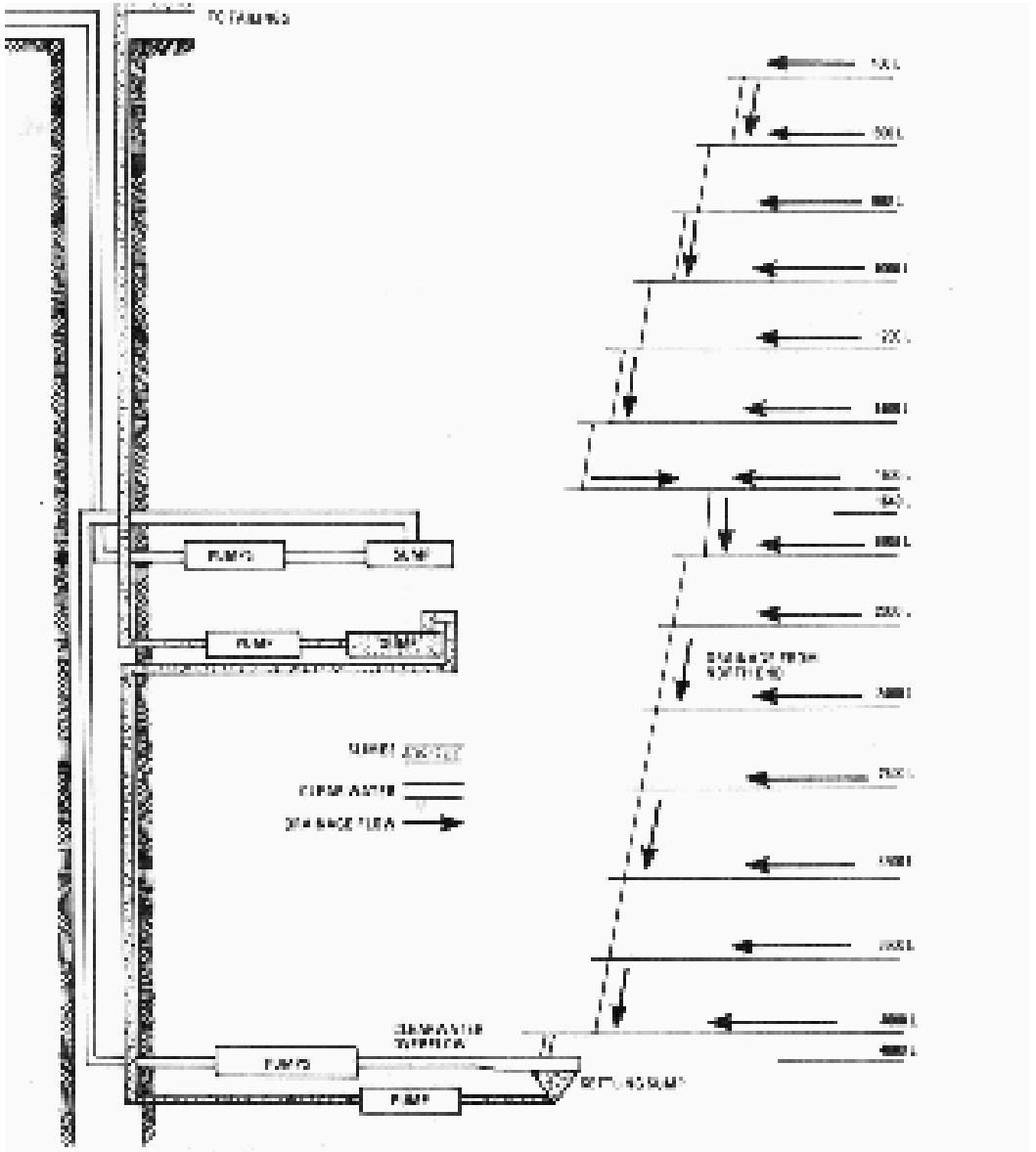

Pipe for pressure gauge
Ventilation Pipe
Compressed Air
Water for drills
Water Outlet
Water Outlet


Brick-work in cement
Clamps to hold pipe
Steel Plate Door
Water Pressure
Removable 30# Rails 18" gauge track
Concrete
Cast Iron Lining in sections



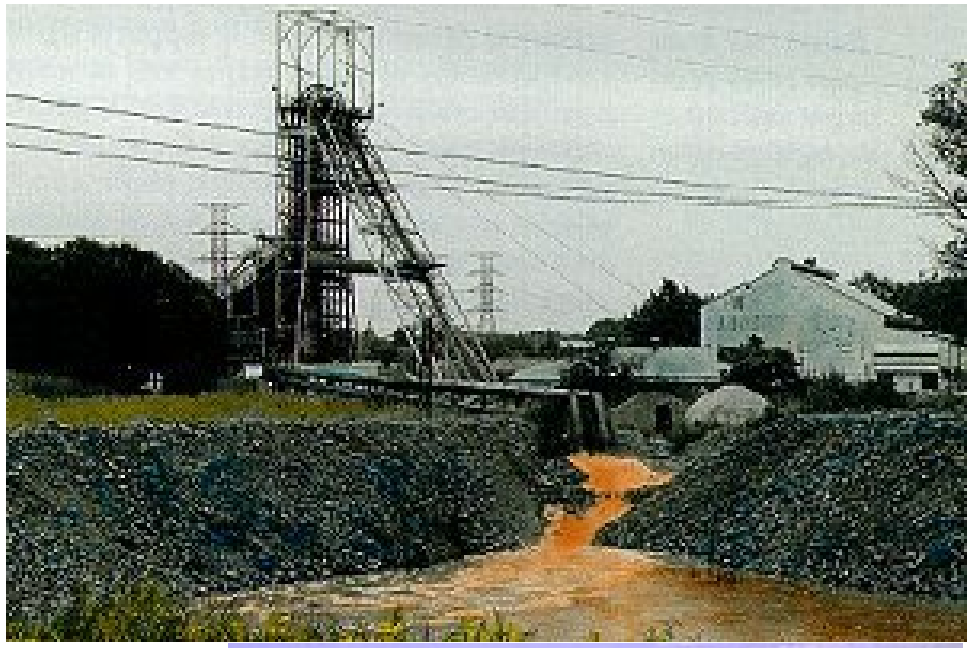

THICKNESS
UNDERGROUND DAM
NOTES:
1. Concrete strength 30 MPa (4,000 psi)
2. Rebar cover 50 mm (2 inches)
3. Std hooks on one end of horiz. rebar (place on alternate sides)
4. In hard rock - min bearing strength 10 TSF: Anchor slot min 300 mm (12 in) - 3 sides
5. In weaker (but sound) rock, add rock anchors
6. Do not build dam in unsound rock
WATER SIDE
HEAD OF WATER (FOR DESIGN)
VERTICAL REBAR
ANCHOR SLOT

- Salvo en casos especialmente favorables (aguas muy limpias) se recomienda emplear bombas poco revolucionadas (generalmente 1.500 rpm).
- Si se emplea decantación por flujo horizontal, se debe calcular la superficie de cada galería de decantación sobre la base de 1,4 m2 por litro/segundo de caudal de aporte y disponer de al menos dos galerías de decantación (una en operación y otra en limpieza de lodos).
- Se debe evitar que las bombas tengan que trabajar con ciclos de paradas-arranque frecuentes. Ello se consigue disponiendo de una capacidad de almacenamiento de agua equivalente a 4 horas de bombeo.
- Las tuberías de aspiración deben quedar permanentemente inundadas (presión en la aspiración siempre positiva).
- Se recomienda estudiar en detalle el problema de la generación y evacuación de los lodos.
- Se debe estudiar un plan de emergencia por inundación.
- El objetivo de minimizar el coste de operación del sistema debe prevalecer sobre el de minimizar los costes de inversión inicial. Este criterio conduce generalmente a que:
  - El número de etapas de bombeo debe ser el mínimo posible.
  - Se debe emplear bombas de máxima fiabilidad.
  - Se recomienda un alto grado de mecanización de la evacuación de lodos.



6

Gestión de aguas de filtración y escorrentías de escombreras y presas de residuos



7

Suministro de agua potable e industrial

- El déficit mundial de agua potable en 2030 será del 40%.
- Las empresas empiezan a preocuparse seriamente por su huella hídrica en cualquier parte de su cadena de suministro.
- El determinar la huella hídrica de su cadena de suministro al completo es una labor compleja y difícil.
- De las empresas que elaboran un Informe de RSC, el 95% de las empresas indias, el 69% de las españolas y el 66% de las empresas de Reino Unido incluyen planes para la reducción del consumo de agua, frente al 24% de las empresas chinas o el 27% de las japonesas.
- Tras los efectos en los mercados de las sequías en Norteamérica o India, las empresas, especialmente aquellas en sectores más expuestos, han aprendido mucho sobre la necesidad de analizar la oportunidad de disponer de información fiable para elaborar estrategia a medio y largo plazo con el fin de evitar su perfil de riesgo global y exponer sus actividades de negocio a posibles interrupciones.

- Demanda de información por parte de los inversores:
  1. ¿En qué medida su organización entiende los riesgos y las oportunidades que plantea la escasez de agua?
  2. ¿Dónde residen sus mayores riesgos/oportunidades relacionados con el agua? ¿y de la cadena de suministro de su empresa?
  3. ¿Qué aspectos relacionados con el agua son más importantes para su negocio?¿Abastecimiento, saneamiento?
  4. ¿Cómo considera el factor agua en sus procesos clave (diseño, mercados, procesos, etc.)?
  5. ¿Quién es el responsable en su organización de gestionar y mantener las estrategias con respecto al agua?
  6. ¿Confía en la información de la que dispone para tomar decisiones en este campo?
  7. ¿Qué planes se han implantado para integrar los datos de RSC o de Sostenibilidad en el marco global de presentación de información de su organización?
  8. ¿Cuenta con una estrategia a largo plazo para abordar o eliminar los riesgos asociados con la escasez de agua?

8

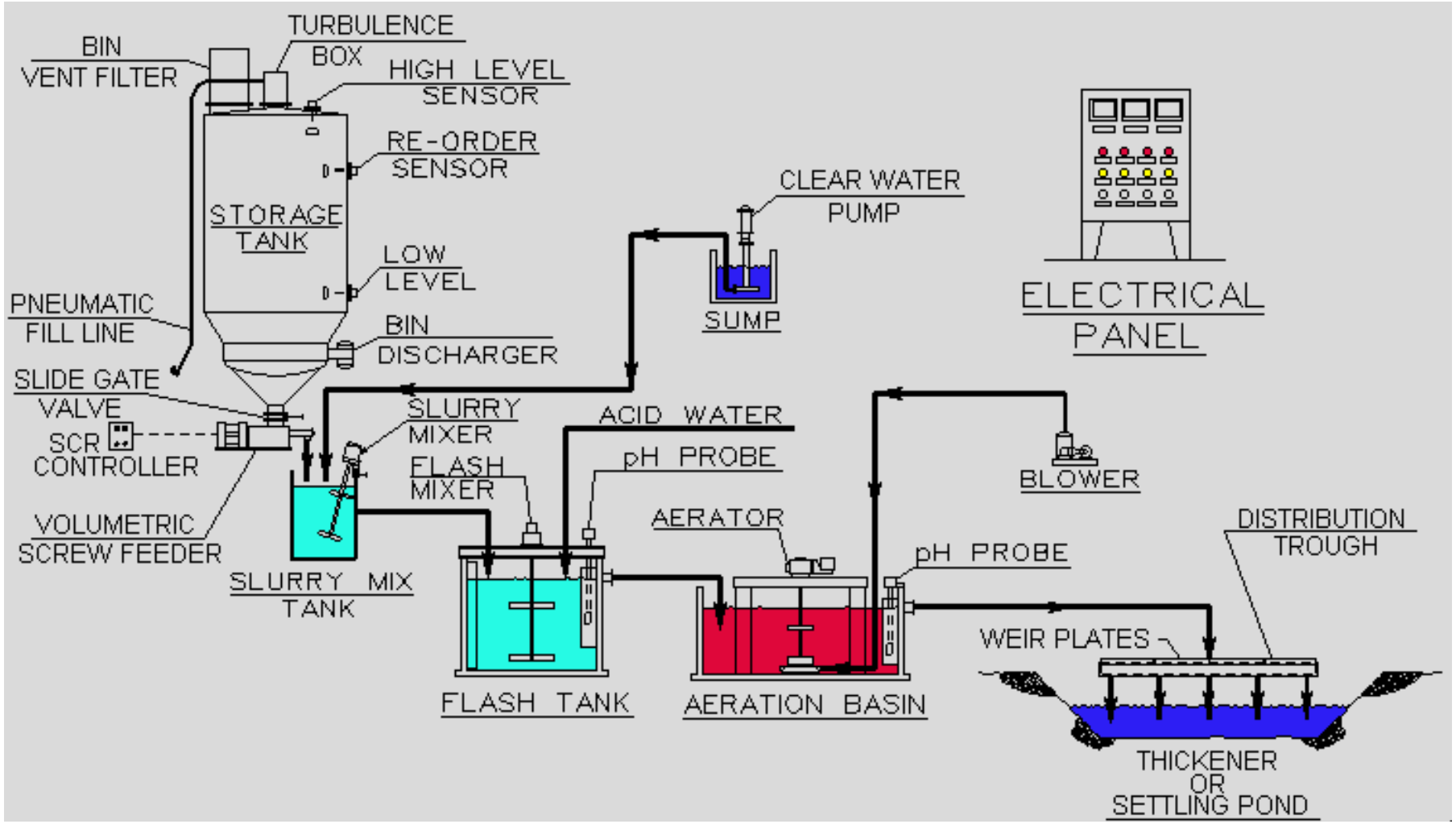
Tratamientos del agua. Depuración y regeneración hídrica

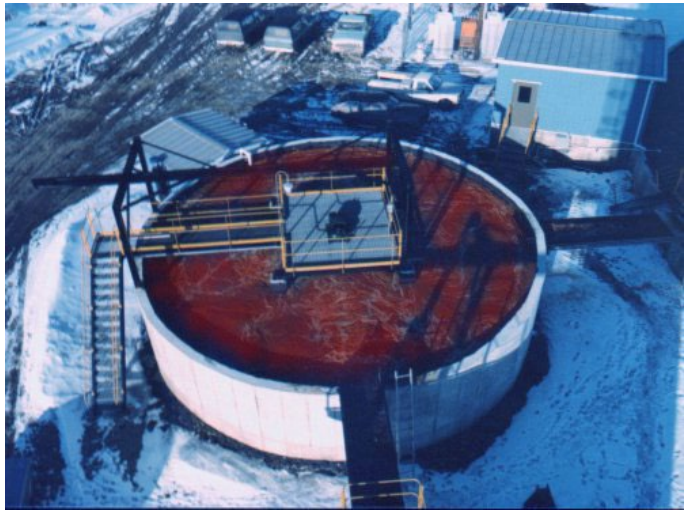
Depuración de aguas
Regeneración hídrica

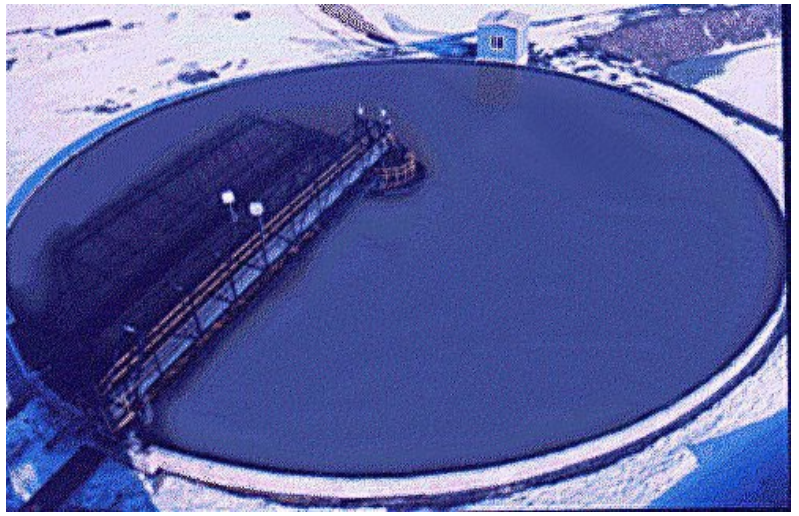
Problema a resolver

- El tratamiento de aguas residuales de mina puede ser un desafío.

- Se requiere abordar cuatro aspectos:
  - Ajuste del pH
  - Uso de floculantes y coagulantes
  - Adición de productos químicos
  - Filtración

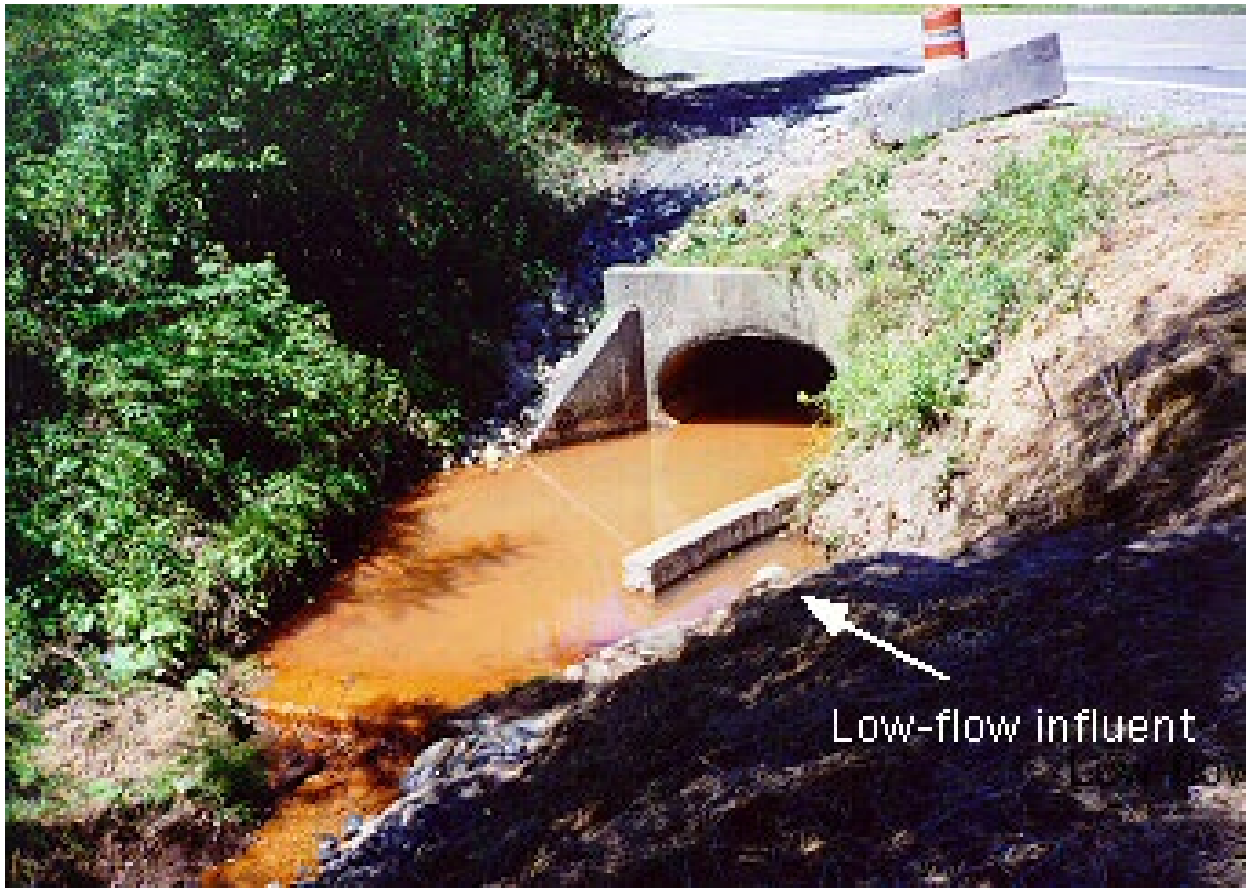

BIN
VENT FILTER
TURBULENCE
BOX
HIGH LEVEL
SENSOR
RE-ORDER
SENSOR
STORAGE
TANK
LOW
LEVEL
BIN
DISCHARGER
PNEUMATIC
FILL LINE
SLIDE GATE
VALVE
SCR
CONTROLLER
VOLUMETRIC
SCREW FEEDER
SLURRY
MIXER
FLASH
MIXER
SLURRY MIX
TANK
CLEAR WATER
PUMP
SUMP
ELECTRICAL
PANEL
ACID WATER
pH PROBE
AERATOR
BLOWER
DISTRIBUTION
TROUGH
pH PROBE
WEIR PLATES
FLASH TANK
AERATION BASIN
THICKENER
OR
SETTLING POND





Sistemas pasivos de regeneración hídrica

Sistemas pasivos de regeneración hídrica



Sistemas pasivos de regeneración hídrica

Sistemas pasivos de regeneración hídrica

Sistemas pasivos de regeneración hídrica

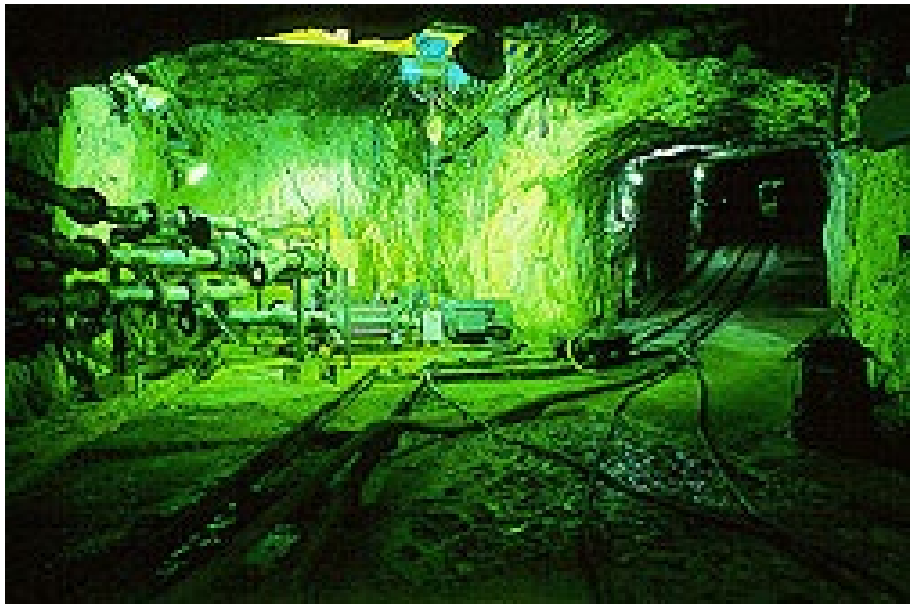
Sistemas pasivos de regeneración hídrica

9

Selección de bombas

Tipos de bombas

- Existen cuatro tipos de bombas que son los más frecuentemente usados en operación minera:
  - Bomba sumergible.
  - Bomba centrífuga de eje horizontal.
  - Bomba de pozo sumergible.
  - Bomba centrífuga multicelular de eje vertical.



- Accionamiento:
  - Motores diesel
  - Motores eléctricos

Selección de bombas

Los datos necesarios para seleccionar la bomba adecuada son:

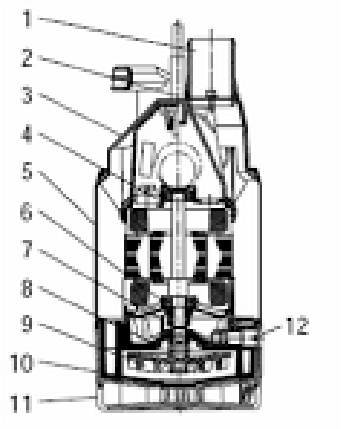
- Altura máxima de elevación.
- Caudal máximo previsible.
- Diámetro del pozo donde ha de ir situada la bomba o dimensiones y configuración de la balsa colectora.

Una vez que la instalación está montada y se encuentra en marcha, deberá procederse a la monitorización.

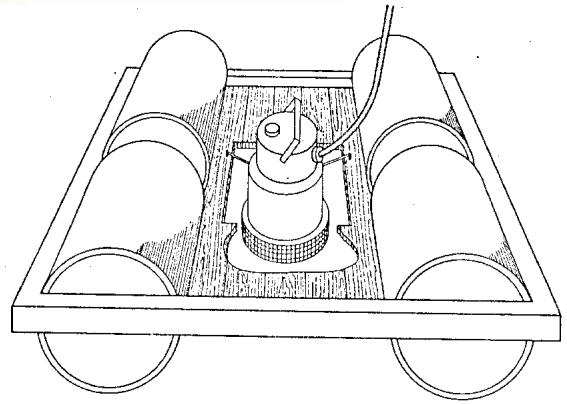
Bombas sumergibles

- Son bombas muy compactas y relativamente ligeras para su capacidad.
- El motor y la bomba están integrados y pueden sumergirse completamente.
- La instalación consiste en la suspensión de la bomba dentro del agua en la parte central de una pontona flotante o dentro de una rejilla soporte, tras conectar la tubería de descarga y cable de alimentación.
- No se requiere ninguna alineación y posicionado especial de la bomba, únicamente asegurarse de que la manguera de descarga no tiene ningún doblez y permite la circulación del agua con facilidad.
- Es esencial un buen sellado y condición de impermeabilidad del motor, con el fin de conseguir el rendimiento esperado.
- Desde un punto de vista de capacidad, estas bombas son adecuadas para alturas de bombeo reducidas, ya que tienen esencialmente una sola etapa de impulsión.
- Las alturas máximas de elevación (60 m - 90 m) caen drásticamente al aumentar el caudal de bombeo.

Partes de una Bomba Sumergible



	Descripción
1	Conexión de descarga
2	Entrada del cable
3	Manija/cubierta
4	Cojinete de soporte
5	Carcasa de la bomba
6	Cojinete principal
7	Sello mecánico interior
8	Sello mecánico exterior
9	Impulsor
10	Cubierta de succión
11	Colador
12	Tapón de aceite



Bombas centrífugas de eje horizontal

Este tipo de bombas no se sumergen.

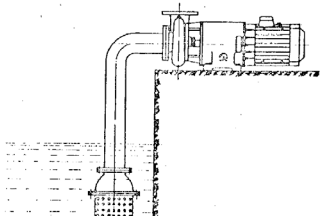
La instalación se efectúa en superficie sobre un borde de la balsa o sobre una pontona flotante.

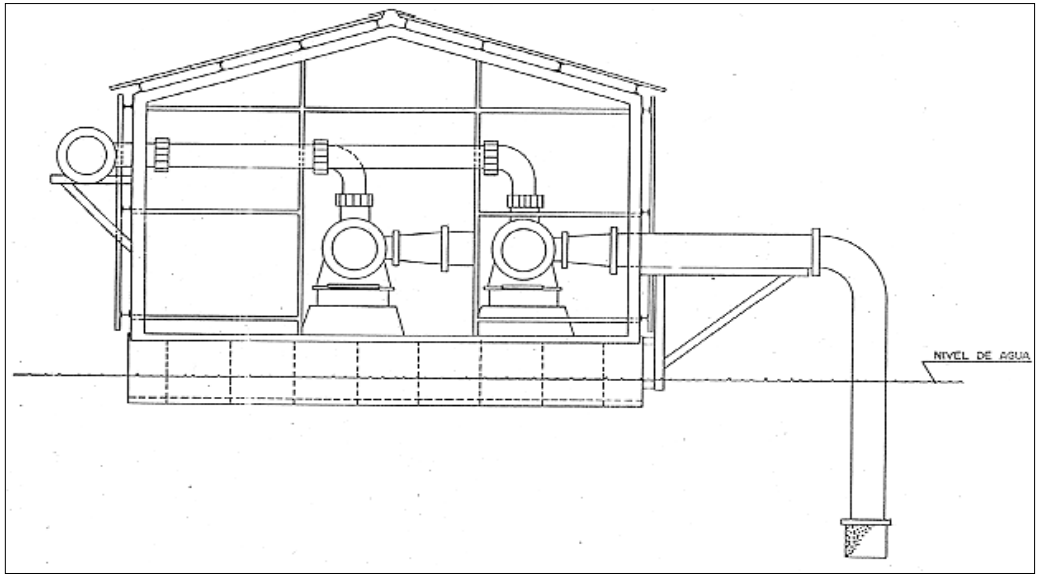
Consiste en un motor y una bomba independientes.

El accionamiento se efectúa bien por un acoplamiento mecánico de engranaje o cintas.

Este tipo de instalaciones permite:

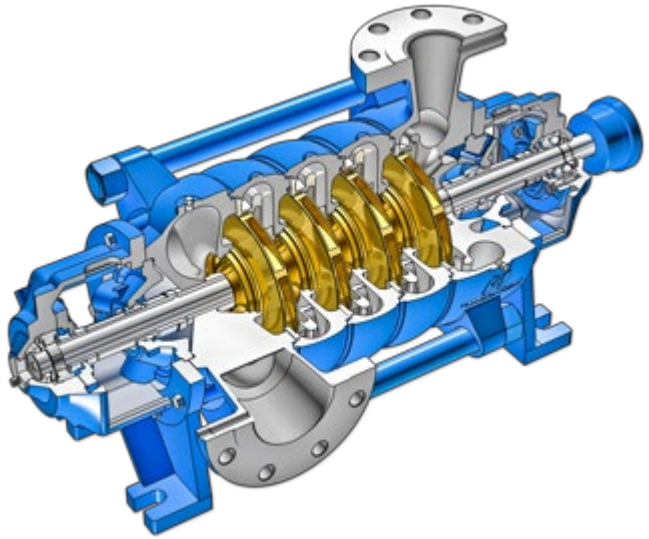
- Un fácil acceso con vistas al mantenimiento y a las reparaciones.
- Asimismo, tanto el motor como la bomba son fácilmente intercambiables
- Emplear equipos similares a los de la planta de concentración.

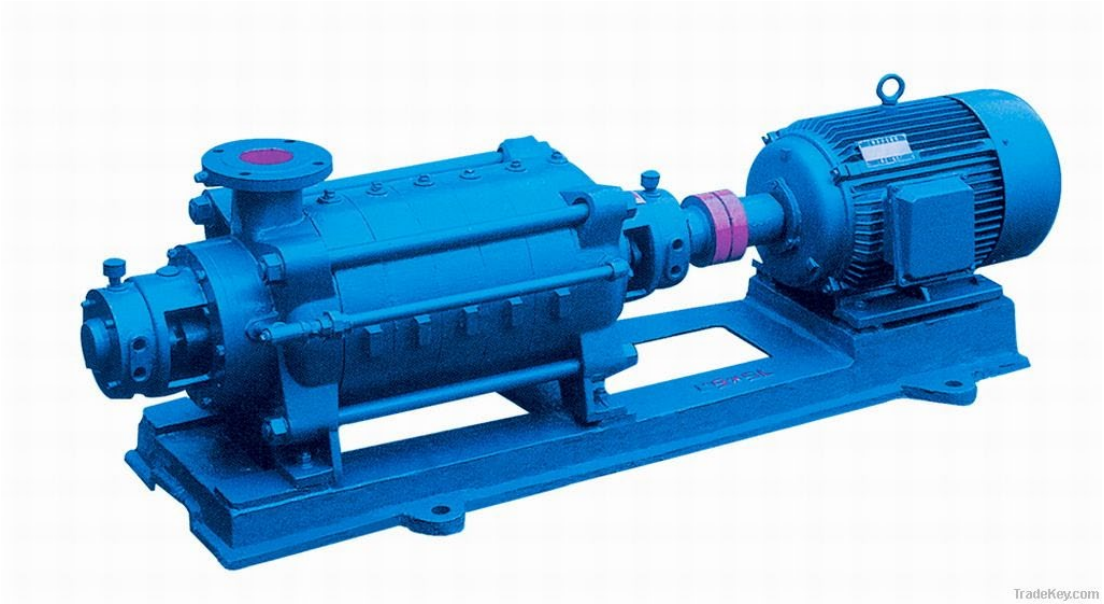


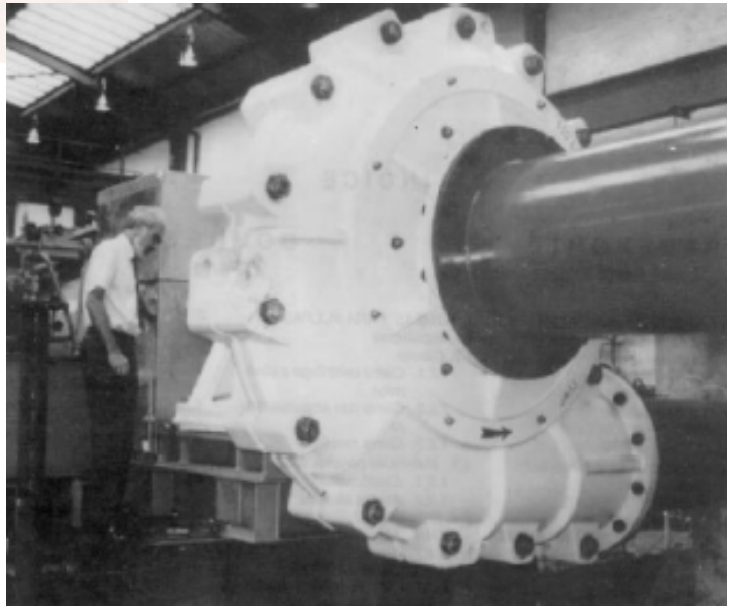


Principal ventaja: capacidad de bombear grandes caudales a bajas revoluciones. Este hecho es muy importante cuando se trata de agua polucionada con sólidos en suspensión.

Tanto las bombas centrífugas horizontales, como las sumergibles pueden instalarse para convertirlas en multicelulares con unidades adicionales, pero esta disposición es poco adecuada.







Whisper Pac Enclosure

Quiet Vandal-Pac Enclosure

Critically Silenced Enclosure

Bombas sumergibles de pozo o sondeo

- Están especialmente diseñadas para emplearlas en sondeos profundos.
- La bomba y el motor están rígidamente acoplados y son sumergibles,
- Bomba y motor son cilíndricos y la longitud del conjunto con relación al diámetro es muy grande.
- Han evolucionado considerablemente, pasando de 1800 KW que han trabajado con éxito durante muchos años, a la construcción de motores de 2.400 y 3.000 KW .
- La tensión de alimentación de los motores con una potencia inferior a 300 KW suele ser de 500, 380 y 220 V, mientras que los de más de 1.000 KW se alimentan a 3.000 y 6000 V por medio del cable eléctrico de alimentación que sale del motor y se mantiene adosado a la bomba y tubería.
- Básicamente, estos motores son similares a los convencionales trifásicos de inducción, estando las bobinas constituidas por unos cables protegidos por una cubierta de PVC o material semejante que permita una larga duración bajo el agua.
  - El grupo motobomba irá suspendido por una columna de tubos embridados por cuyo interior circulará el agua extraída.
  - Toda la columna se suspenderá de un cabezal torre o tapa situada en la boca del sondeo, la cual dispondrá de una empaquetadura para el paso del codo final de salida del líquido.

Corte de una bomba sumergible de acero inoxidable

Corte de motor sumergible

Corte de una bomba sumergible de tazones, en hierro-bronce

Bombas sumergibles de pozo o sondeo

Básicamente, estos motores son similares a los convencionales trifásicos de inducción.

Las bobinas están constituidas por unos cables protegidos por una cubierta de PVC o material semejante que permita una larga duración bajo el agua.

El grupo motobomba va suspendido por una columna de tubos embridados por cuyo interior circulará el agua extraída.

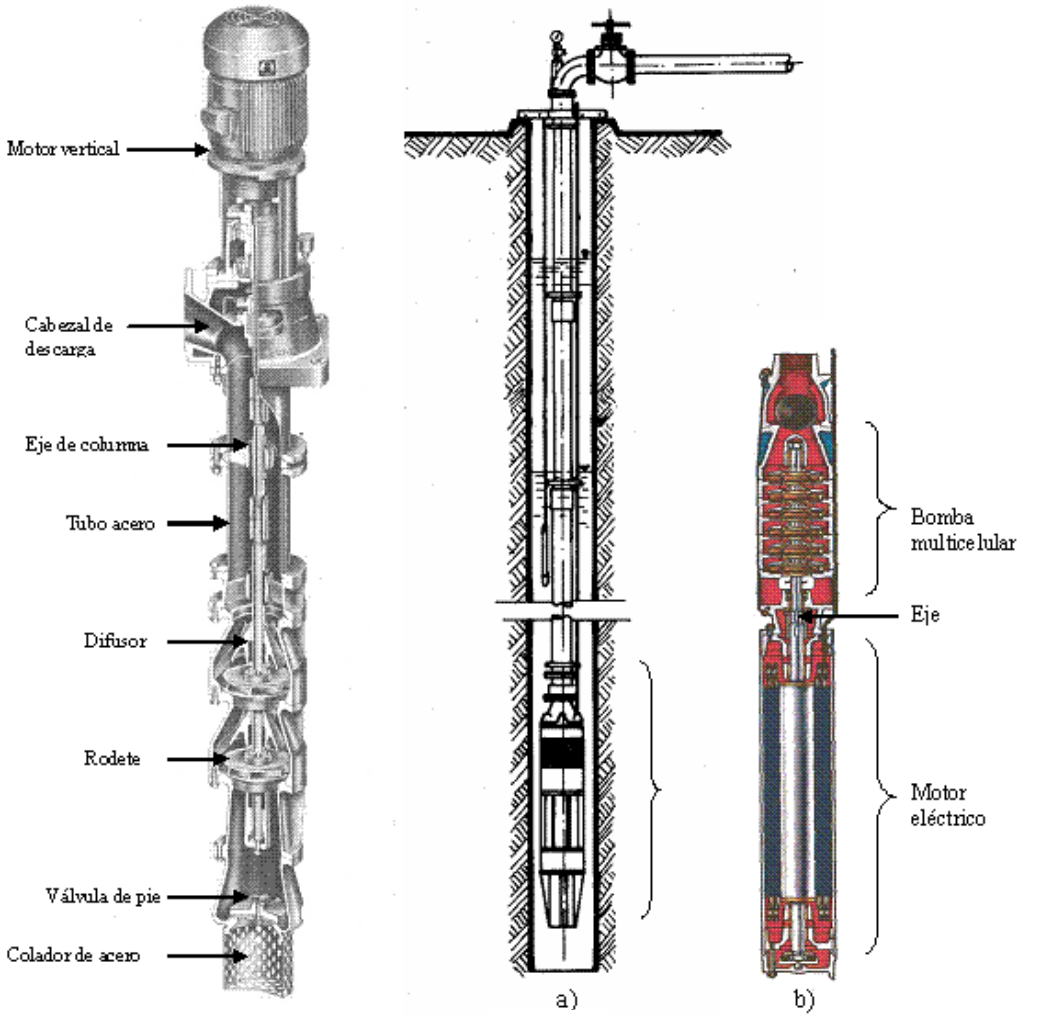
Toda la columna se suspende de un cabezal torre o tapa situada en la boca del sondeo, la cual dispondrá de una empaquetadura para el paso del codo final de salida del liquido.

Estas bombas no requieren ser colocadas totalmente verticales, por lo cual podrán instalarse en cualquier posición. Este hecho las hace muy versátiles pudiéndose utilizar no sólo en pozos, sino incluso en balsas colectoras, etc.

La altura dinámica de elevación supera, para las bombas unicelulares, los 300 m., pero mediante la superposición de otras células, esta altura puede incrementarse paulatinamente, conforme se desarrolle la explotación minera.

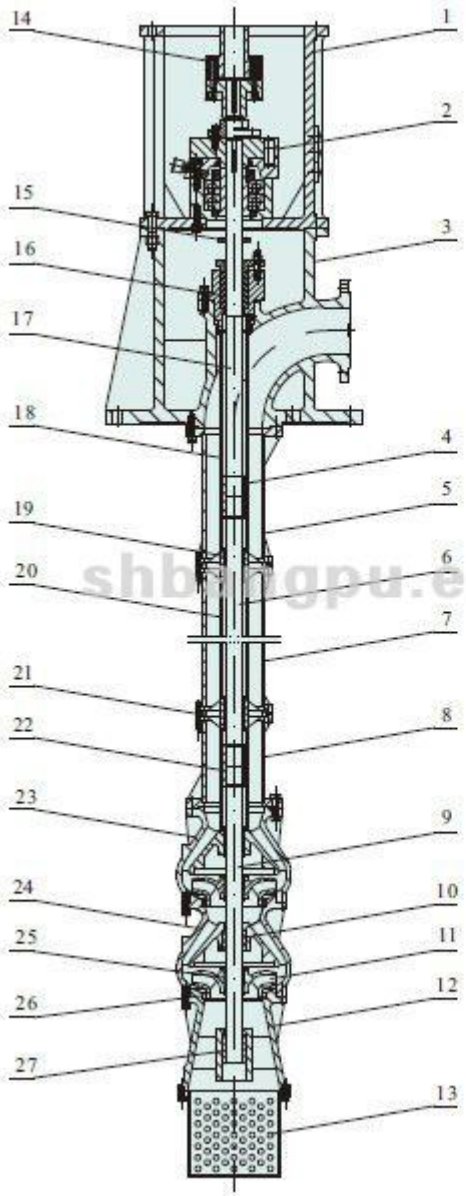
Bombas multicelulares de eje vertical

- Están especialmente diseñadas para su aplicación en sondeos y difieren de las anteriores en que sólo la bomba queda sumergida estando accionada mediante un largo eje que recorre toda la longitud del pozo y que es movido por el motor situado en superficie.
- Las columnas son semejantes a las ya descritas para las bombas anteriores.
- Las longitudes de los ejes de transmisión pueden llegar a superar los 200 m
- El cabezal situado en la boca del pozo lleva un orificio con empaquetaduras por el que el eje de fuerza atraviesa el tubo acodado de entrega.
- Puede llevar un motor eléctrico vertical, o tener el eje de salida horizontal, verificándose el cambio de dirección a través de un grupo de engranaje.



Bomba vertical multicelular

Bombas de turbina verticales de motor sumergido (electrobombas o bombas buzo). a) Instalación; b) Detalle del interior del grupo sumergido



shbangpu.en.alibaba.com

序号 No	名称 Name
1	电机座 Motor base
2	防反转装置 Anti-reverse device
3	出水座 Outlet base
4	联轴器 Coupling
5	上扬水管 Upper ascending pipe
6	传动轴 Transmissiion shaft
7	中间扬水管 Mid. Ascending pipe
8	下扬水管 Lower ascending pipe
9	叶轮轴 Impeller shaft
10	中间轴承 Mid. Rubber bearing
11	叶轮 Impeller
12	进水座 Inlet base
13	滤网 Strainer
14	弹性联轴器部件 Flexible coupler
15	挡水圈 Baffler
16	填料密封部件 Packing seal
17	电机轴 Motor shaft
18	上套管 Upper armor tubing
19	支架轴承 Bracket rubber bearing
20	中间套管 Mid. armor tubing
21	支架 Bracket
22	下套管 Lower armor tubing
23	上导流体 Upper diversion body
24	导流体 Diversion body
25	锥套 Taper sleeve
26	密封环 Seal ring
27	下轴承 Lower rubber bearing

SOMBAS SACI
SOMBAS SACI

Ventajas:

- La principal ventaja de estas unidades es que el motor puede cambiarse rápidamente sin afectar al resto de la instalación, y el motor no es vulnerable a los daños potenciales por hundimiento de los sondeos.
- Igual que con las bombas verticales de fondo, a éstas pueden irse añadiendo células conforme vayan cambiando las necesidades de la explotación.

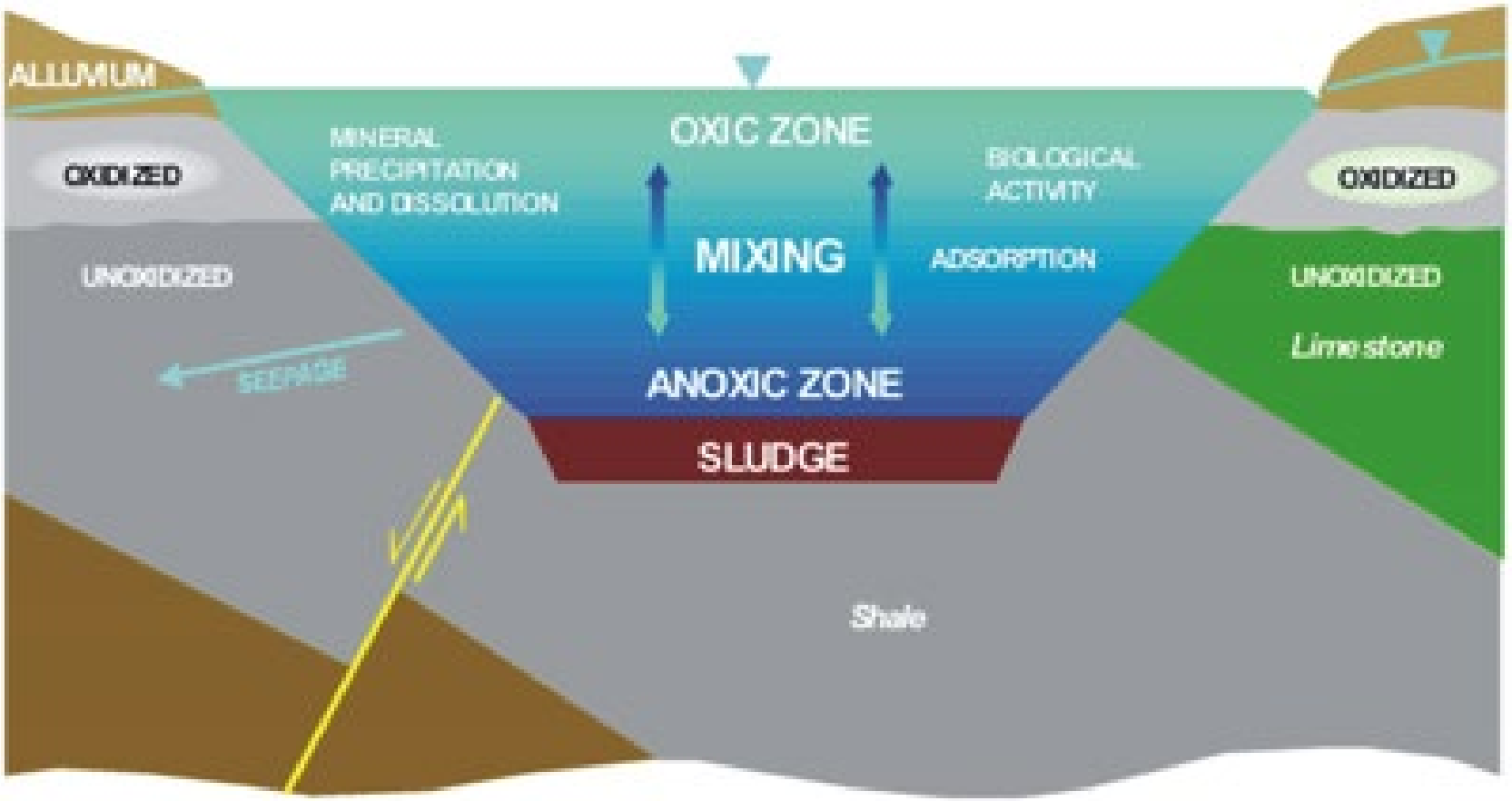
Desventaja:

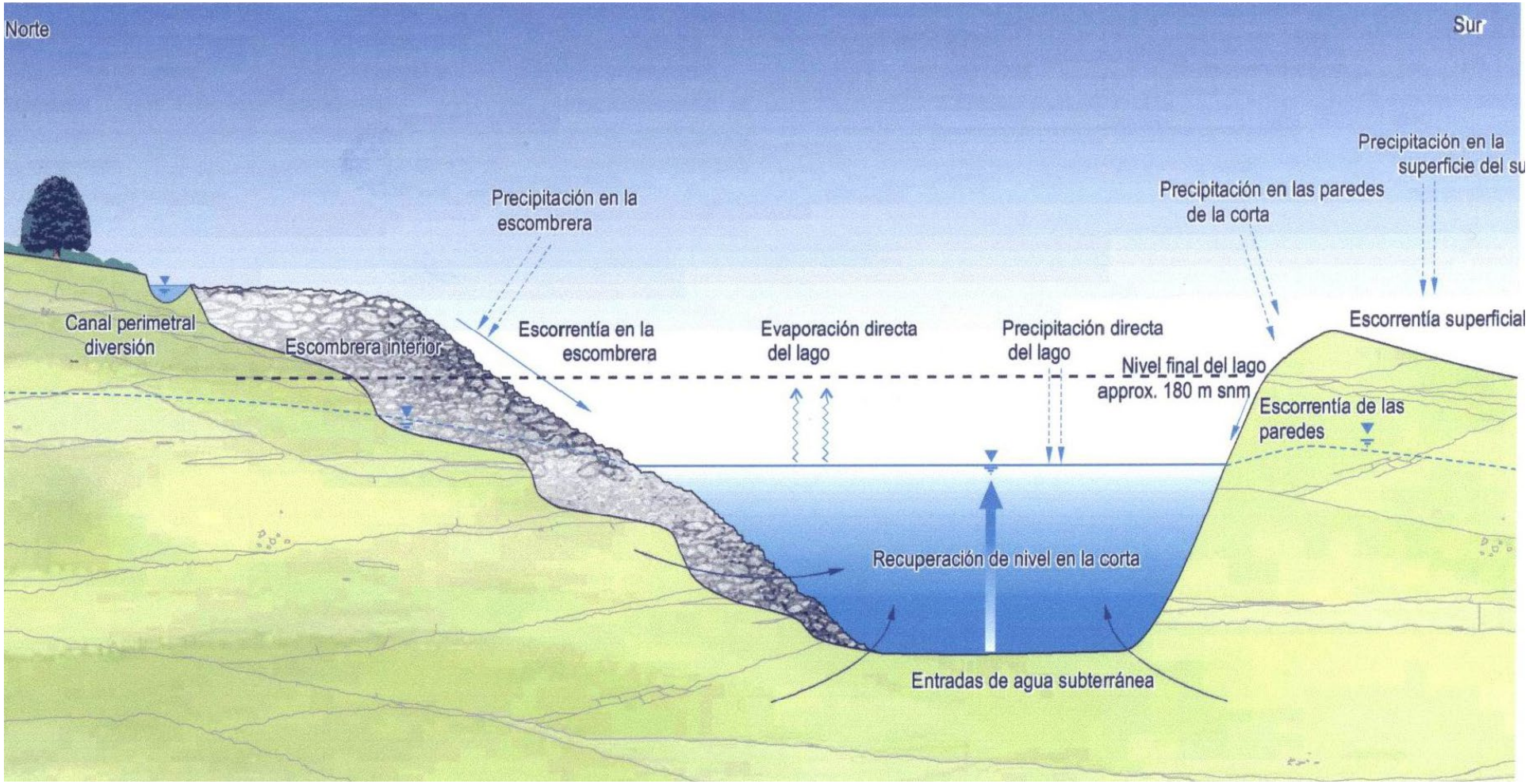
- Requiere una buena alineación entre el motor y la bomba, lo que limita algunas aplicaciones como la utilización en pontones o laterales de balsas.

10

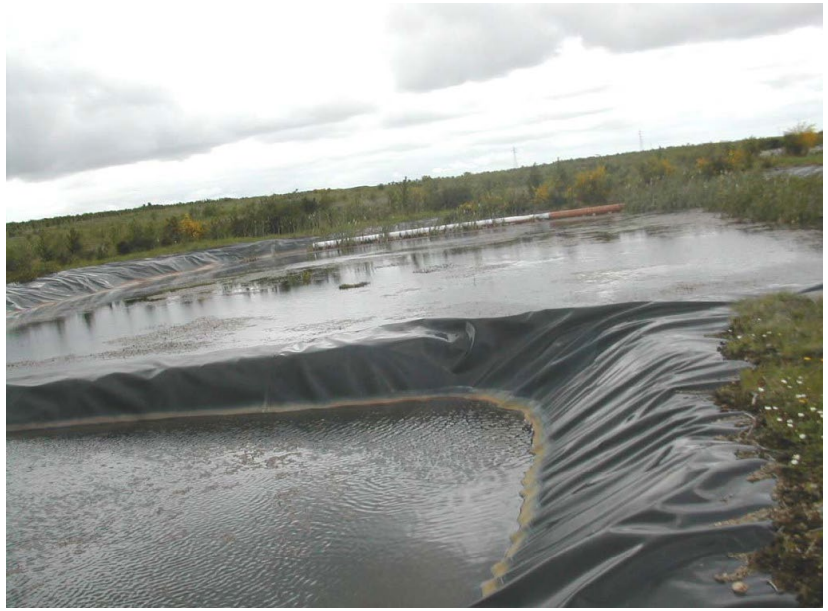
Gestión de aguas en la restauración ambiental de explotaciones mineras

Problemática creada en cortas inundadas




Norte
Sur
Precipitación en la escombrera
Precipitación en las paredes de la corta
Precipitación en la superficie del su
Canal perimetral diversión
Escombrera interior
Escorrentía en la escombrera
Evaporación directa del lago
Precipitación directa del lago
Nivel final del lago approx. 180 m snm
Escorrentía superficial
Escorrentía de las paredes
Recuperación de nivel en la corta
Entradas de agua subterránea

El caso de la antigua mina de Meirama



RESIDENCIAL LAGO DE MEIRAMA

El caso de Corta Atalaya (Minas de Riotinto, Huelva)

Corta Atalaya en la actualidad

Restauración de cauces en zonas mineras

5 26 '99

Dudas y preguntas

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGIA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍAS MINERAS

TECHNICAL UNIVERSITY OF MADRID

HIGHER TECHNICAL SCHOOL OF MINING AND ENERGY ENGINEERING

MINING TECHNOLOGIES LABORATORY