

EXPLOTACIÓN MINERA, PREPARACIÓN Y CONCENTRACIÓN

Julio Alberto Aguilar Schafer

**1.- UBICACIÓN Y
GEOLOGÍA
DEL
YACIMIENTO**

**2.- CÁLCULO DE
RESERVAS**

**3.- DESTAPE Y
PREPARACIÓN**

**4.- ANÁLISIS DE LOS
SISTEMAS DE
EXPLOTACIÓN**

**5.- COMPARACIÓN
Y
ELECCIÓN**

**6.- DESARROLLO DEL
SISTEMA ELEGIDO**

**8.- ANÁLISIS
ECONÓMICO**

**7.- PRODUCCIÓN
MINERA**

Los yacimientos minerales:

El proceso generador magmático (plutonismo) y subvolcanismo

Volcanismo

Metasomatismo

Hidrotermalismo

El proceso generador sedimentario

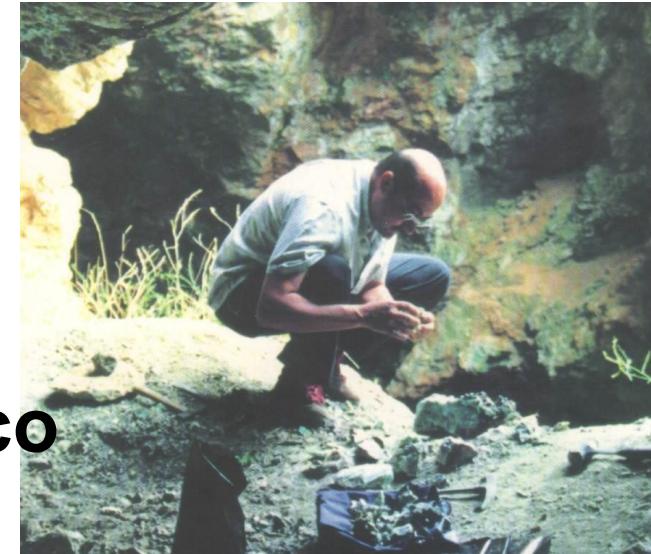
La erosión y el transporte

Sedimentación detrítica

Sedimentación química y bioquímica

Sedimentación orgánica

El Procesos generador metamorfico



TÉCNICAS UTILIZADAS PARA LA LOCALIZACIÓN DE DEPOSITOS MINERALES

- **Sensores remotos o imágenes de satélites:** miden las ondas electromagnéticas (infrarrojo o calor y luz visible) emitidas por la superficie terrestre.
- **Geofísica:** Mide las características eléctricas, magnéticas, de densidad y de reflexión de ondas sísmicas de las rocas.
- **Geoquímica:** Mide el contenido de elementos tales como cobre, oro, plata, zinc y molibdeno de las rocas y sedimentos.

Conceptos Básicos

Un yacimiento puede ser descrito brevemente como una acumulación de mineral en una cantidad tal que pueda ser extraído económicamente.

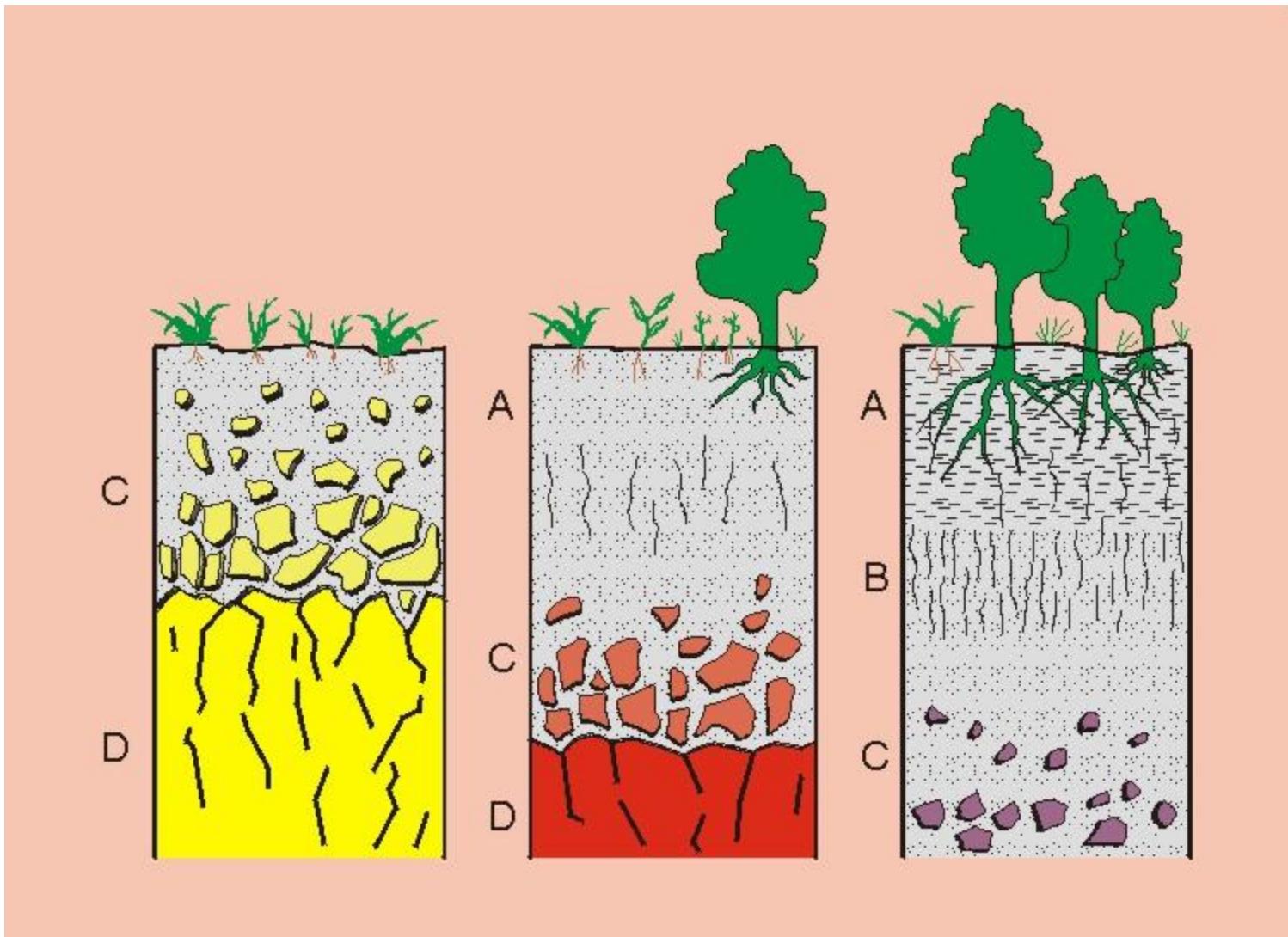
Clasificación
(de acuerdo a la naturaleza
del mineral valioso que
contienen)

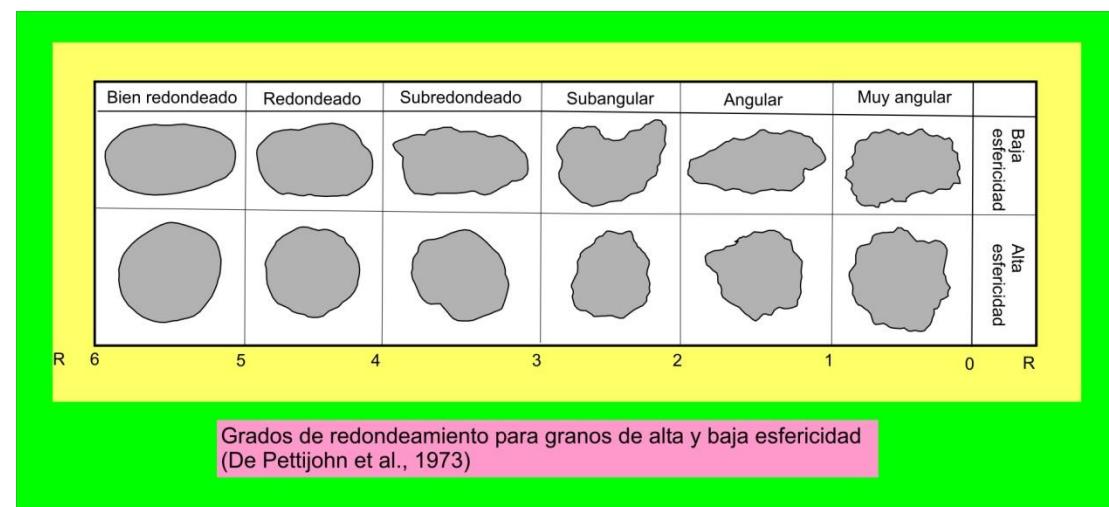
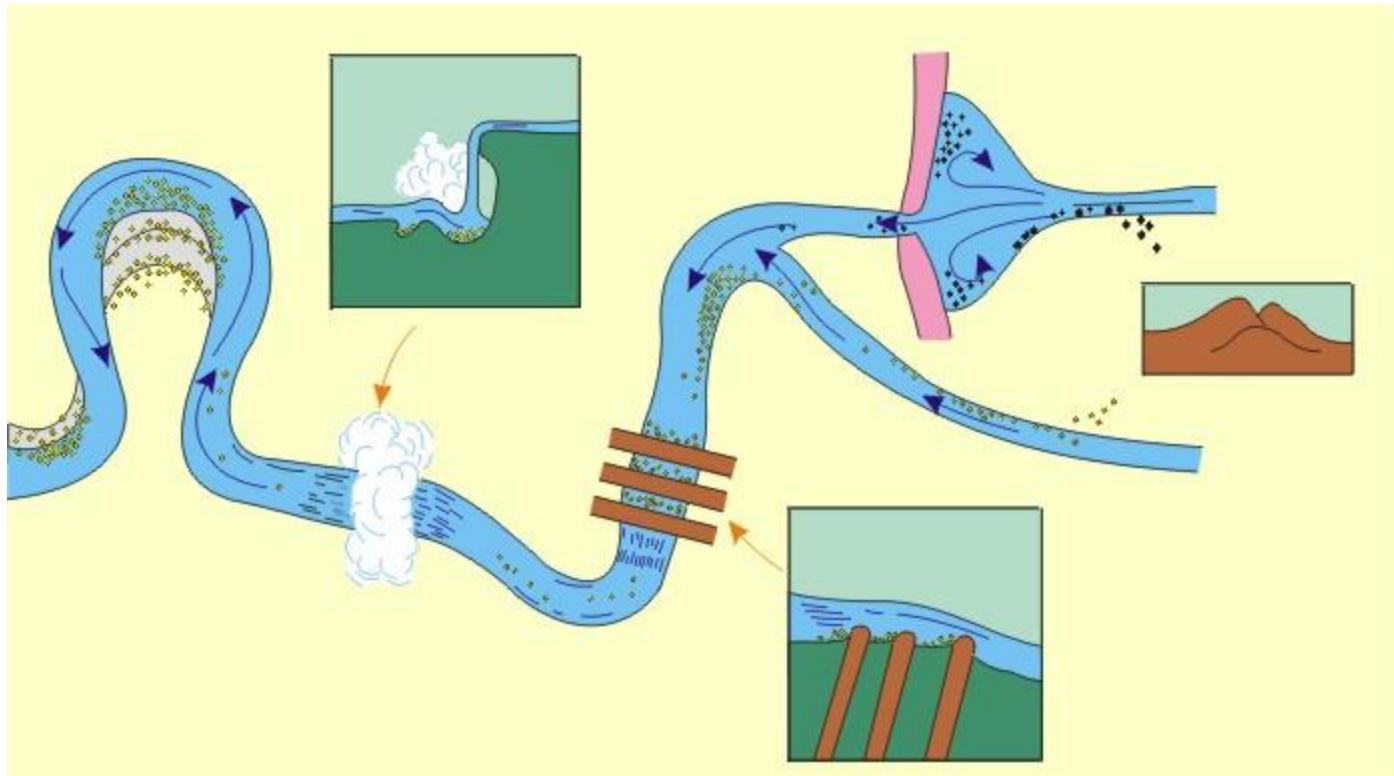
- » Yacimientos nativos → El metal está en forma natural, ej. Au, Pt
- » Yacimientos sulfurosos → El metal está en forma de sulfuros
- » Yacimientos oxidados → El metal se presenta en forma de óxidos
- » Yacimientos complejos → Contienen cantidades rentables de más de un mineral valioso.
Ej: galena y esfalerita

SU NATURALEZA GEOQUÍMICA ES FUNDAMENTAL PARA SU BENEFICIO

- **SULFUROS:** (Contienen azufre pero no oxígeno)
 - **Pirita:** azufre 54%, fierro 46%
 - **Calcopirita:** azufre 35%, cobre 35%, fierro 30%
 - **Bornita:** azufre 26%, cobre 63%, fierro 11%
 - **Covelina:** azufre 34%, cobre 66%
 - **Molibdenita:** azufre: 40%, molibdeno 60%
- **ÓXIDOS:** (Contienen oxígeno)
 - **Magnetita:** oxígeno 28%, fierro 72%
 - **Atacamita:** cobre, oxígeno, cloro, agua
 - **Crisocola:** cobre, oxígeno,silicio, agua
 - **Cuprita:** oxígeno 11%, cobre 89%
 - **Malaquita:** cobre, carbono, oxígeno, agua

Productos de la meteorización





EXTRACCIÓN

2 tipos de explotación:

- Minas Subterráneas
 - De Pozo
 - De Pendiente
 - De Colina
 - De Habitaciones y Pilares
 - De Pared Larga
- Minas a cielo abierto (superficiales)

Productos obtenidos de la mina

- **Mena:**

Mineral:

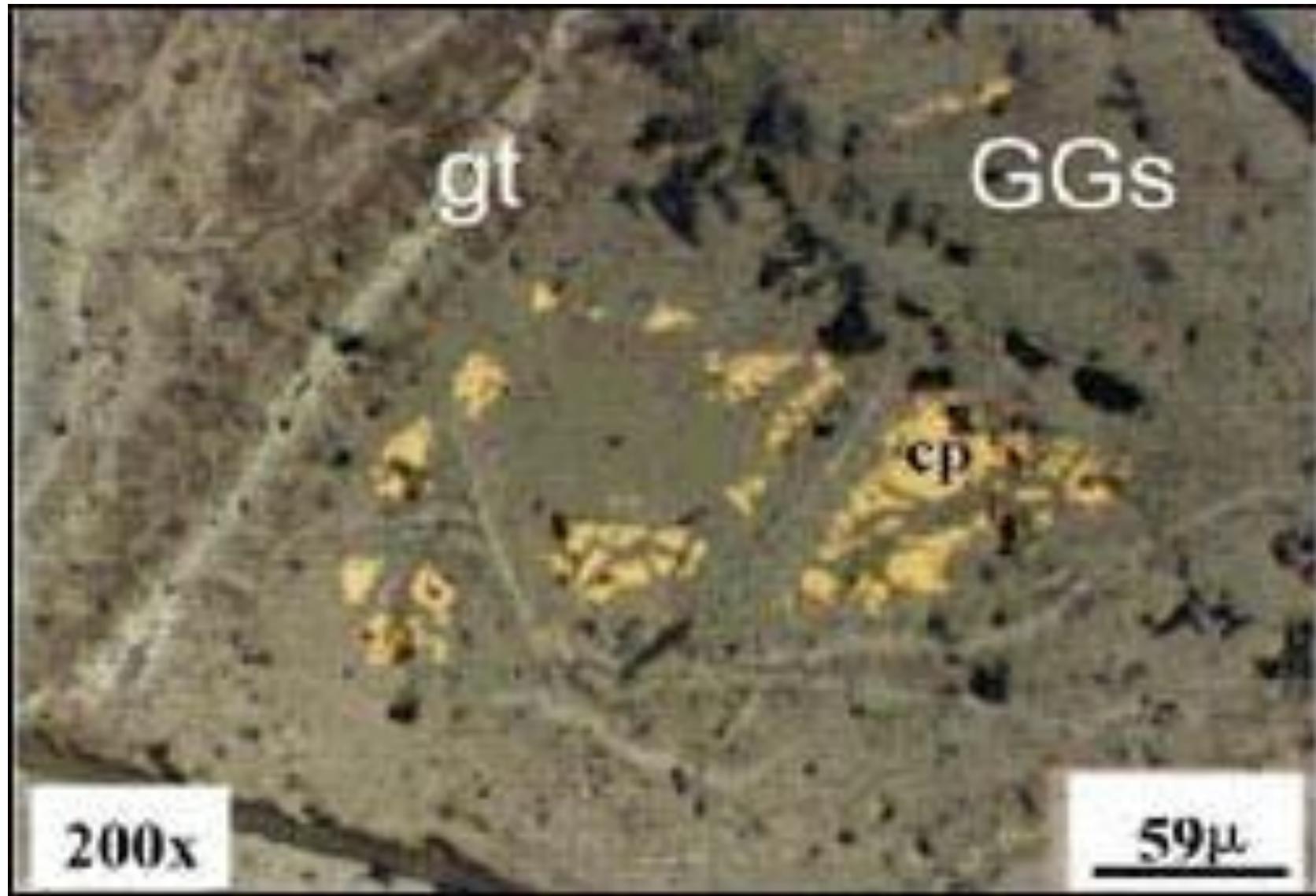
oxido (Fe_2O_3 , CuO , Al_2O_3 ,))

sulfuros (FeS_2 , FeCuS_2 ,))

Ganga:

silicatos: (SiO_2 ,))

carbonatos (CaCO_3 , MgCO_3 ,))



**Calcopirita dentro de las gangas.
Hasta la izquierda venilla de goethita**



Argentita. Guanajuato (México).

Cristales minerales de Piritita de Perú.



Las principales fuentes para obtener los metales son:

- 1) De la corteza terrestre.
- 2) Del fondo de los océanos.
- 3) Del agua de los océanos.
- 4) De la chatarra.

Los factores que determinan la conveniencia de explotar y procesar un depósito económico pueden resumirse en:

- 1. Ubicación y tamaño del depósito.**
- 2. Contenido del depósito, su mineralogía, y su textura.** La textura se refiere al tamaño y la distribución de los minerales con valor dentro del yacimiento. En algunos casos el mineral se presenta en forma gruesa de tal manera que se lo puede identificar a simple vista. Sin embargo, con frecuencia, el mineral se presenta finamente diseminado, y es necesario un examen microscópico para estudiar su presencia. Es importante conocer la naturaleza de los minerales para su procesamiento, pues existe diferencia entre la mena y ganga.
- 3. Aspectos financieros, requerimientos para inversión, capital de trabajo, costos de capital, impuestos, patentes, y regalías.**

- 4. Costos de operación mina. Los costos en minería subterránea son más altos que en minería a cielo abierto y aluvial, y es más económico solamente en yacimientos con alto contenido. Contenidos de 0.8 a 2 % son típicos en una mina subterránea de Sn, mientras que en una operación aluvional se puede trabajar con leyes mucho más bajas. Una operación con draga en Malasia puede procesar material con un contenido de 0.02 % de Sn o menos.**
- 5. Costos de servicios, tales como suministro de energía, agua, caminos, dique de colas, etc.**
- 6. Flujograma de tratamiento en la planta de concentración, costos de operación, leyes de concentrado, recuperación obtenible.**
- 7. Demanda del mineral concentrado, precio del metal, y valor del concentrado puesto mina.**

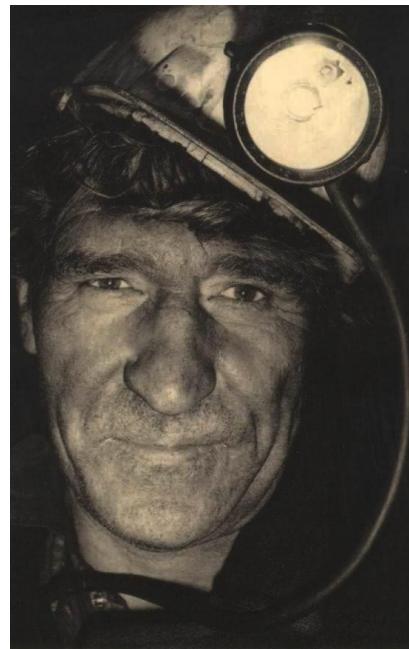
Explotación Minera artesanal



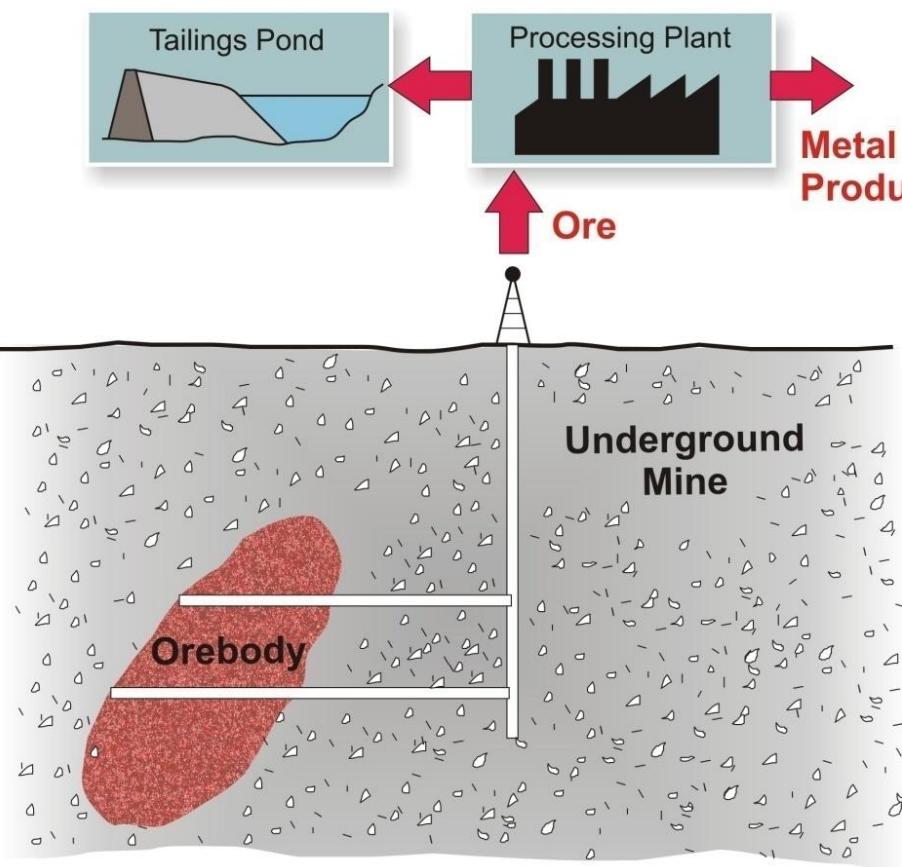
PERFORACIÓN ESTATIGRÁFICA



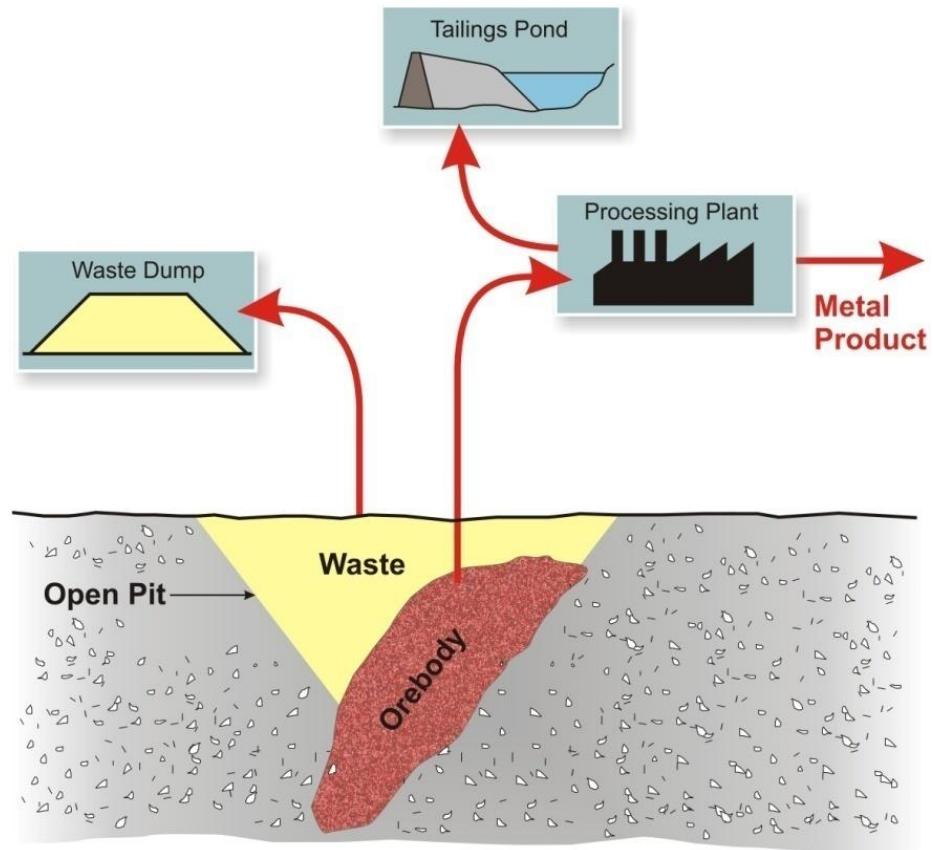
Métodos de explotación más comunes en minería subterránea



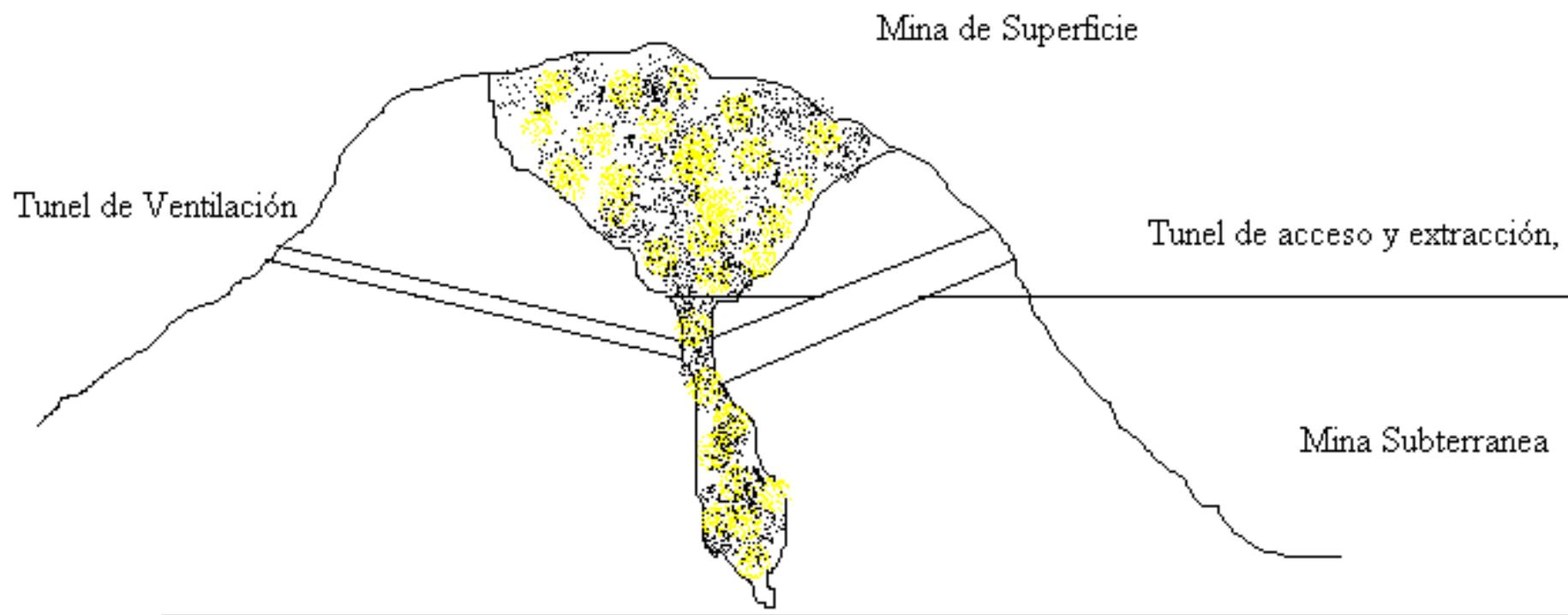
Minería Subterránea



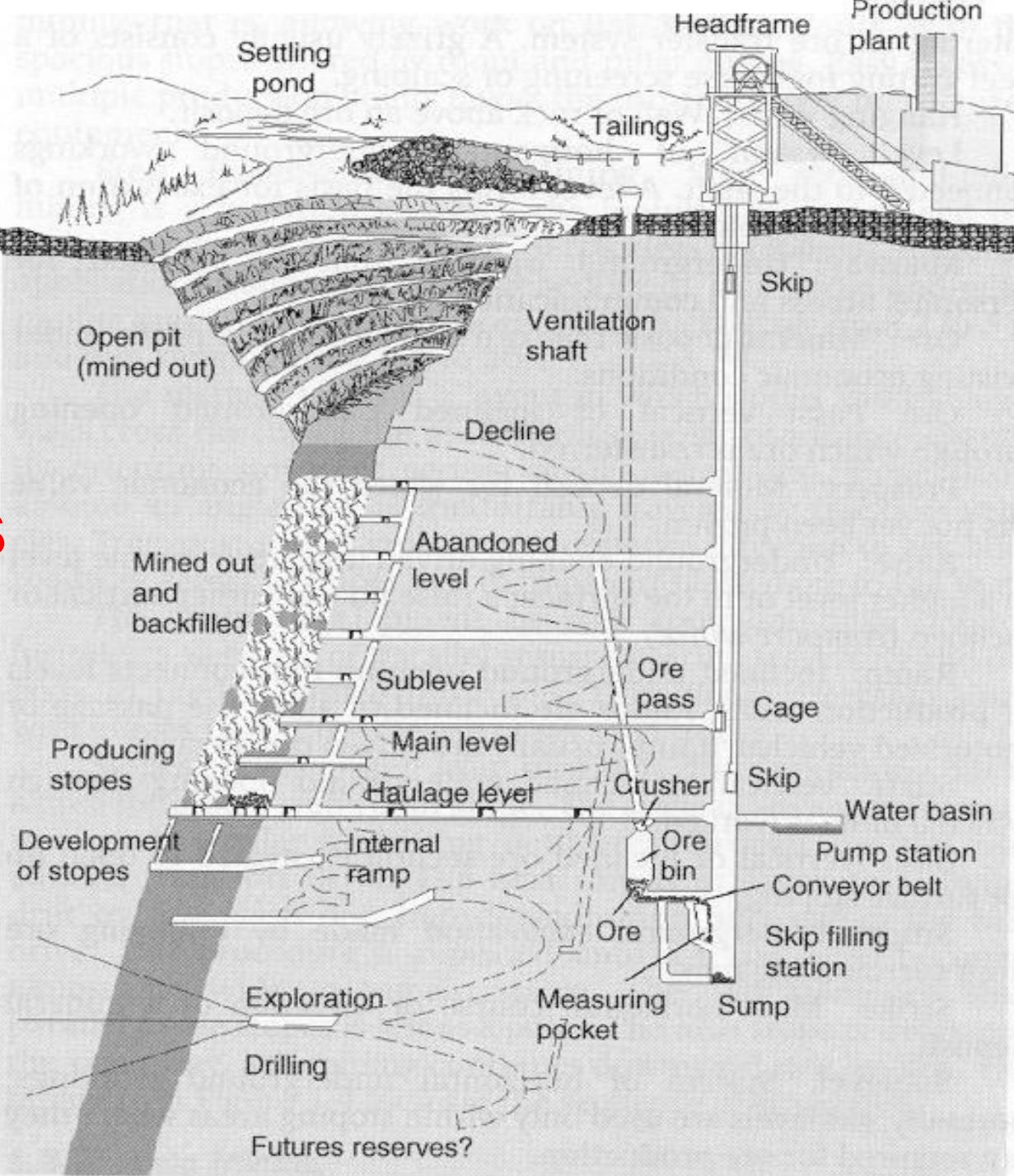
Minería a Cielo Abierto



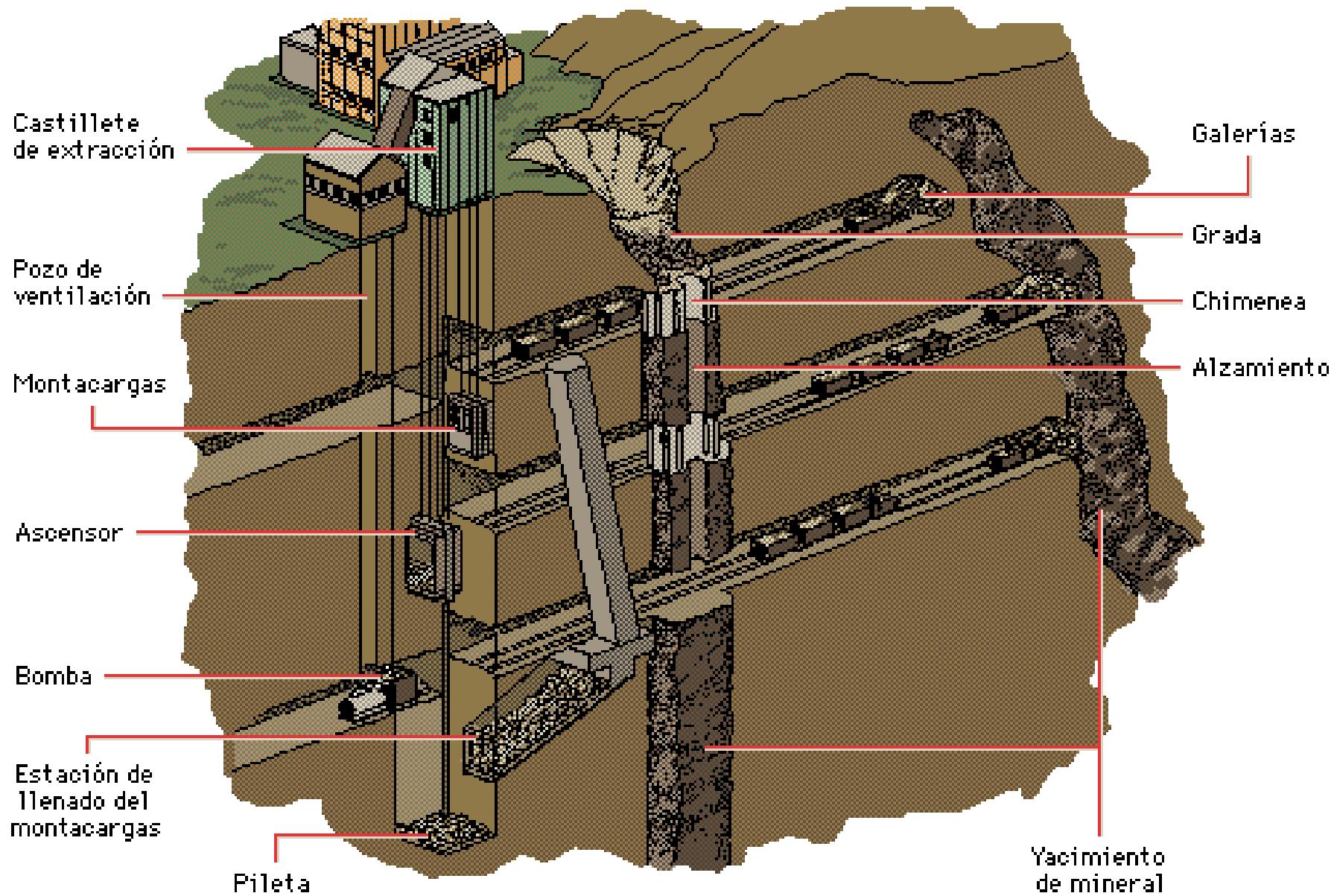
Mapa de la distribución de la mina marlin San Marcos, Guatemala



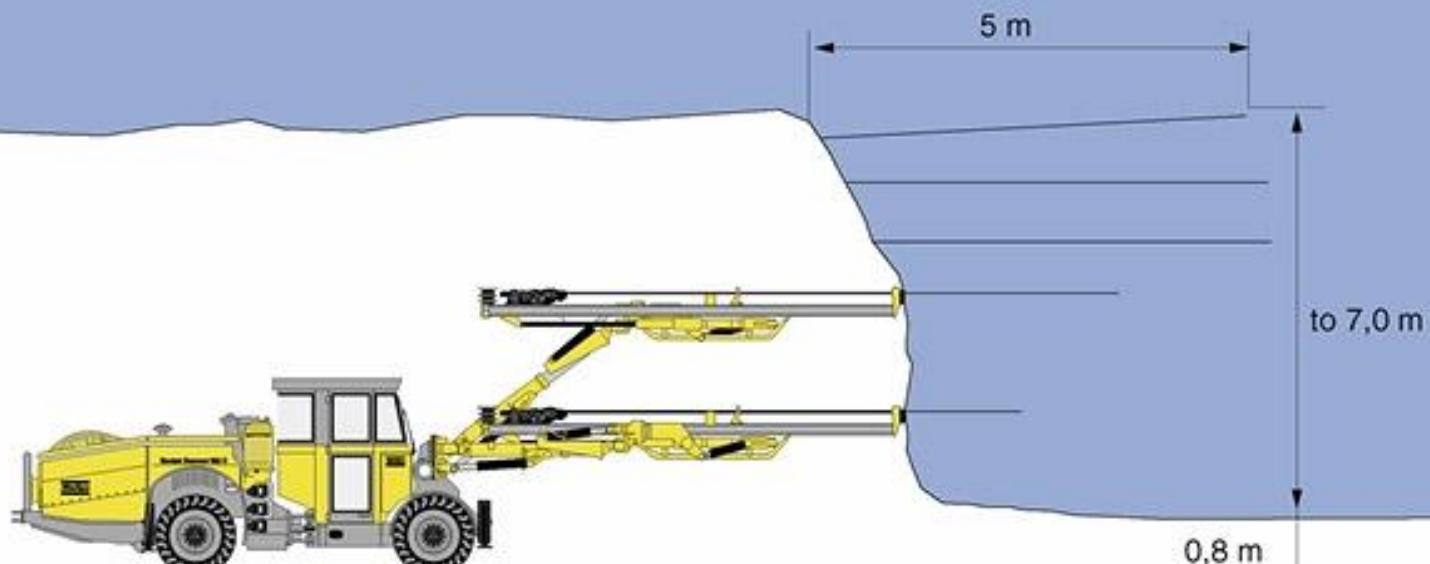
Componentes de una Mina Subterranean



MINA SUBTERRANEA



Perforación horizontal y alimentación



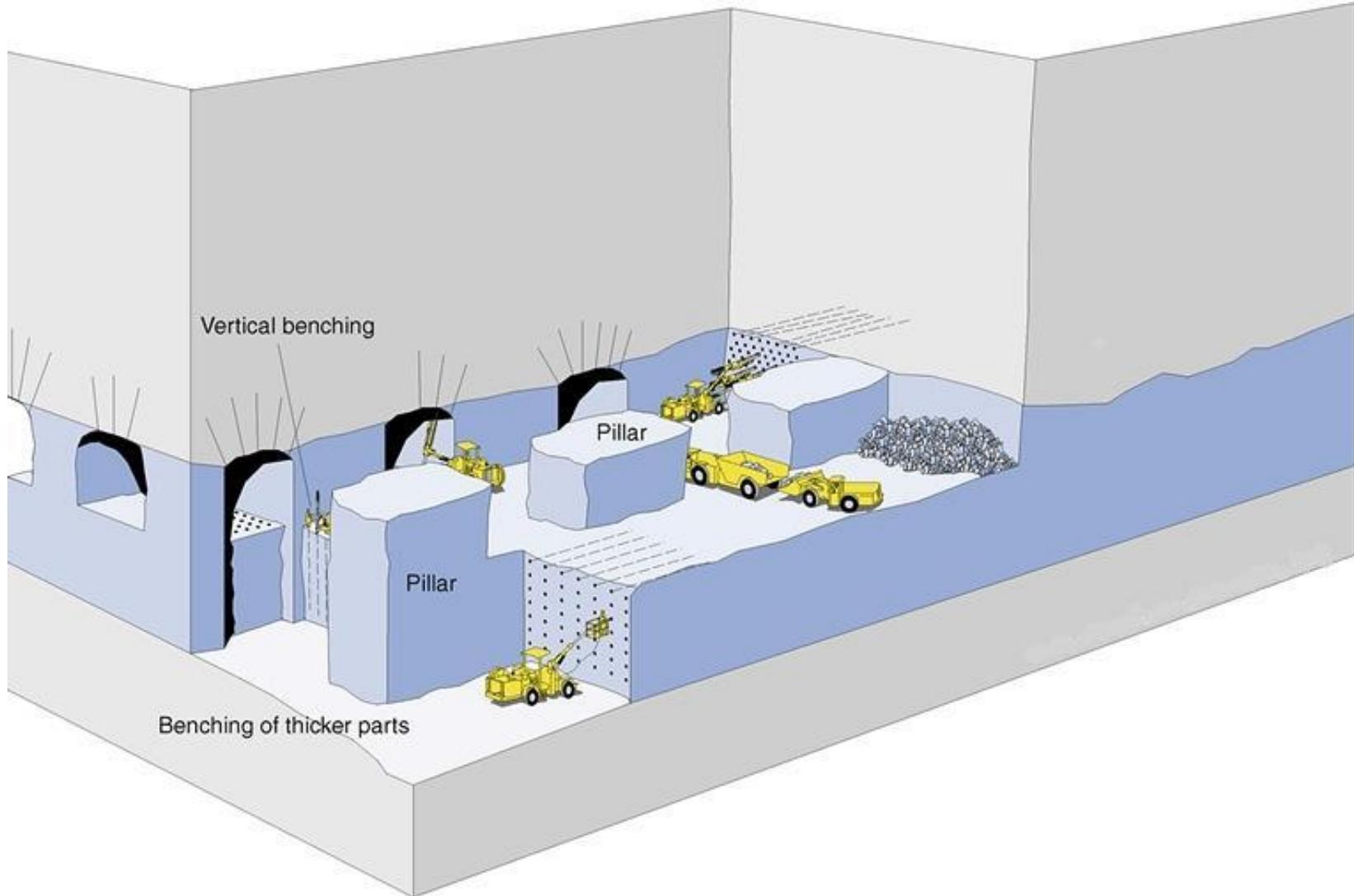


**Los túneles son reforzados con mallas de acero,
pernos de anclaje y cables de hormigón**

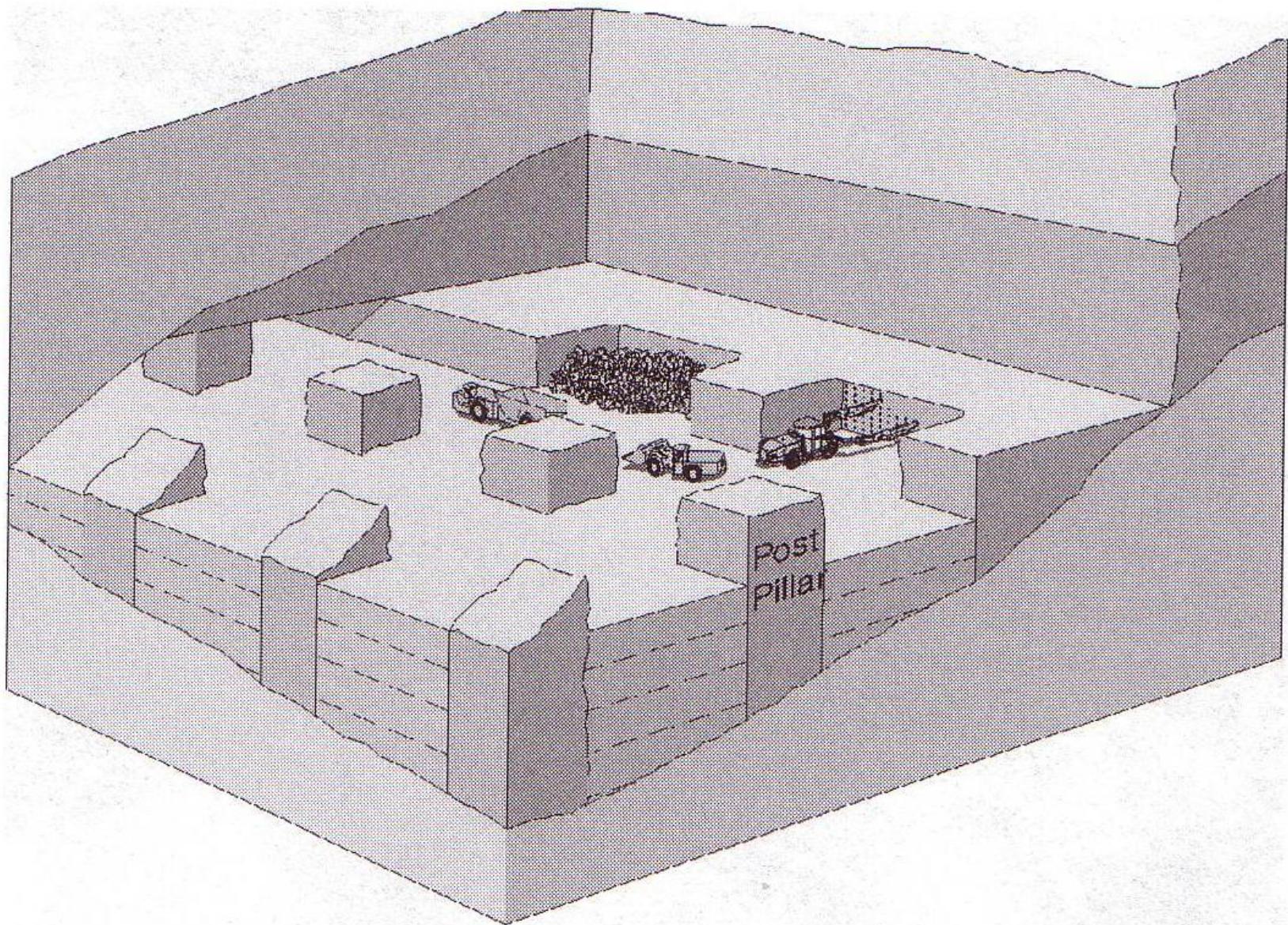
Minería subterránea



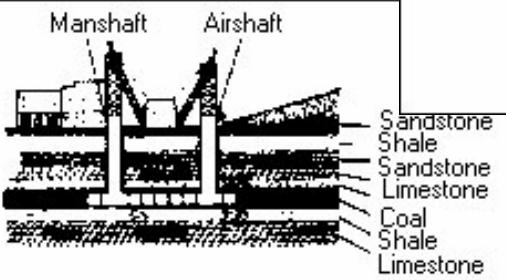
BOBEDAS Y PILARES



BOBEDAS Y PILARES



Underground Coal Mines



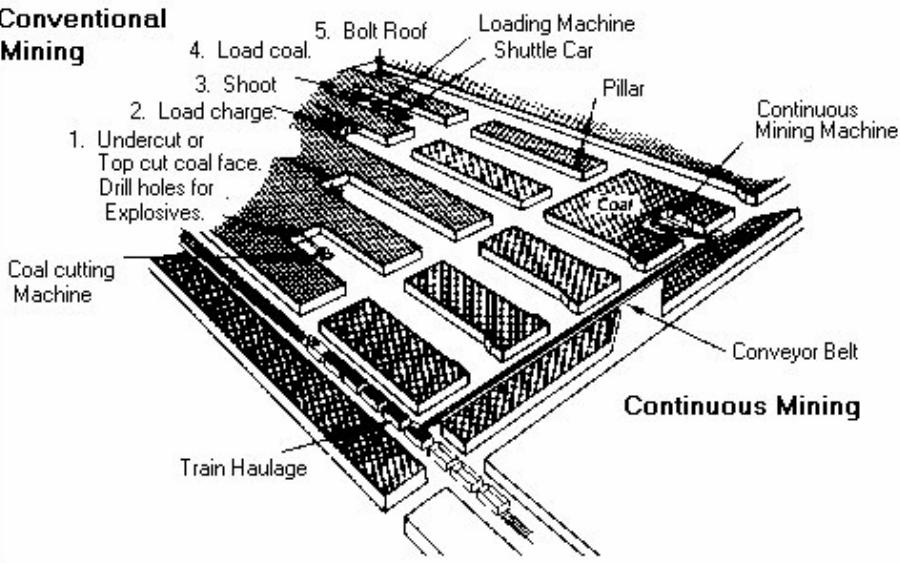
Slope Mine



ROOM AND PILLAR MINING

Conventional Mining

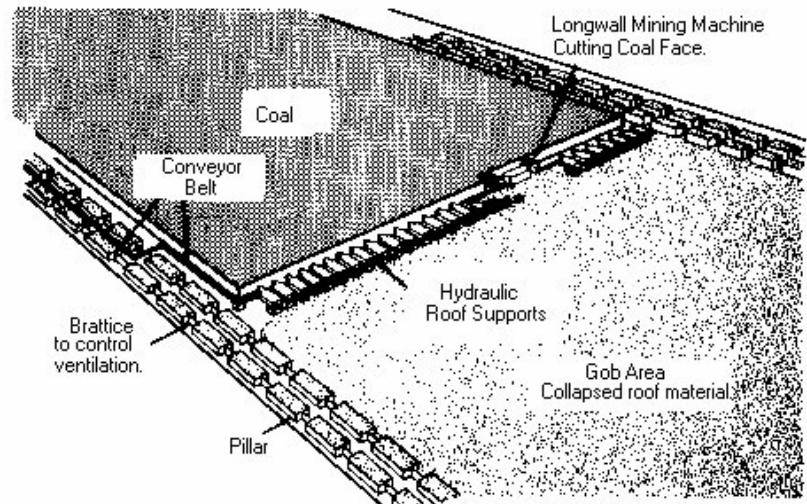
1. Undercut or Top cut coal face
Drill holes for Explosives.
2. Load charge.
3. Shoot
4. Load coal.
5. Bolt Roof



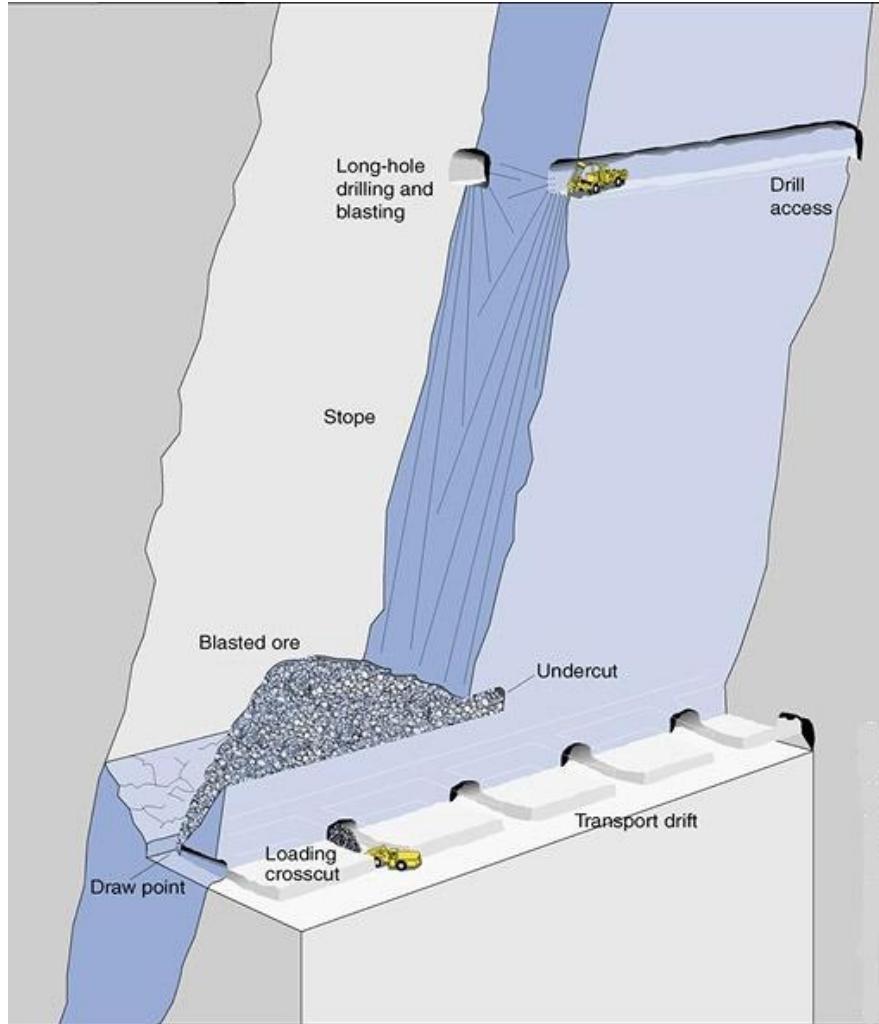
Continuous Mining

LONGWALL MINING

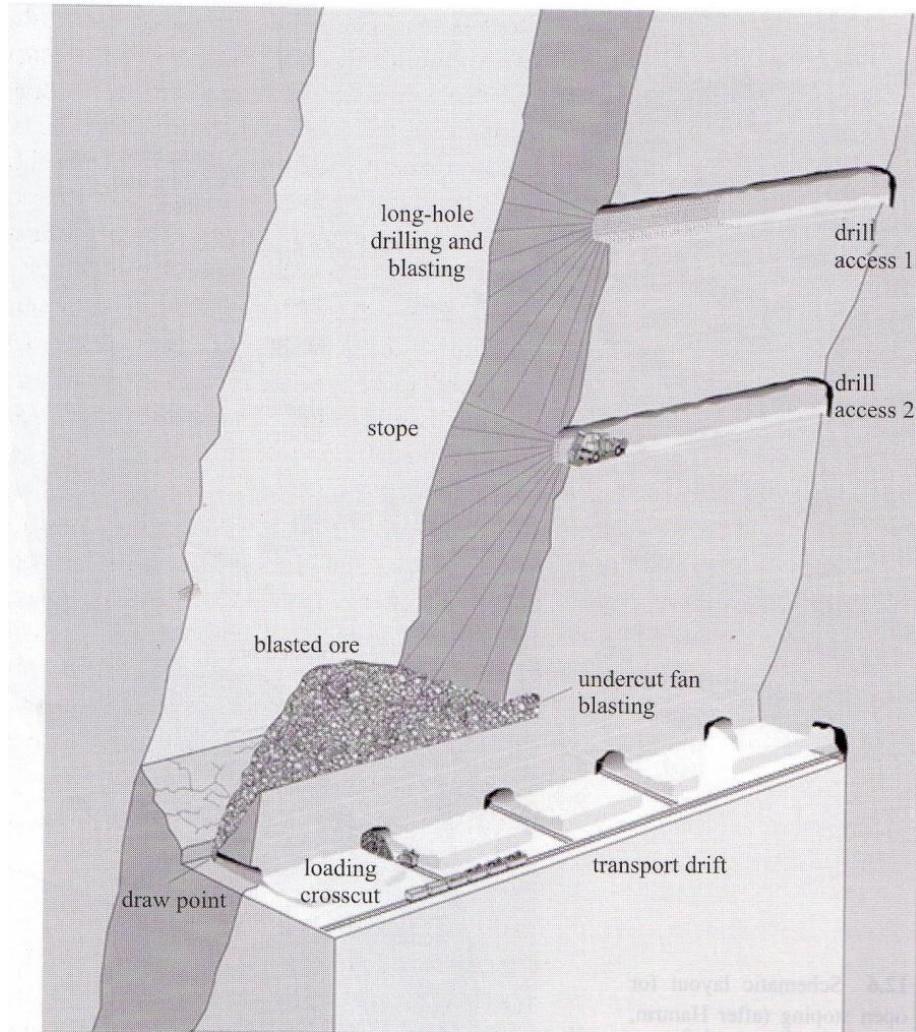
- Longwall Mining Machine Cutting Coal Face.
Brattice to control ventilation.



Socavón continuo

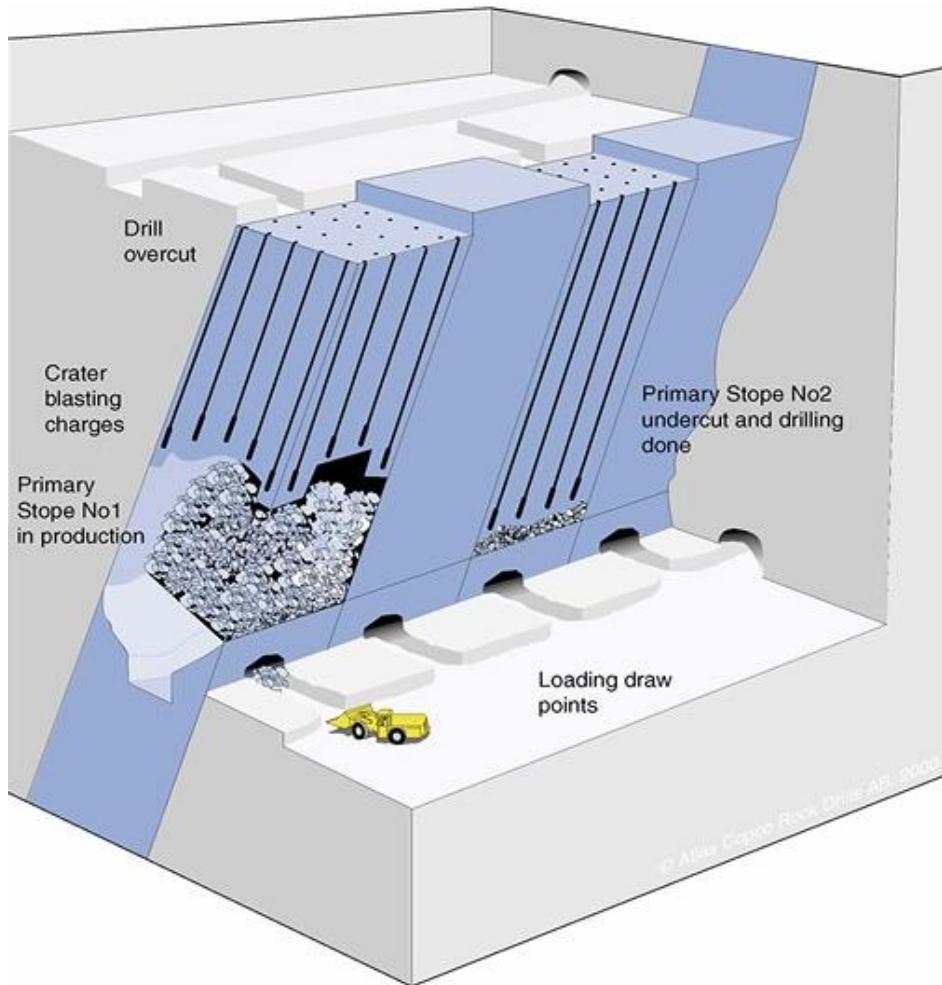


Socavón terminal

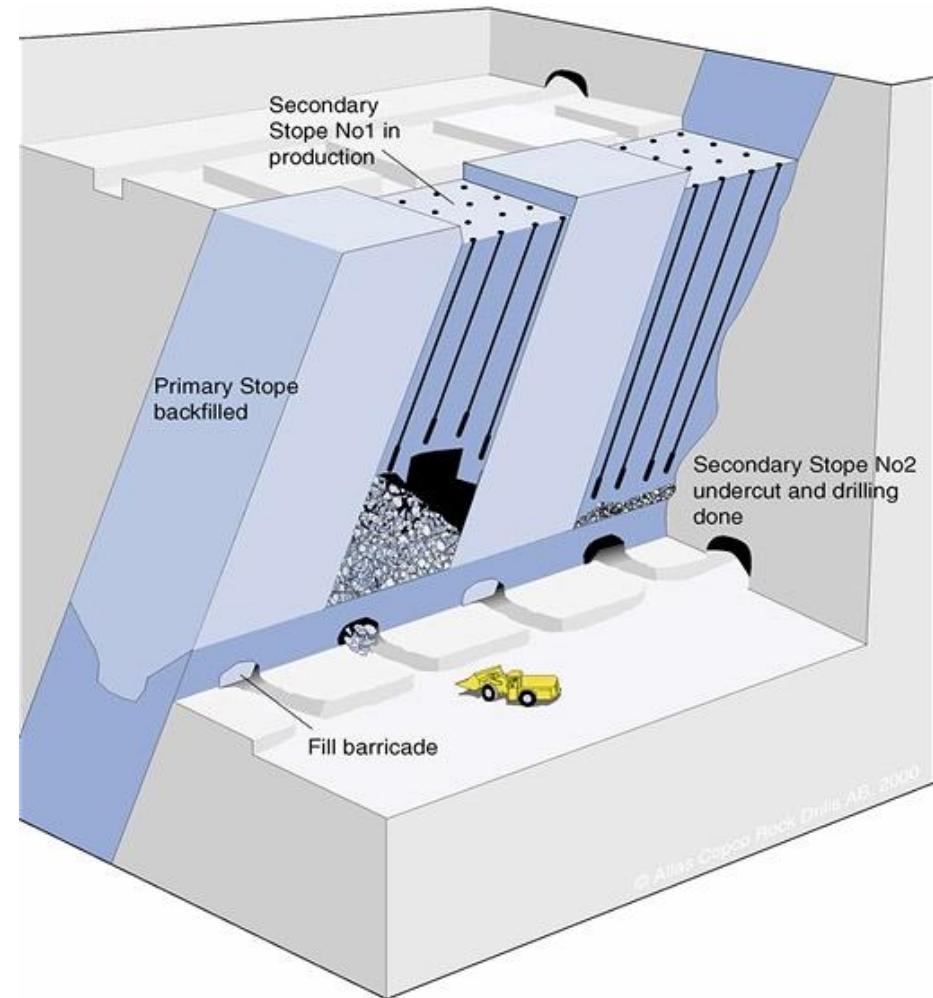


Extracción en Cráter Vertical con Relleno (VCR)

VCR Caserón Primario

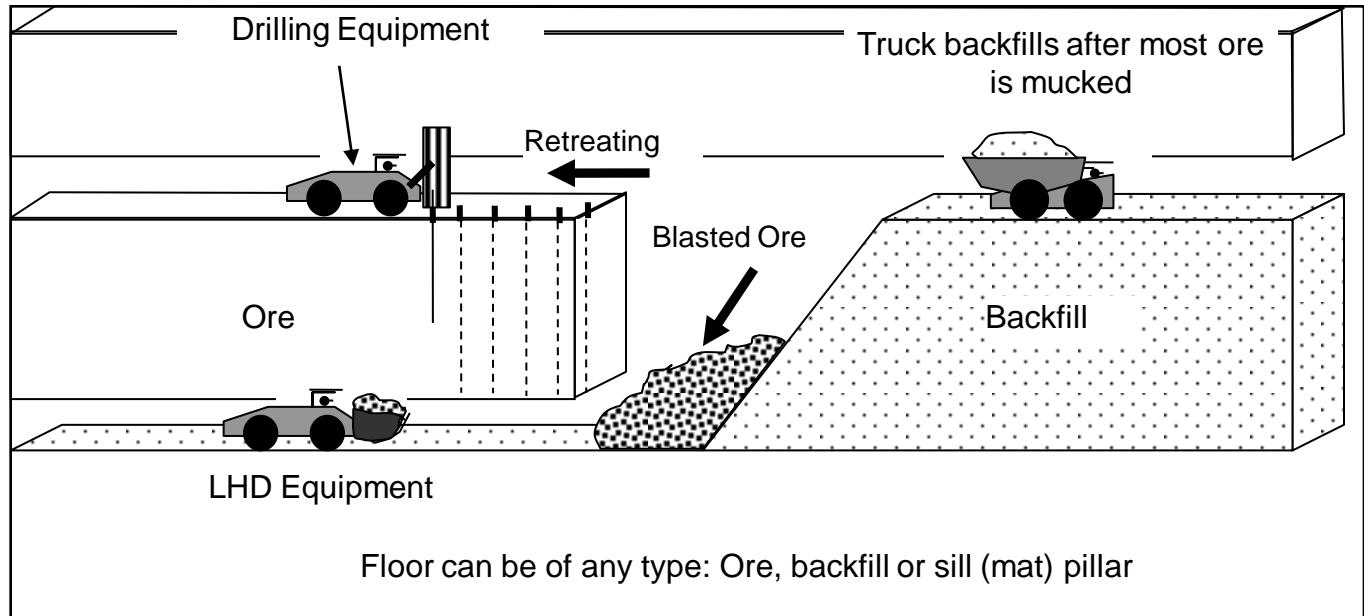


VCR Caserón Secundario

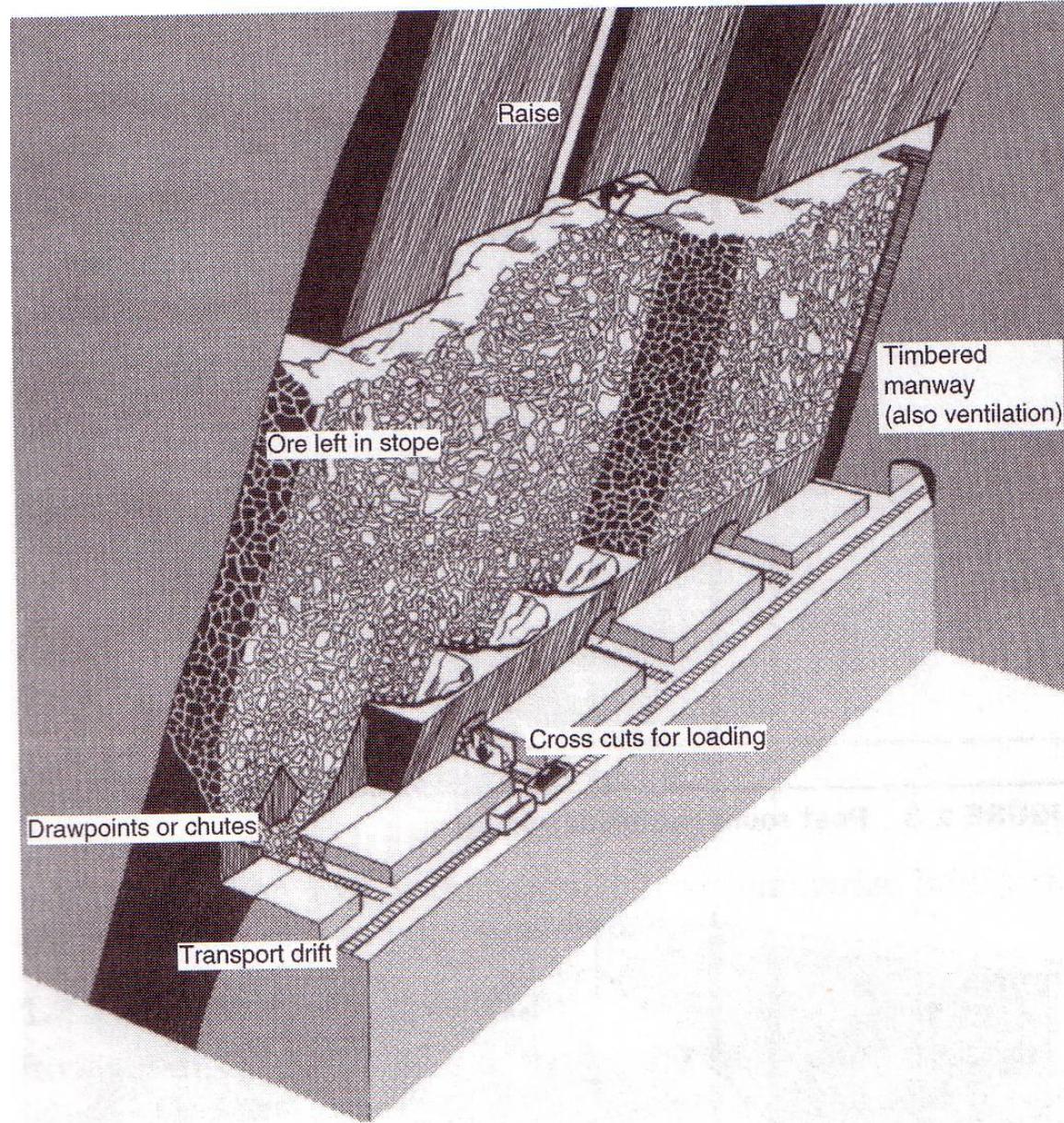


Socavón y Tope de Carga

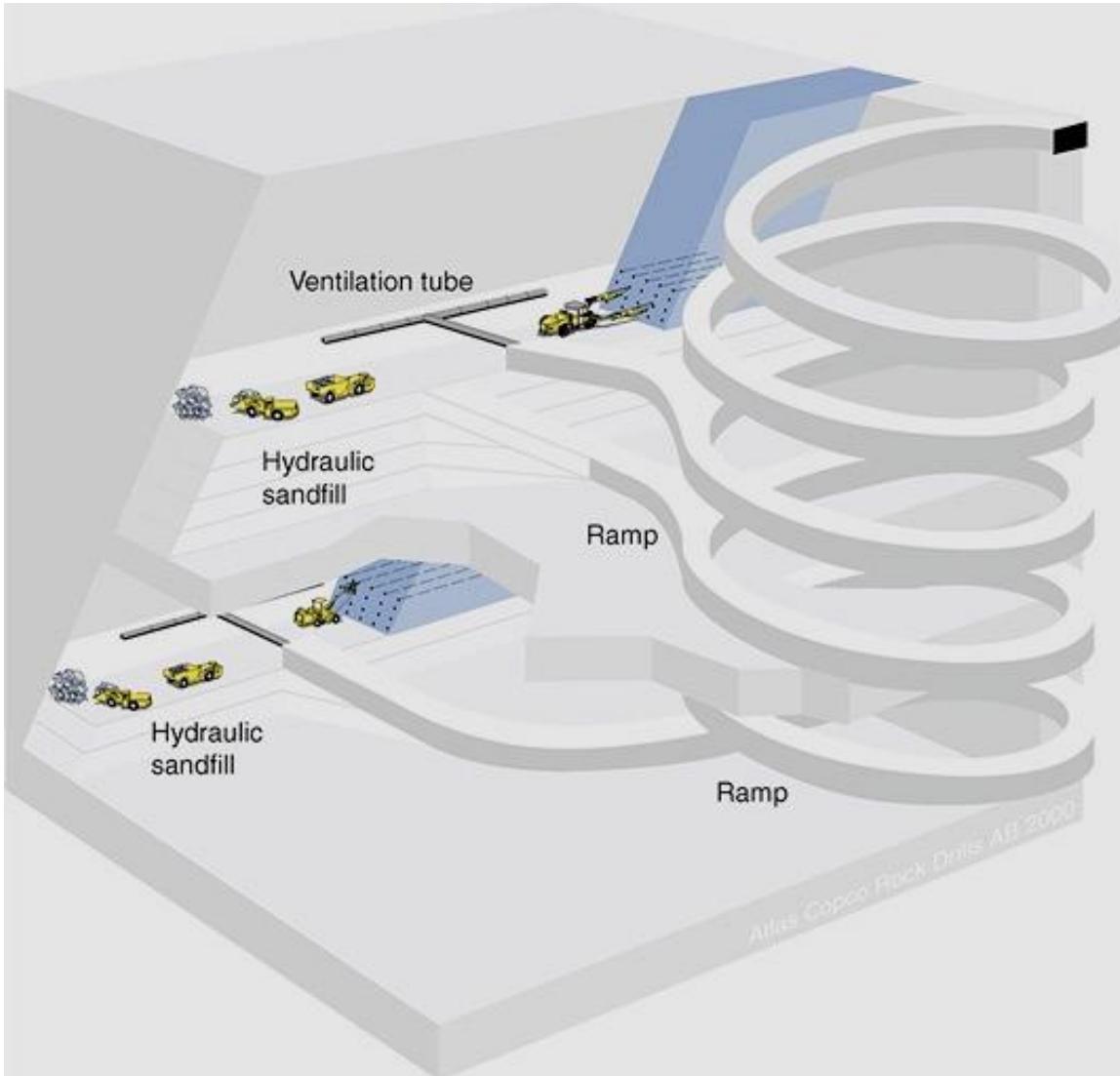
- **Alternativo a VCR**
- **Utilizado en cuerpos de menor competencia mayor continuidad en la corrida**



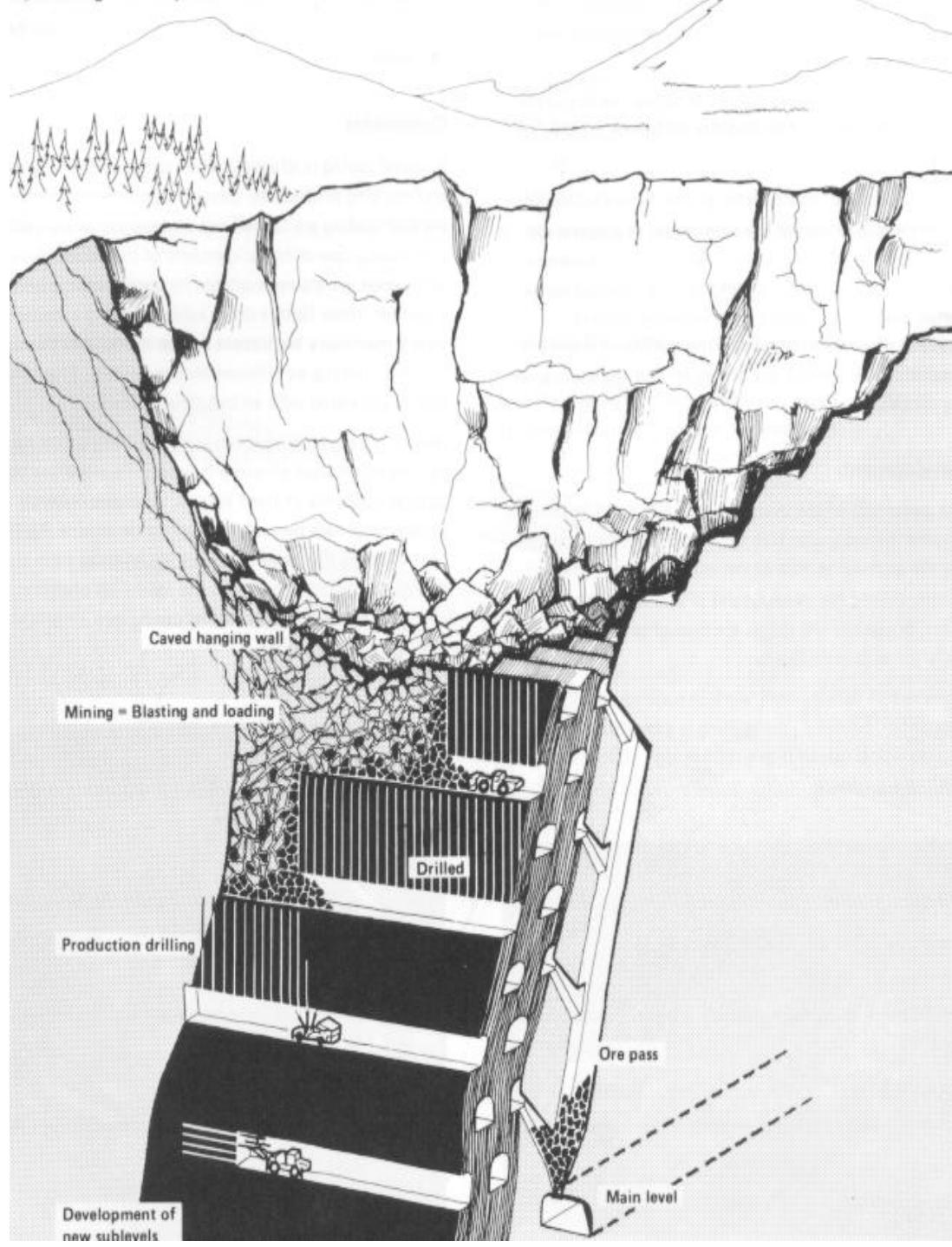
Vetas angostas, roca de caja (potencia menor a 10m)



Corte y Alimentación en minas helicoidales

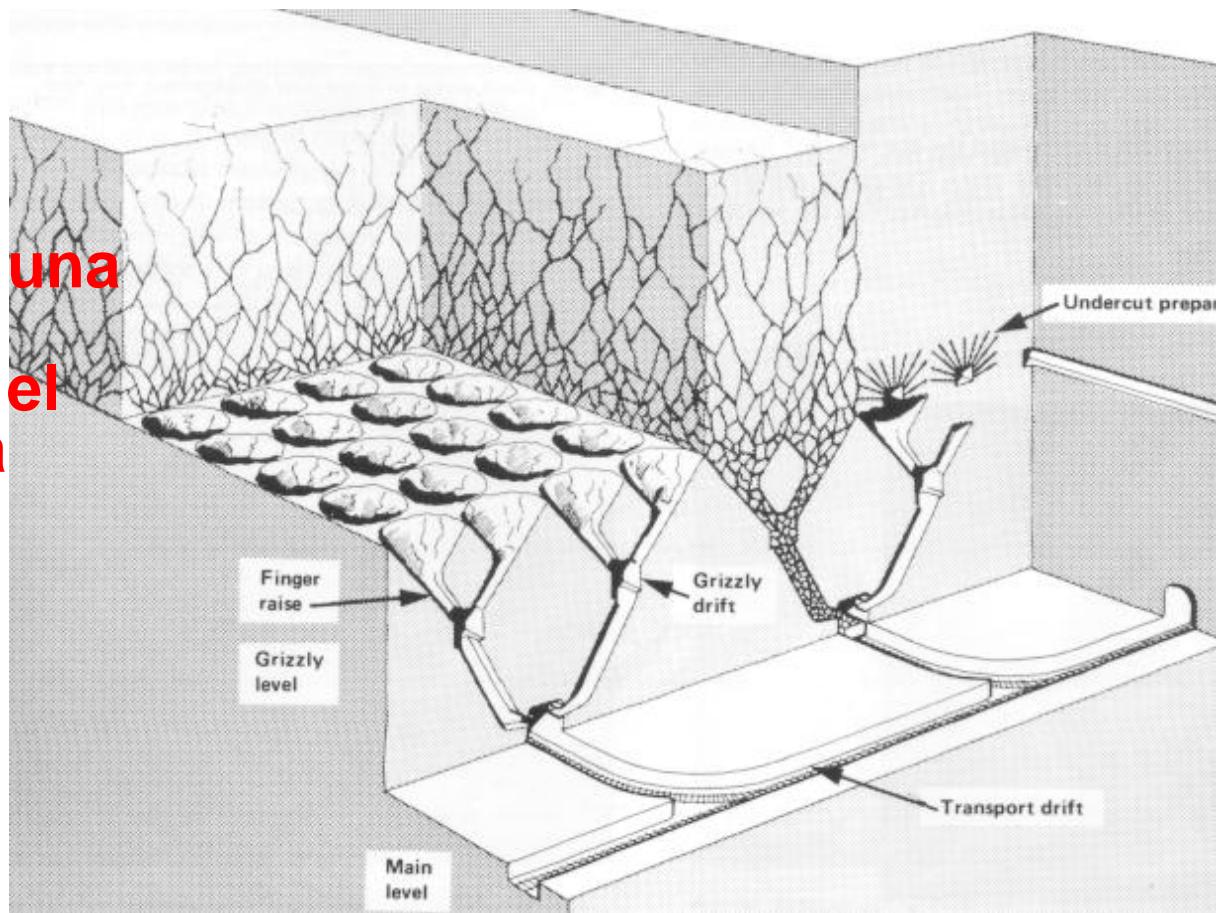


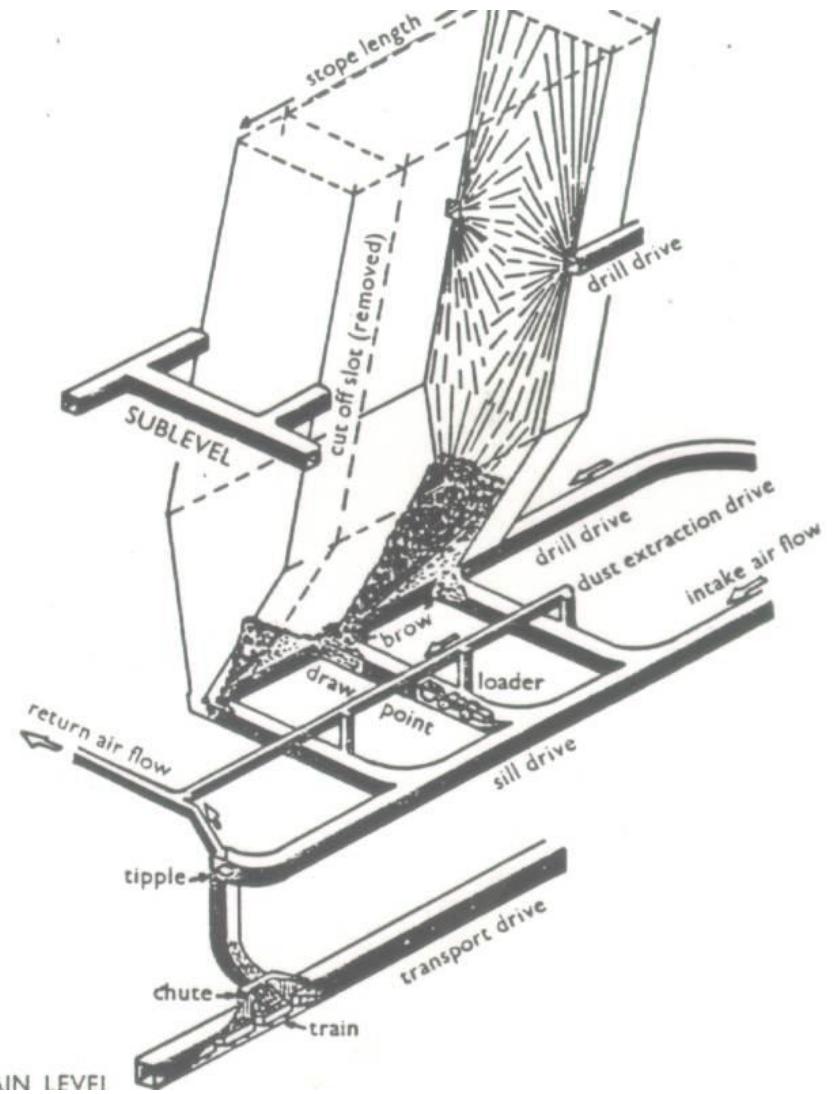
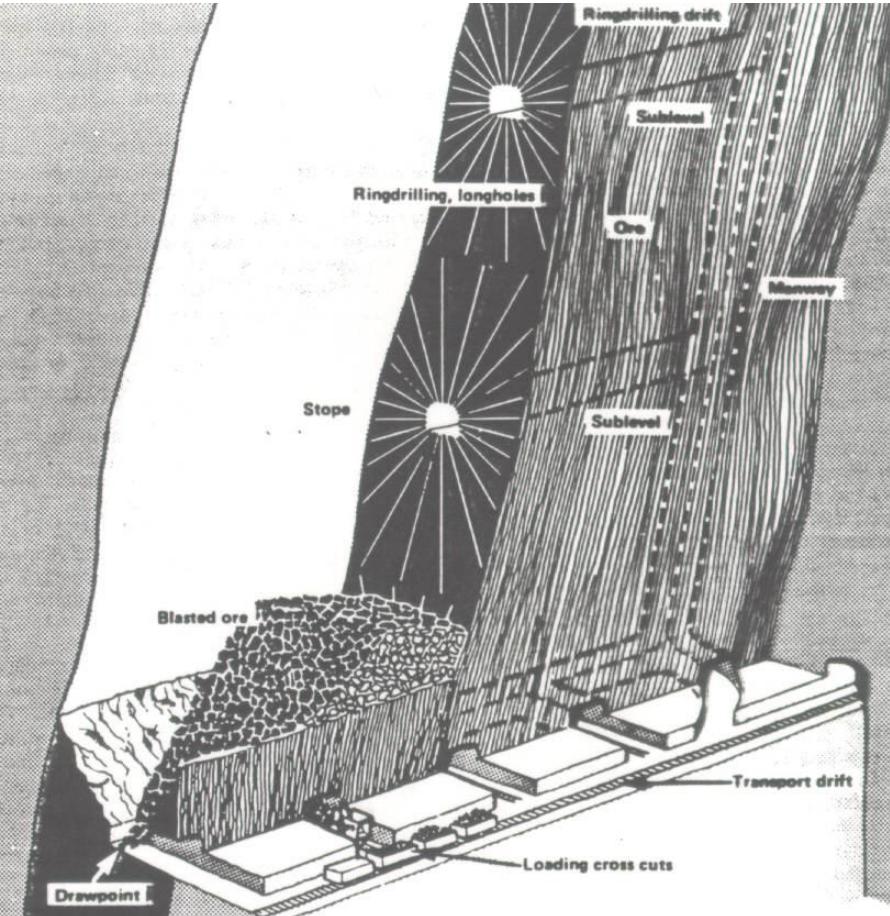
La roca de caja, se explota por subniveles. Consiste en hundir la roca de caja y la pared colgante

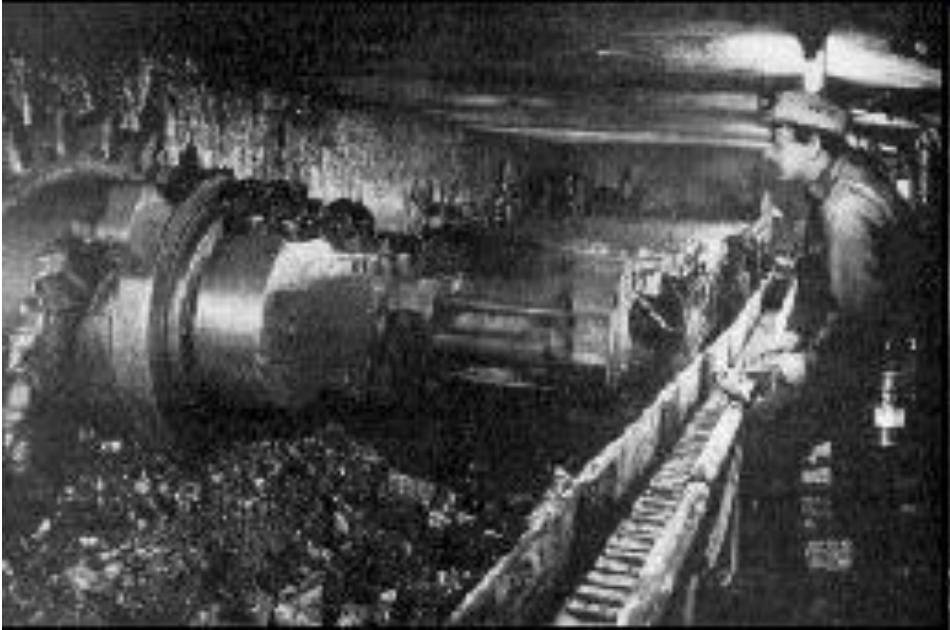
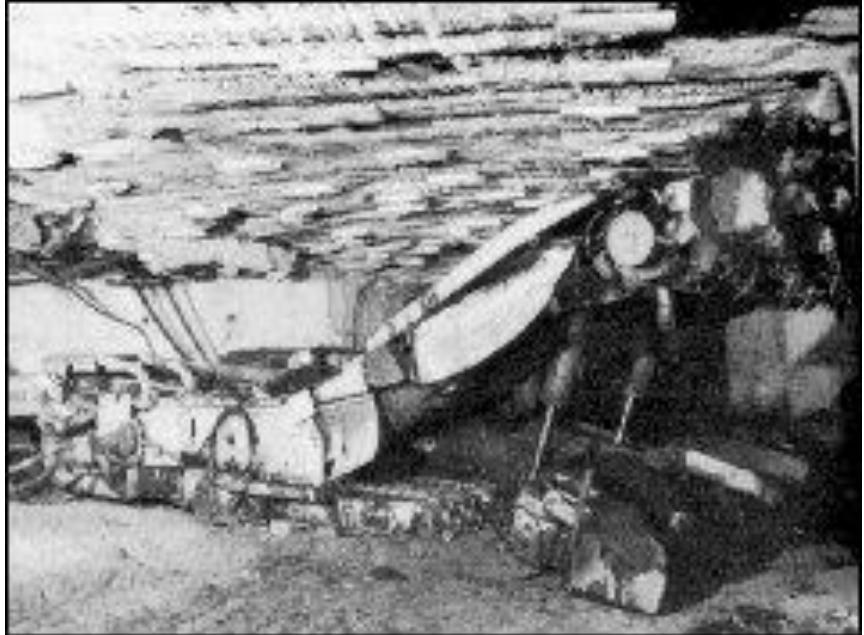


Perforación en bloque/Panel de perforación

Cuerpos masivos, con una proyección en planta, suficiente para inducir el hundimiento de la roca







www.coalcampus.com









15708
INLE - PHOTO
WELCH, WVA.



13840

Explotación minera a cielo abierto





El agujero más profundo del Mundo !
Es como el de la "Guerra de las Galaxias" pero
este es real y se encuentra en Rusia !



El gigantesco agujero es para extracción de diamantes. Está en Rusia, Sibéria Central, junto a la ciudad de Mirna. Tiene 525 metros de profundidad y su diámetro es de 1,25 km.

Imágenes Interesantes en la minería



**Estos camiones son los mayores del mundo:
Tamaño: 13,36 m, largo: 7,78 m, altura: 6,65 m**







Maquinaria para en una mina de extracción de hierro





Camión anterior





An aerial photograph showing a massive, deep circular sinkhole in the middle of a densely populated residential area. The sinkhole has concentric rings of earth around its perimeter. Numerous houses and streets are visible in the surrounding areas, creating a stark contrast with the void in the center.

*Está prohibido volar encima del agujero.
Se han producido accidentes de
helicópteros,
debido a la enorme fuerza de succión hacia
su interior.*

An aerial photograph showing a vast, sprawling town built around a massive, deep open-pit mine. The town's layout is characterized by a grid of streets and numerous small, uniform houses. The mine itself is a massive, circular excavation site with distinct levels and edges. In the background, there are more industrial buildings and some green fields. The overall scene suggests a heavily industrialized and densely populated area.

Aqui, todo mundo
Trabaja en la mina





*Vista desde
Satélite*



PERFORACIÓN Y TRONADURA:



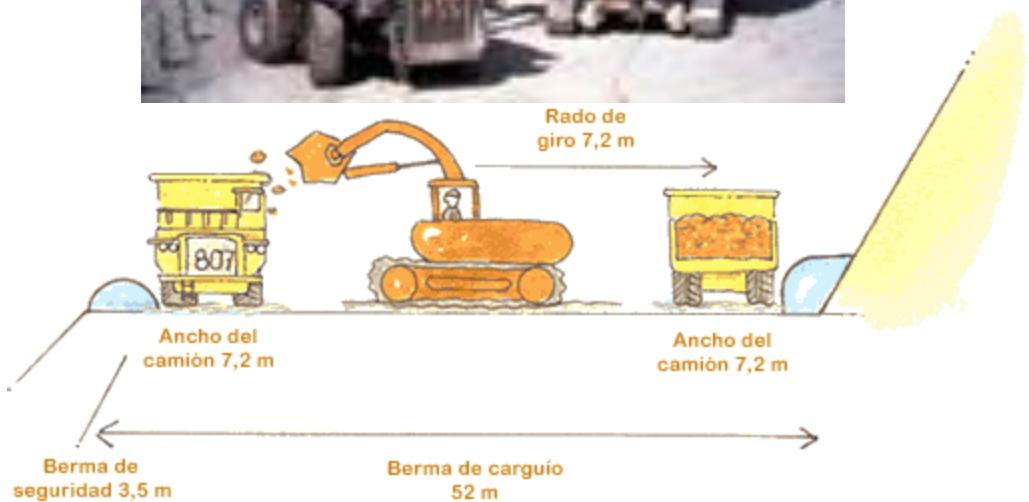
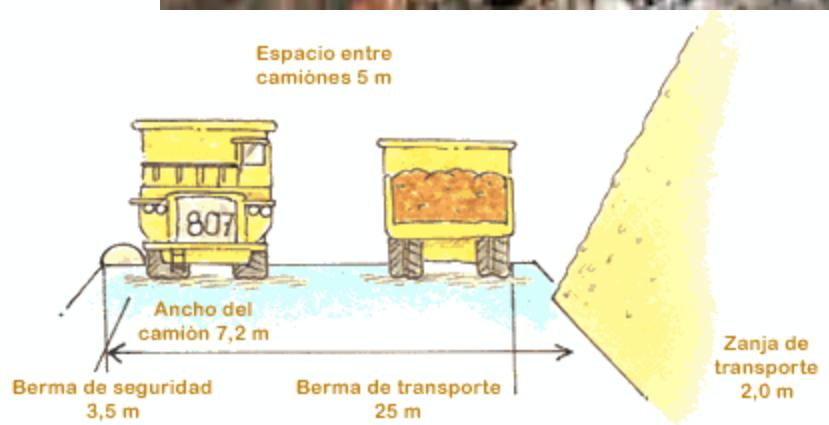
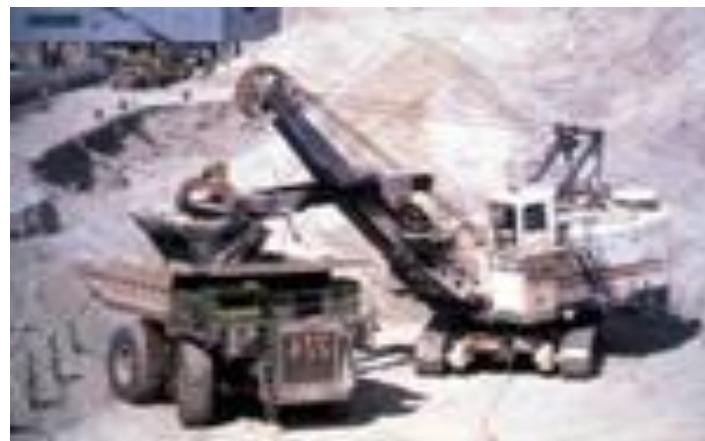






Foto: © Hendrik Brixius

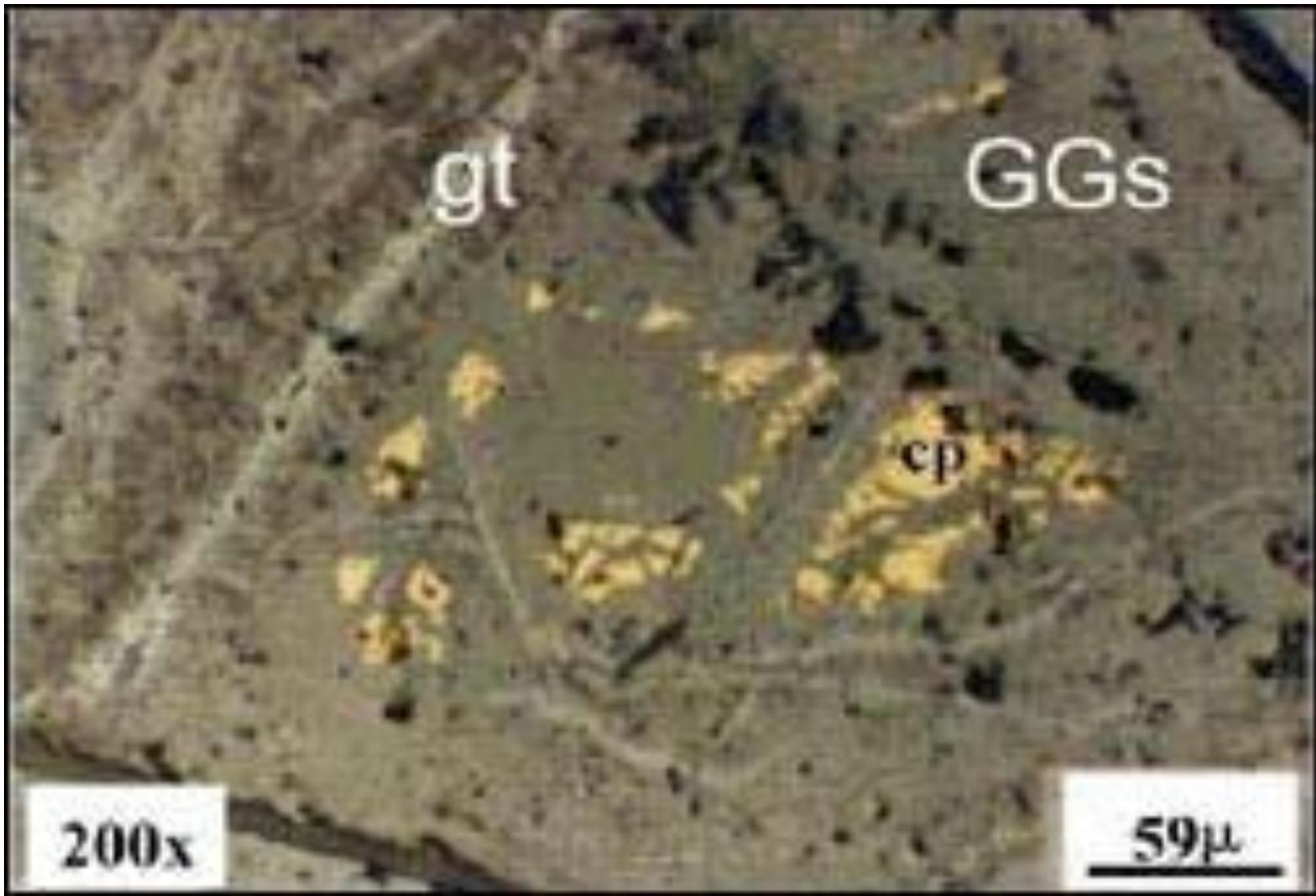
Con una longitud de 240 metros, una altura de 96 metros y un peso de 13.500 toneladas, la Bagger 288 es el vehículo terrestre móvil mas grande del mundo. La Bagger es una excavadora pensada para minería del carbón, puede producir 2.400 vagonetas de mineral al día



4/8
15-1-4-2







200x

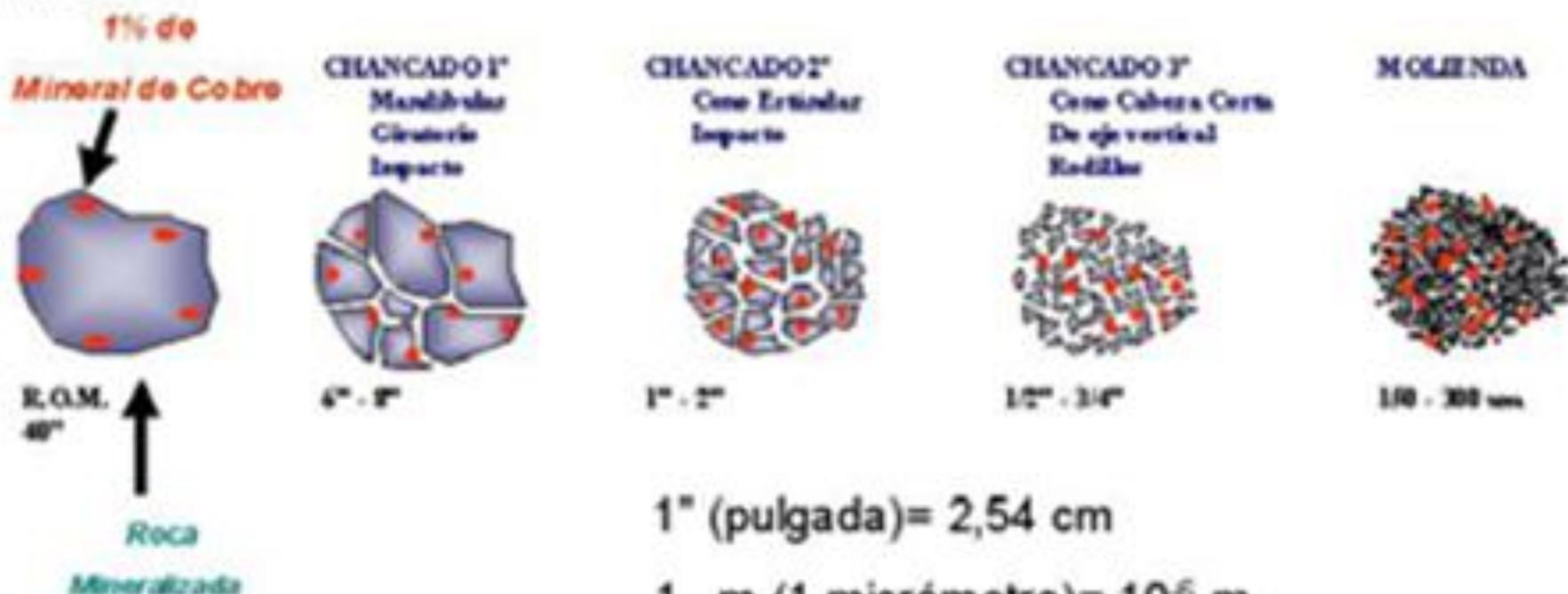
59 μ

**Calcopirita dentro de las gangas.
Hasta la izquierda venilla de goethita**



ETAPAS DE PROCESOS DE CONMINUCIÓN

Las etapas de la conminución son el Chancado y la Molienda. Existe un límite para el cual los chancadores son eficientes y, pasado éste, se utilizan los molinos, los que realizan la reducción de material para tamaños más finos.



Preparación de minerales

- Trituración:

- trituración primaria:

- quebradora de quijadas

- trituración secundaria:

- trituradora de cono

- Molienda (100-400 mallas):

- molienda:

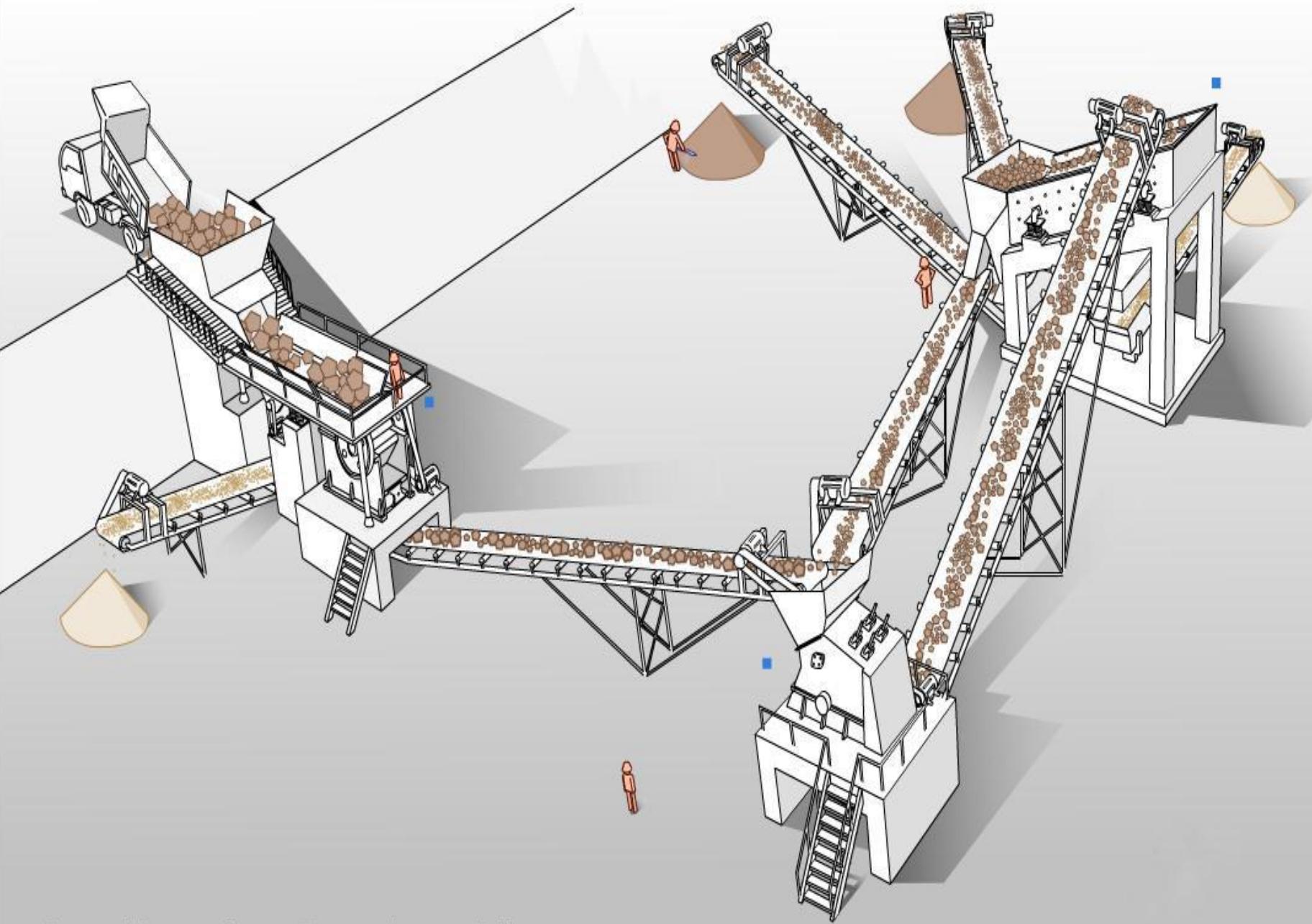
- molinos:

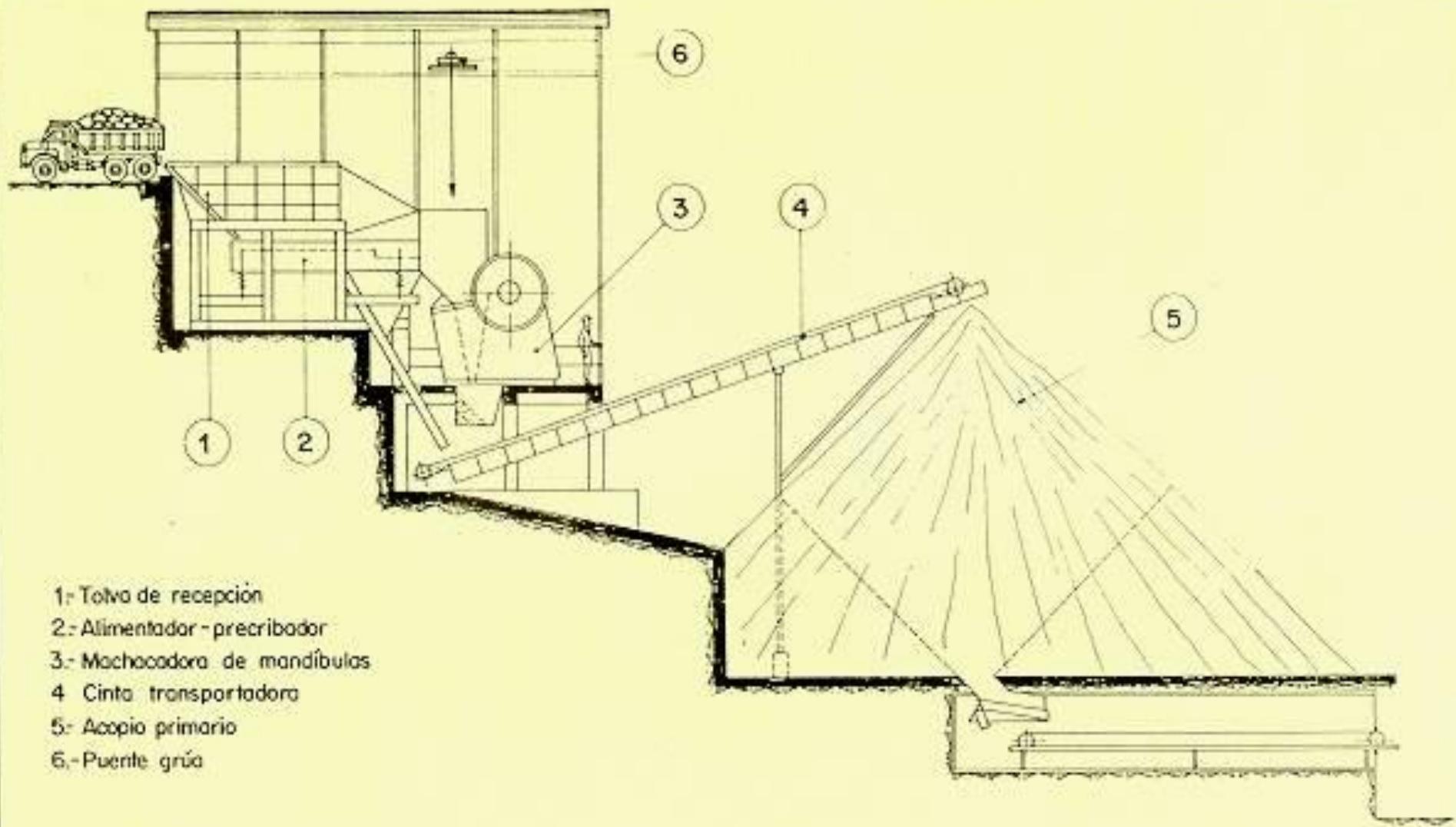
- bolas

- barras

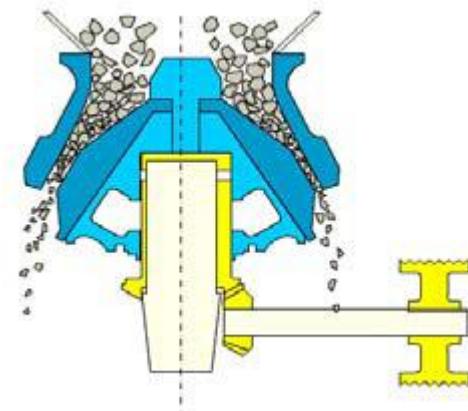
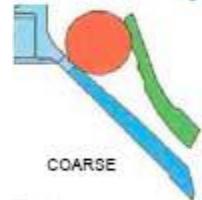
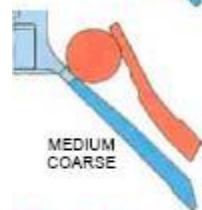
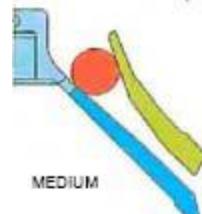
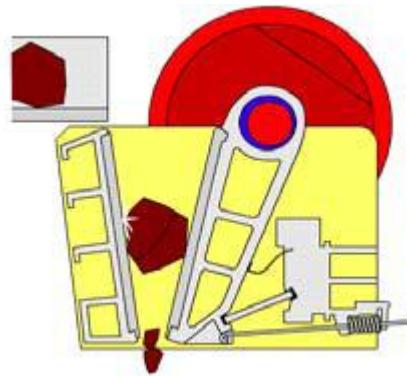
- autógeno



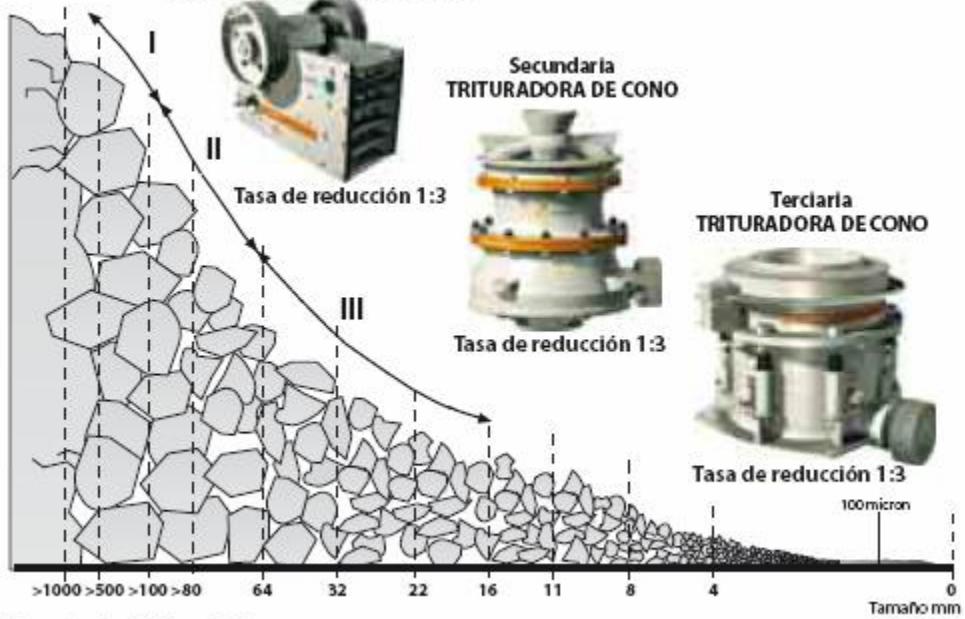




Grupo primario de trituración



Primaria TRITURADORA DE MANDIBULAS



Para pulgadas dividida por 25,4

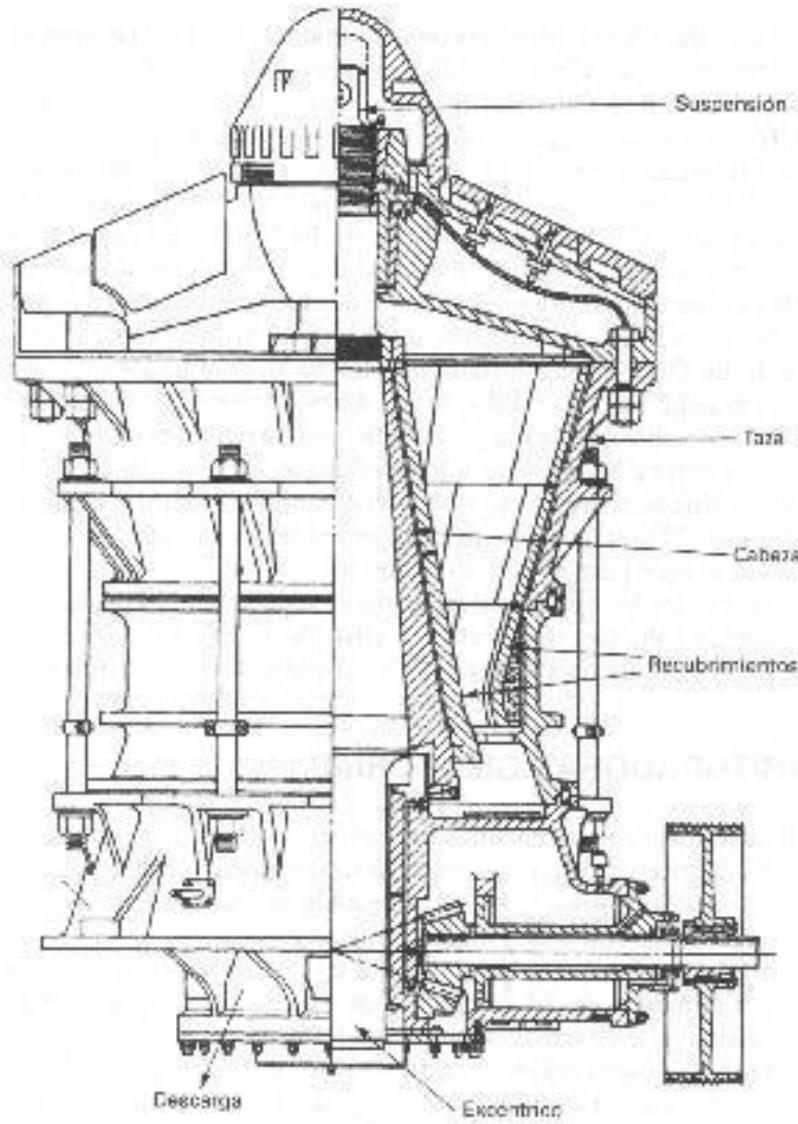
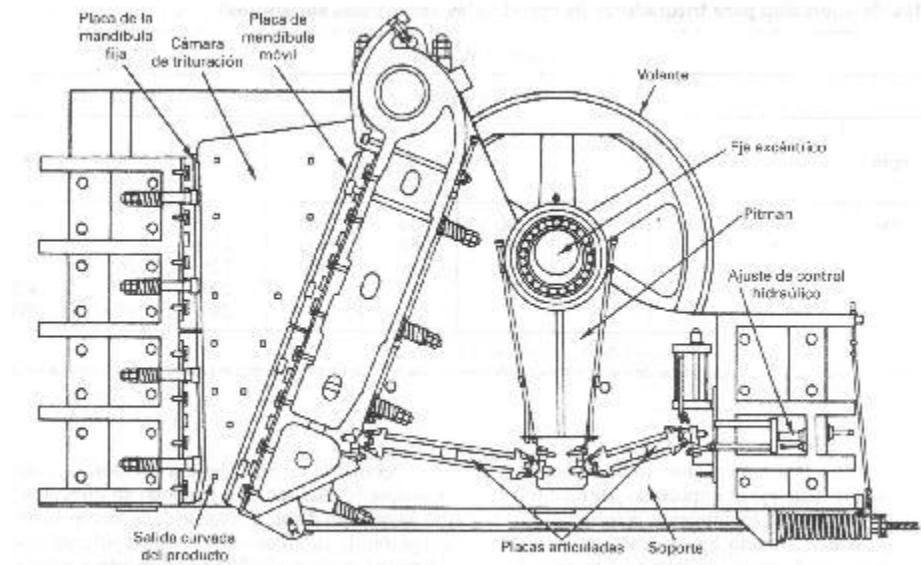


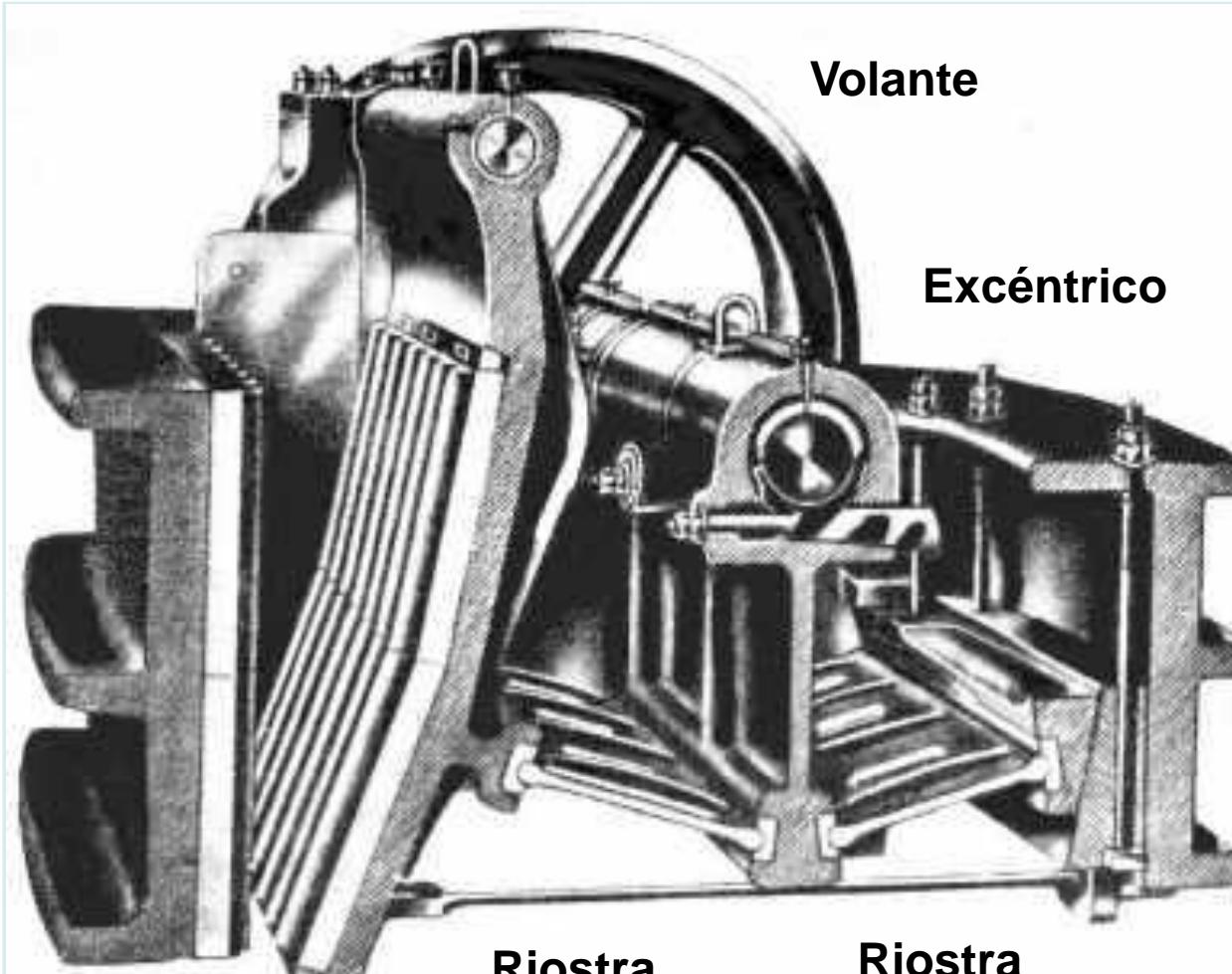
FIG. 20.23. Trituradora giratoria primaria con suspensión de araña. (Nordberg, Inc.)

FIG. 20.22. Trituradora de mandíbula tipo Blake. (Allis Mineral Systems Grinding Div., Svedala Industries, Inc.)

**Mandíbula
Móvil**

Pívot

**Mandíbula
Fija**

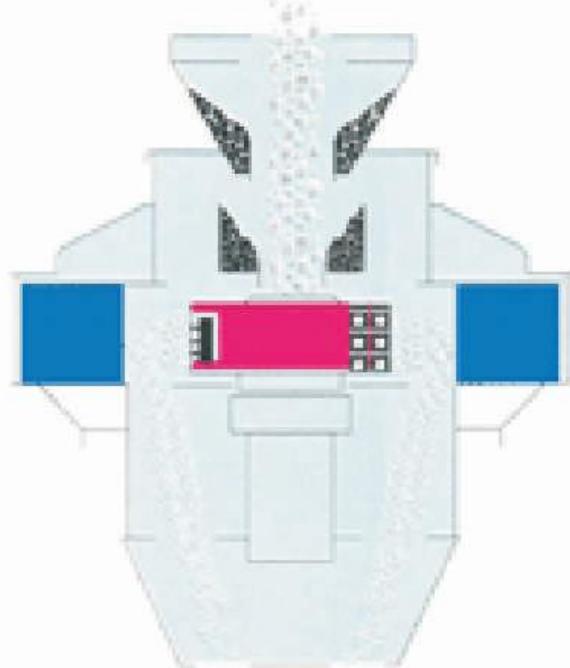


Garganta

**Riostra
delantera**

**Riostra
trasera**

Biela



**Trituradora
de Impacto Vertical**

Principales tipos de trituradoras

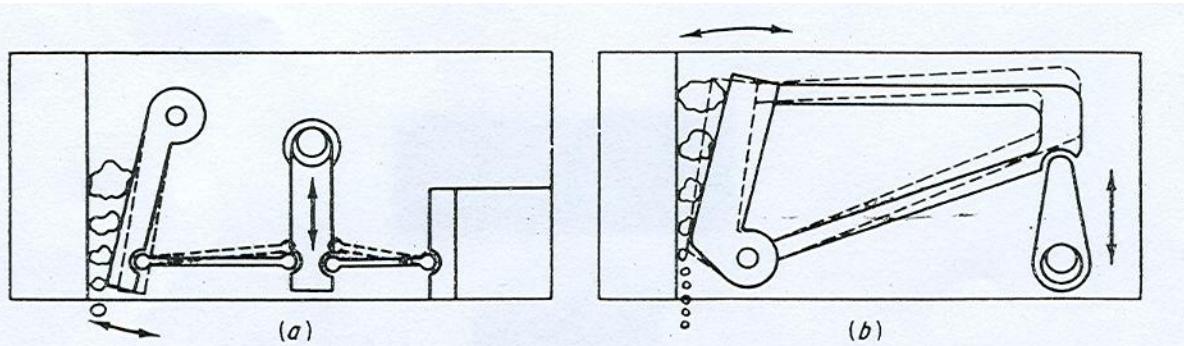


Fig. 17.4 Quebrantadoras de mandíbulas. (a) Quebrantadora Blake de doble palanca; (b) quebrantadora Dodge. (Tomado con autorización de la obra de D. M. Liddell, "Handbook of Nonferrous Metallurgy", McGraw-Hill Book Company, Inc., Nueva York, 1945.)

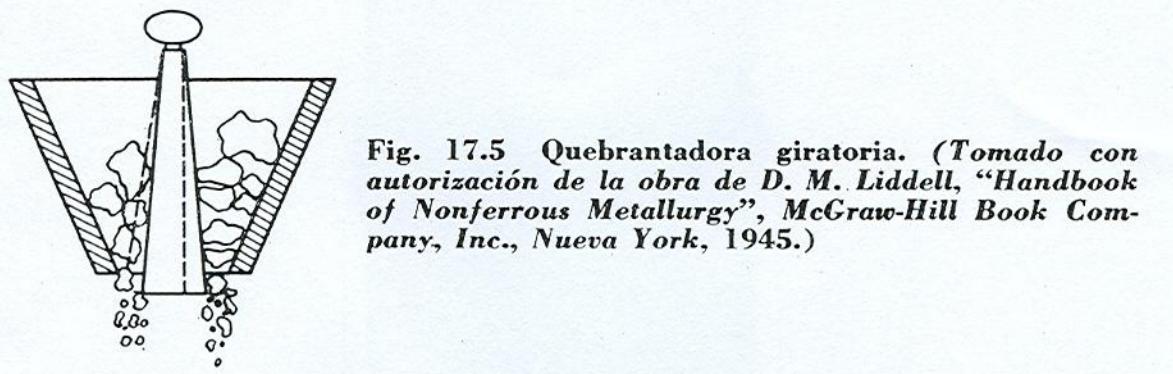
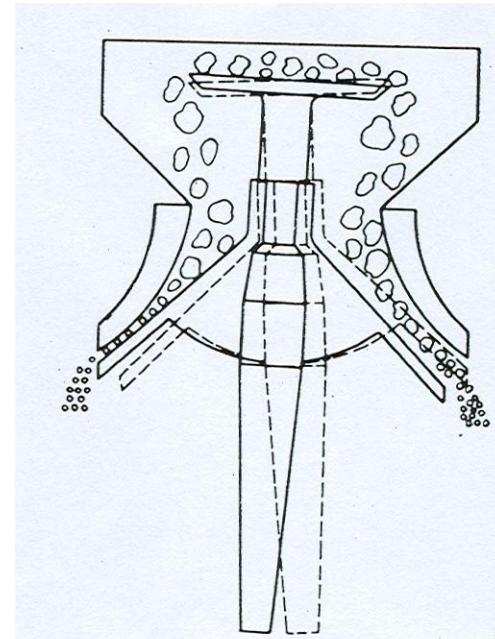
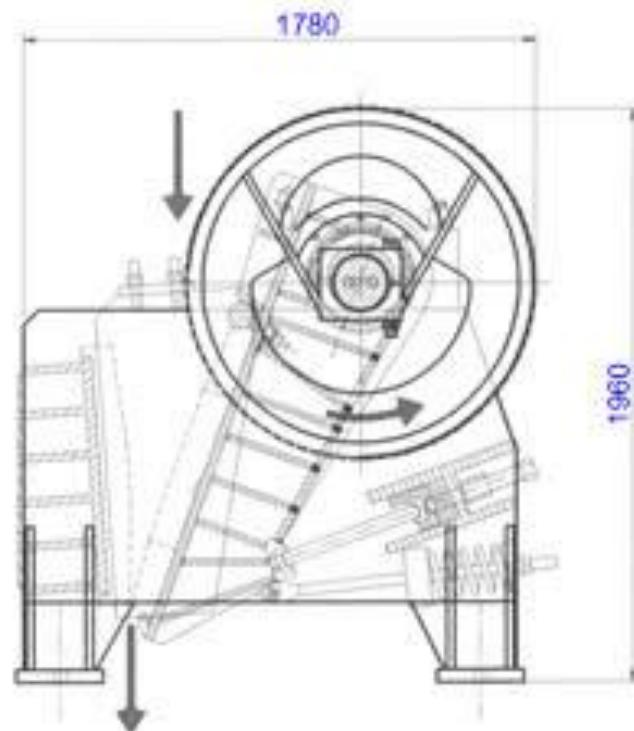
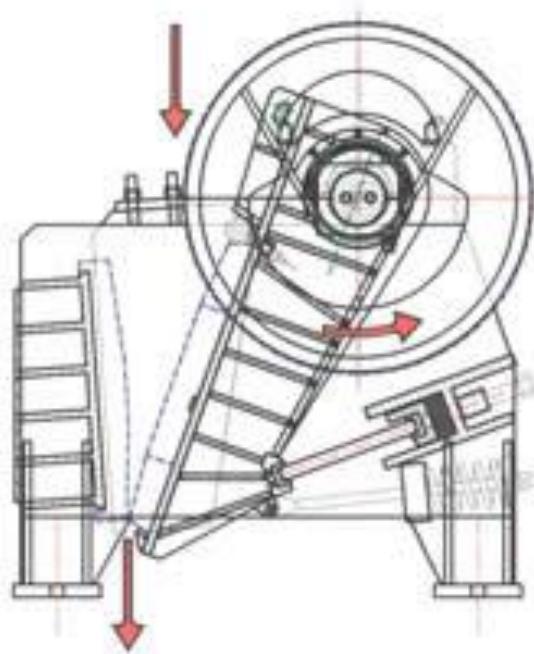


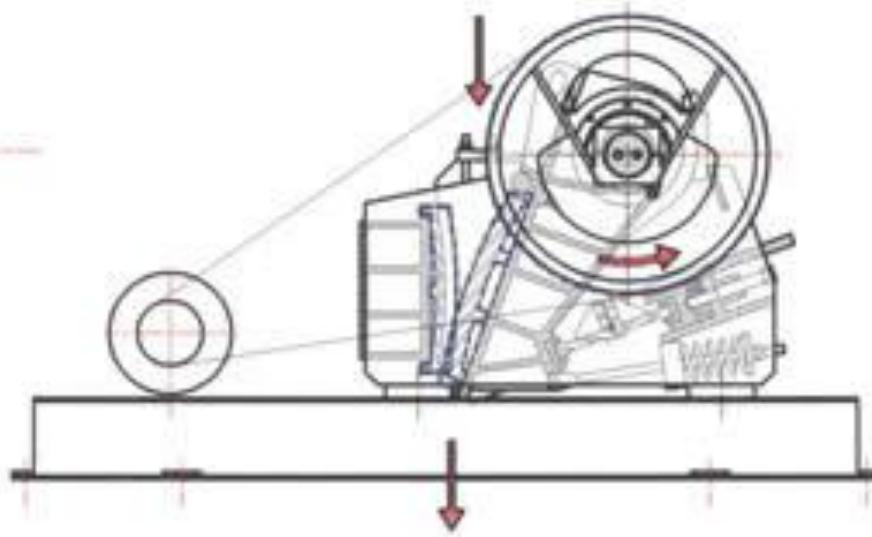
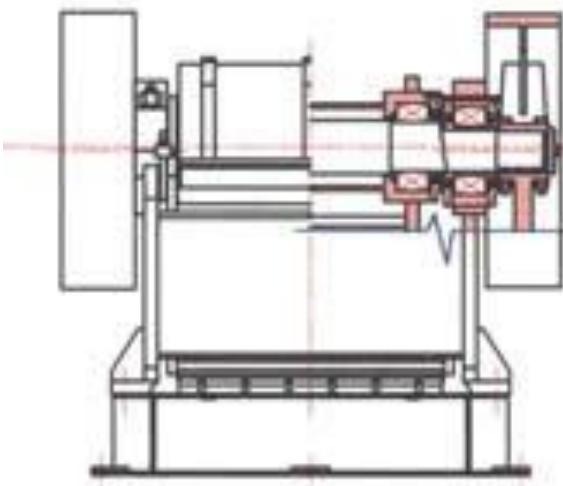
Fig. 17.5 Quebrantadora giratoria. (Tomado con autorización de la obra de D. M. Liddell, "Handbook of Nonferrous Metallurgy", McGraw-Hill Book Company, Inc., Nueva York, 1945.)

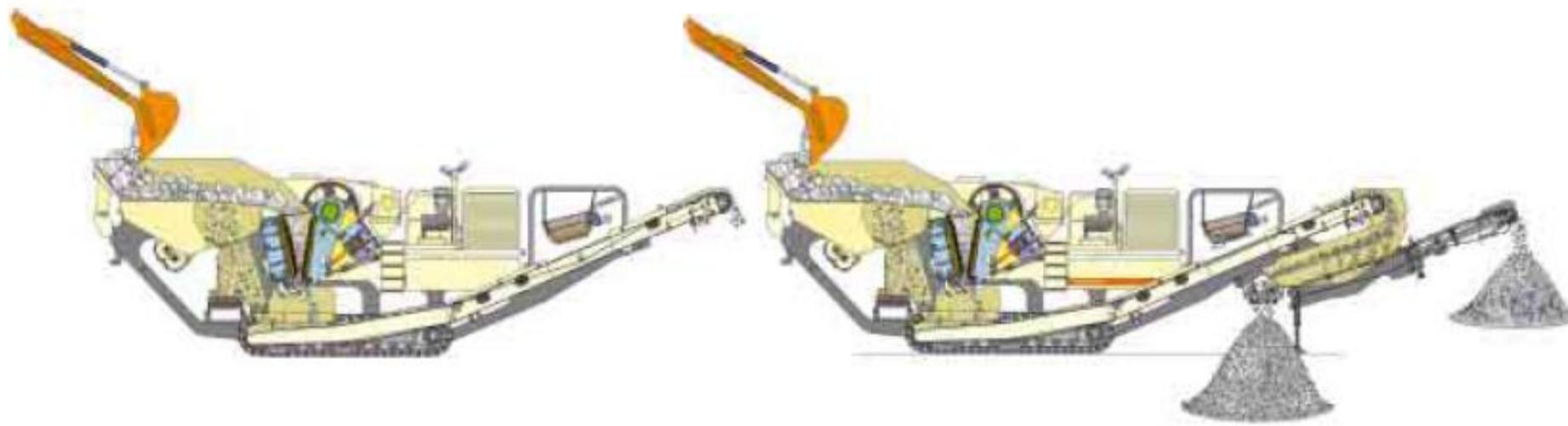
Fig. 17.6 Quebrantador cónico Symons. (Tomado con autorización de la obra de D. M. Liddell, "Handbook of Nonferrous Metallurgy", McGraw-Hill Book Company, Inc., Nueva York, 1945.)

Trituración primaria



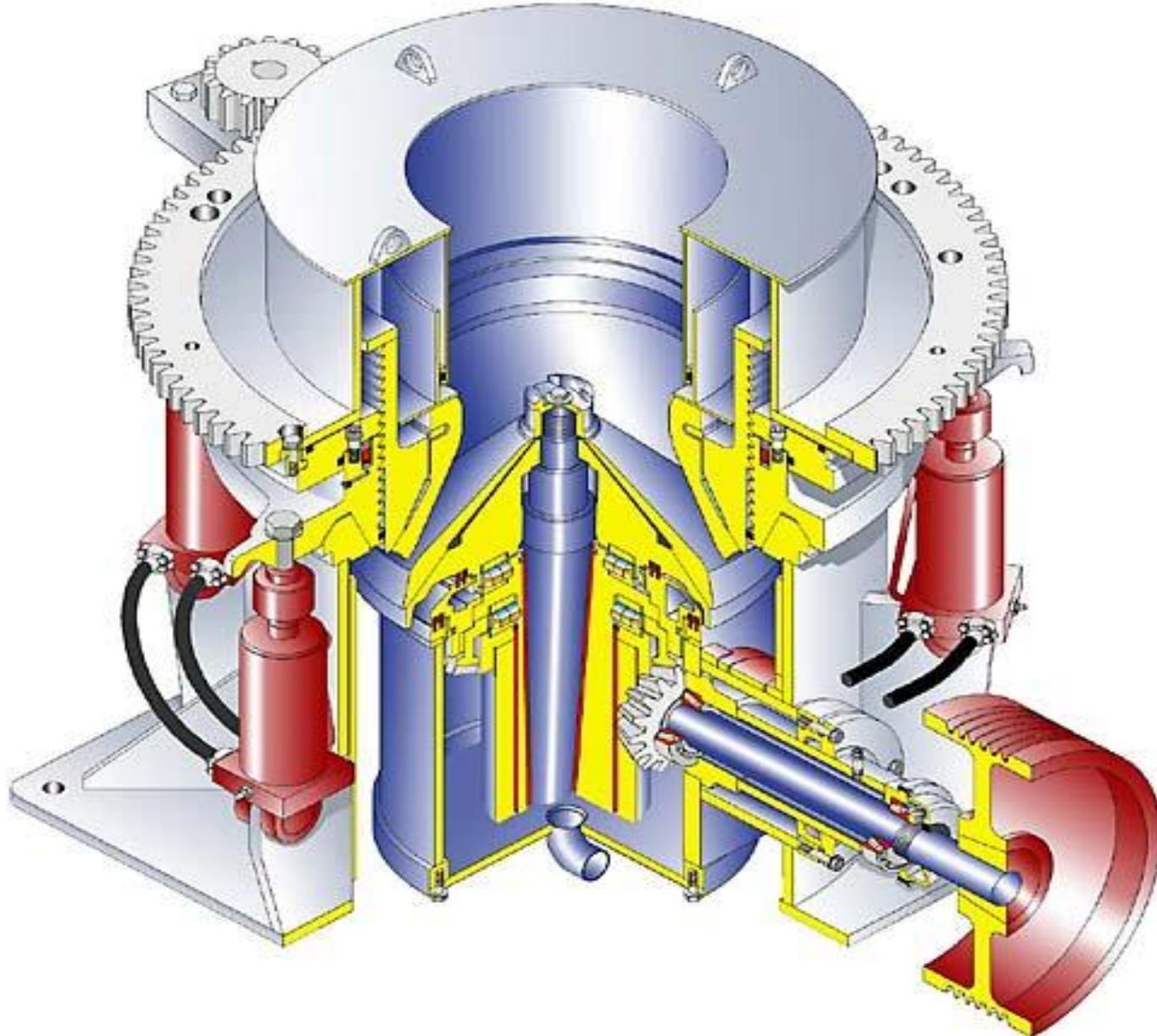
Trituración secundaria





TRITURADORA DE CONO

trituración secundaria



Trituradora de martillos

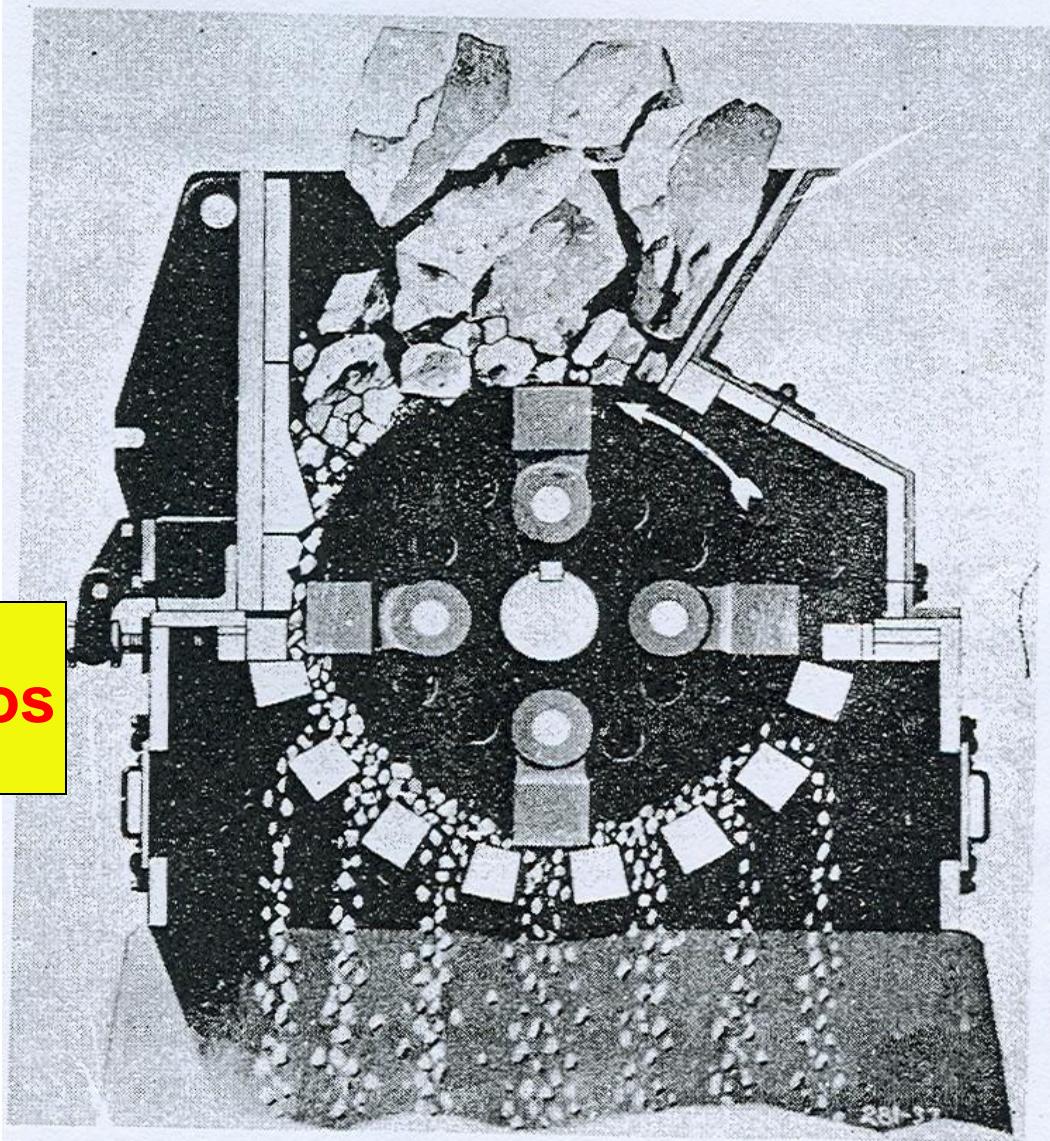


Fig. 17.7 Trituradora de martillos. (*The Jeffrey Manufacturing Company.*)

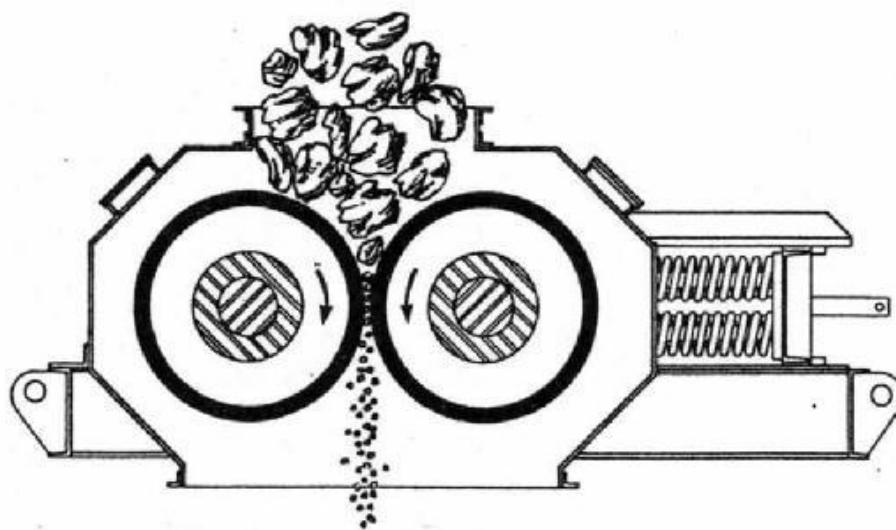


Figura 16. Triturador de cilindros lisos.

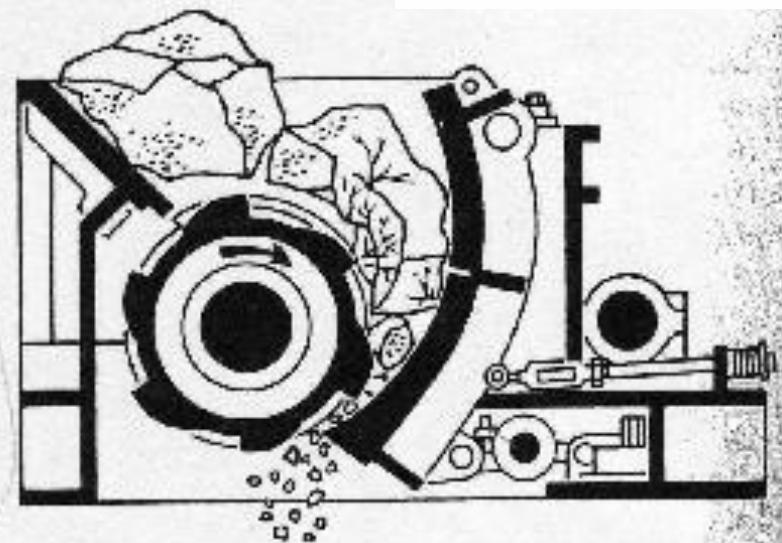


Figura 17. Triturador de cilindro dentado y placa.

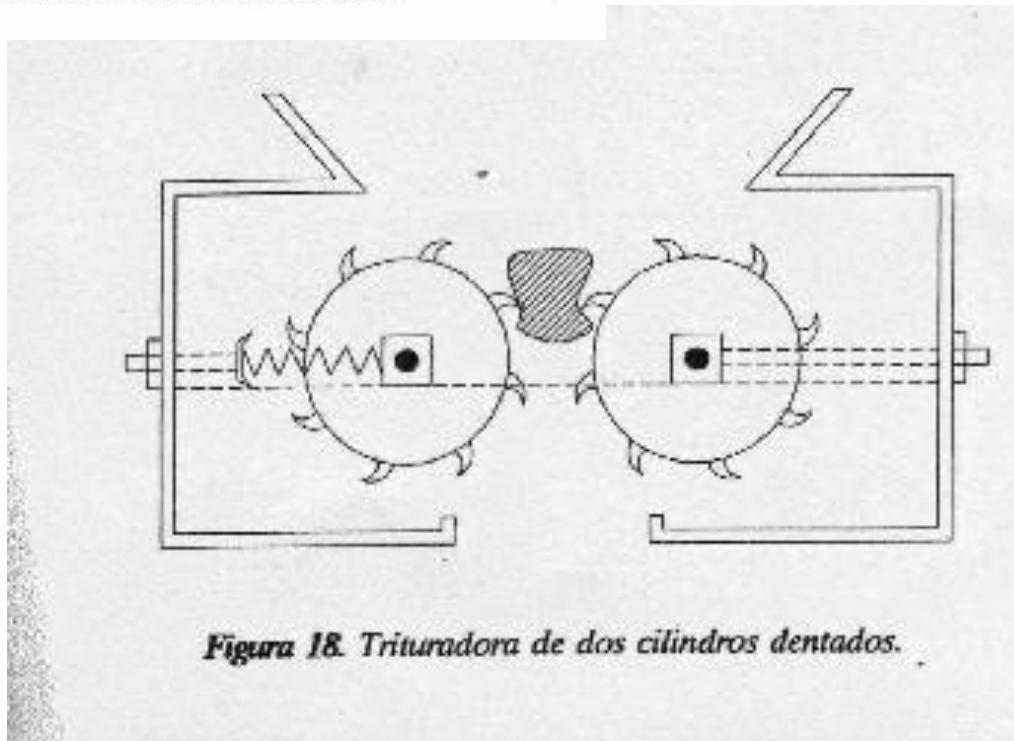
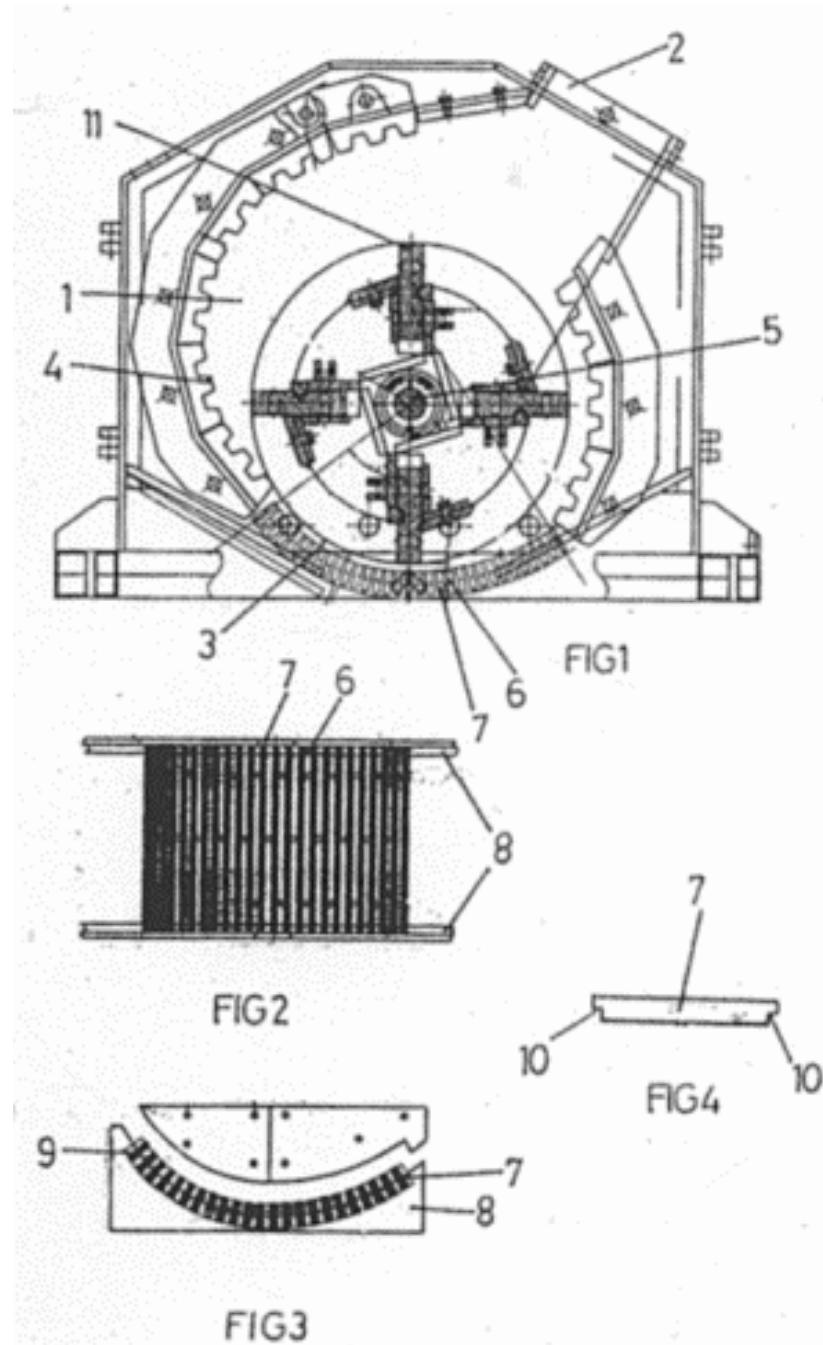
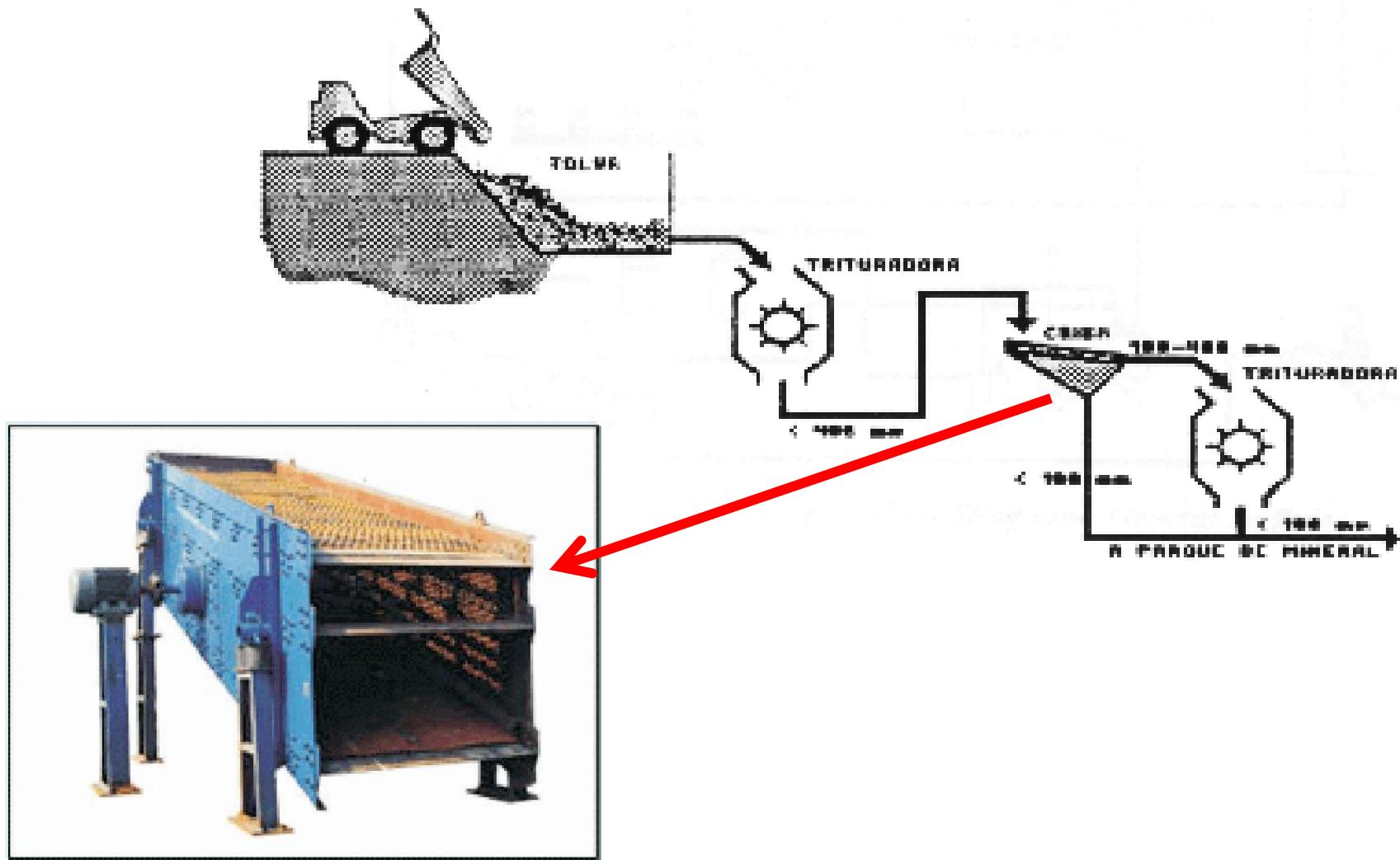


Figura 18. Trituradora de dos cilindros dentados.

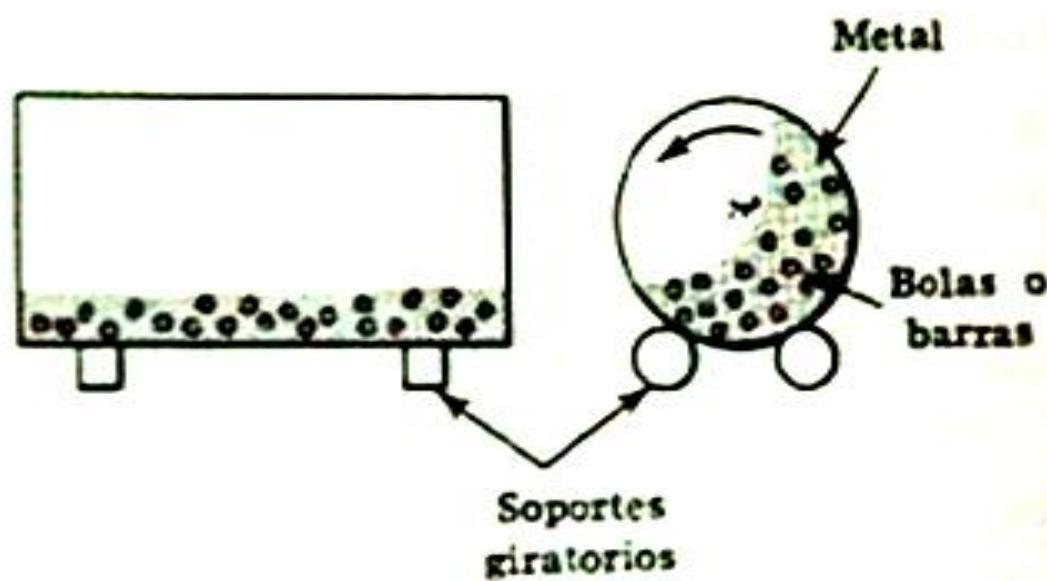
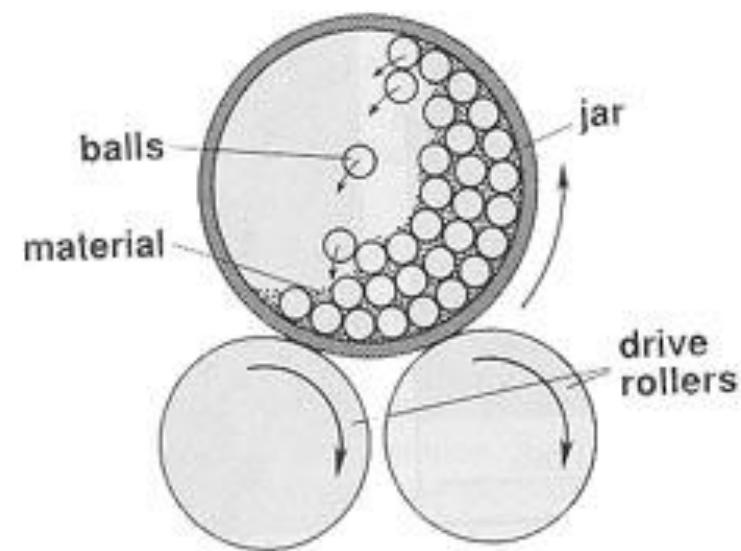
MOLINO PARA LA TRITURACION DE MINERALES

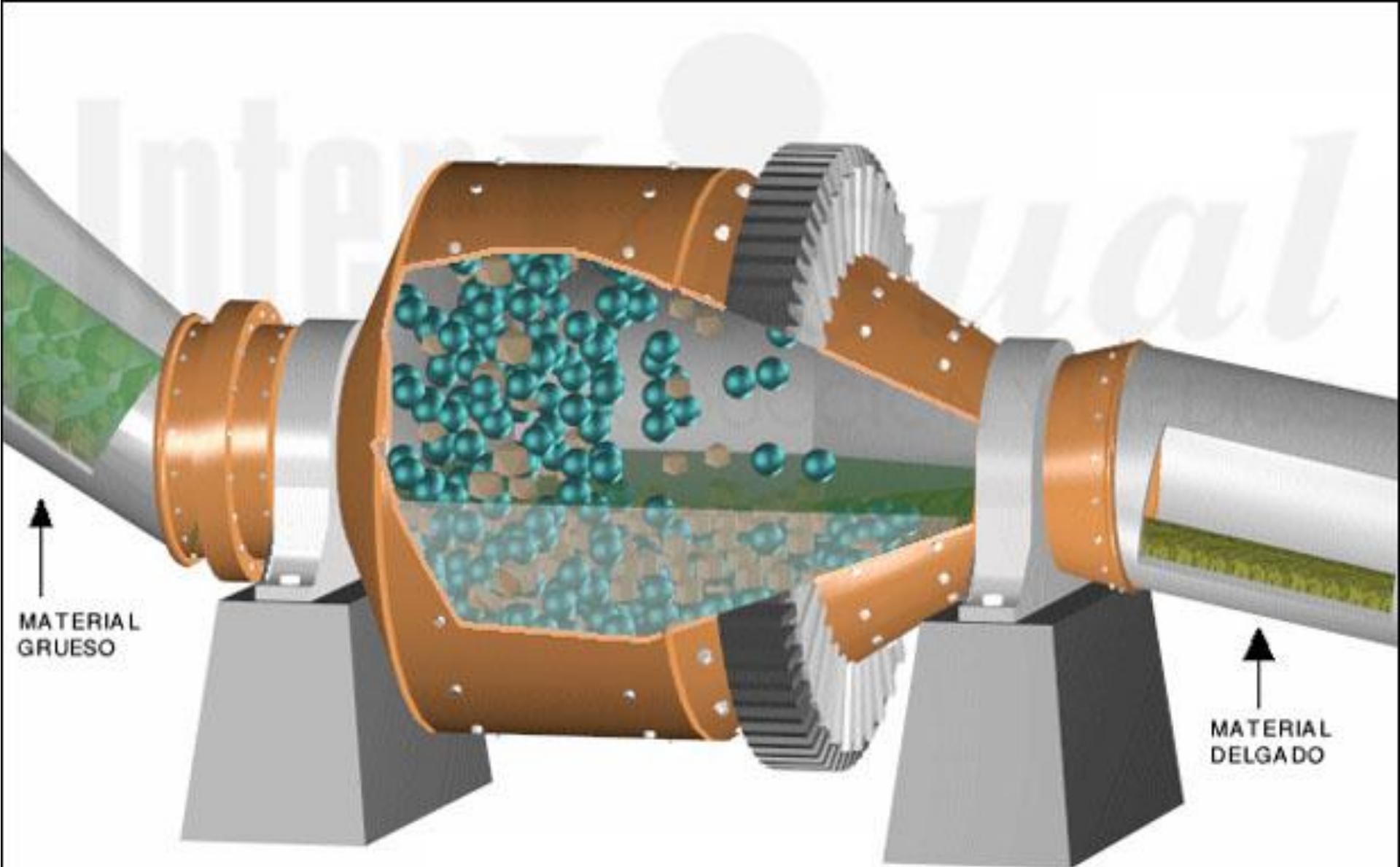


Trituración primaria y secundaria



Molino de bolas



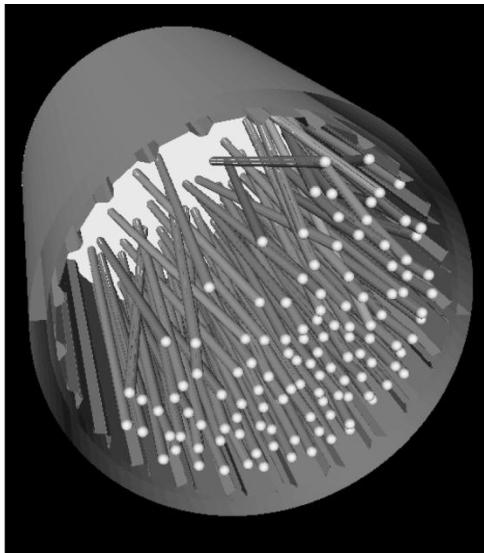
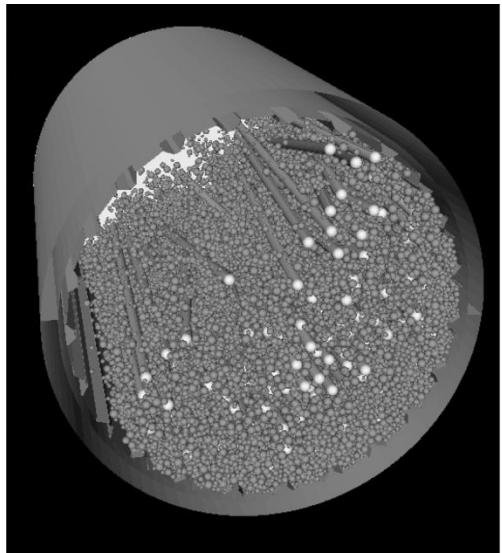
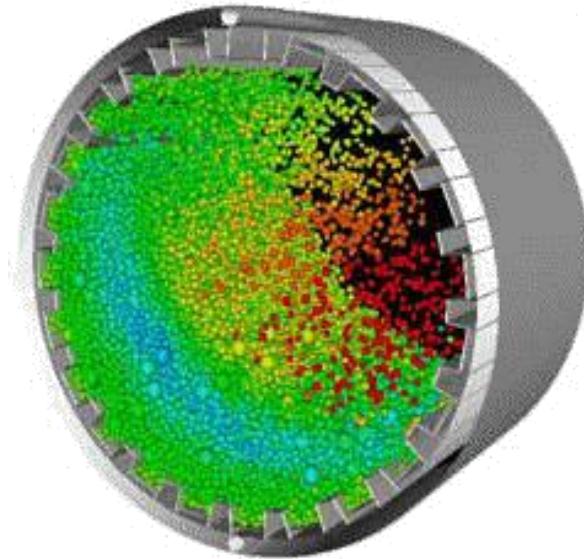
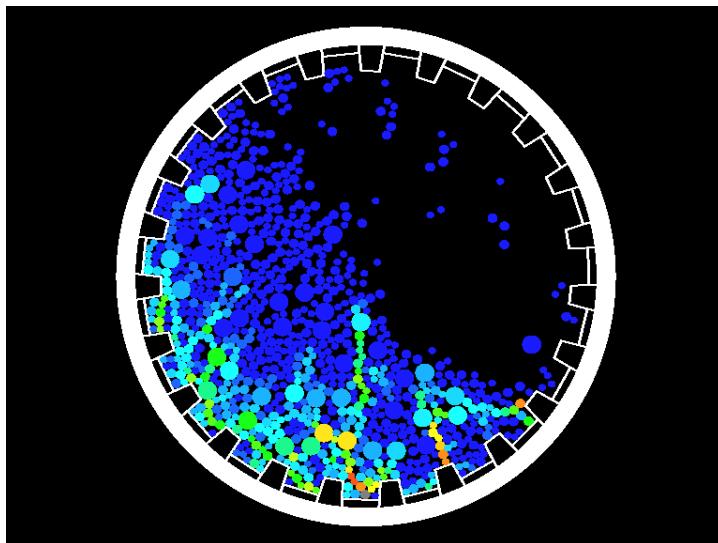


MOLINO DE BOLAS

F/Fax:(55) 28 68 29
e-mail: master@intervisual.cl
Antofagasta - CHILE
Derechos Reservados



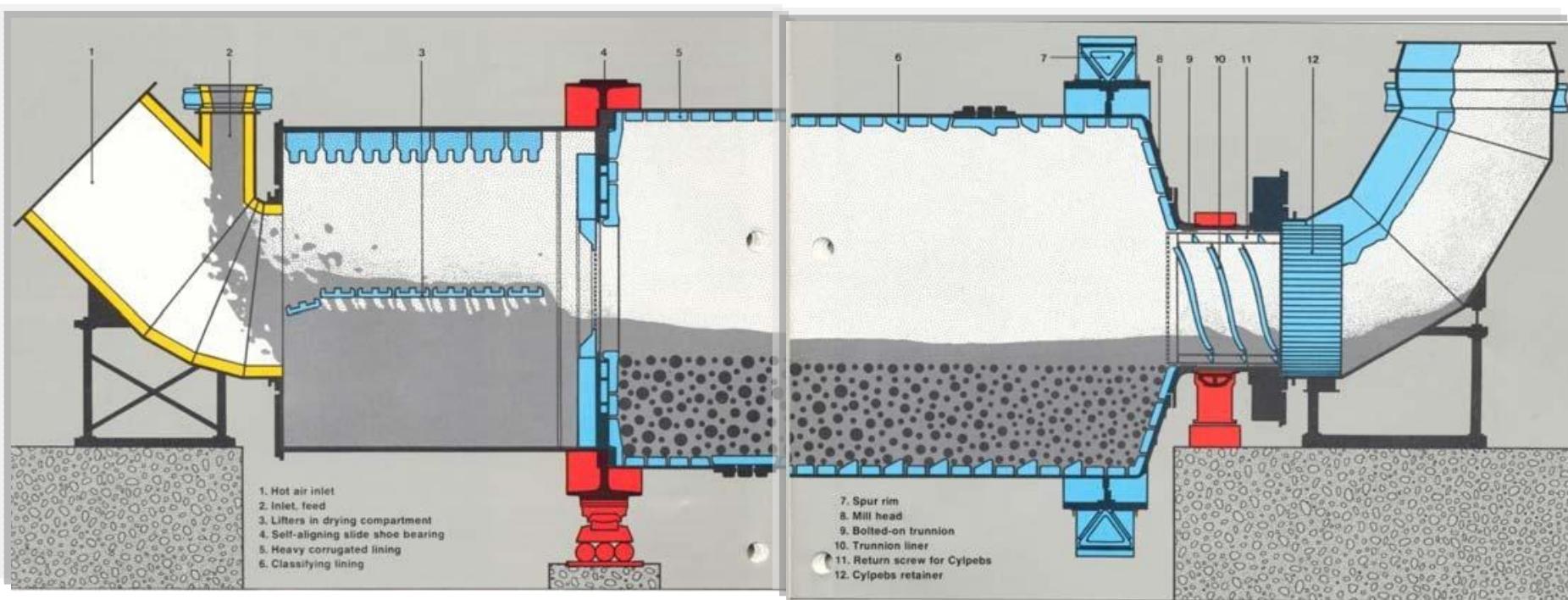
Comportamiento de las esferas en un molino

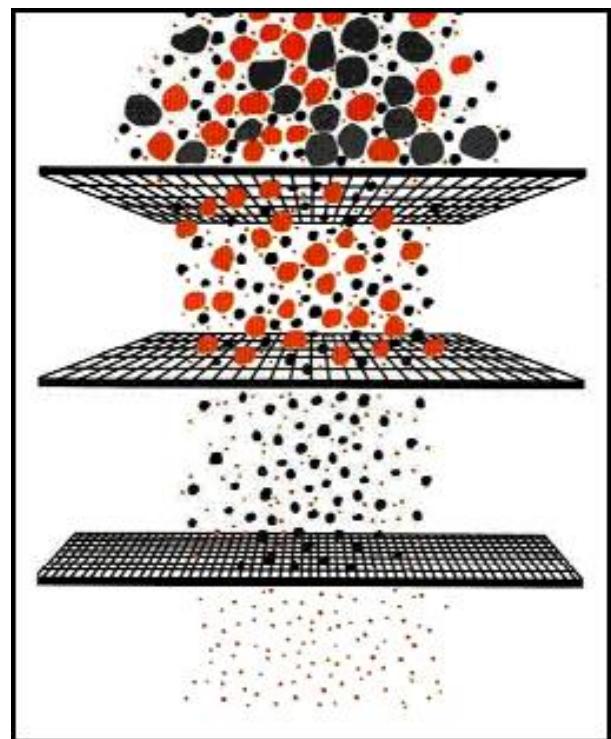
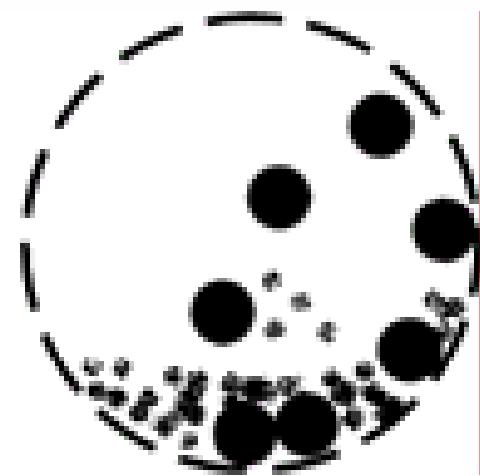
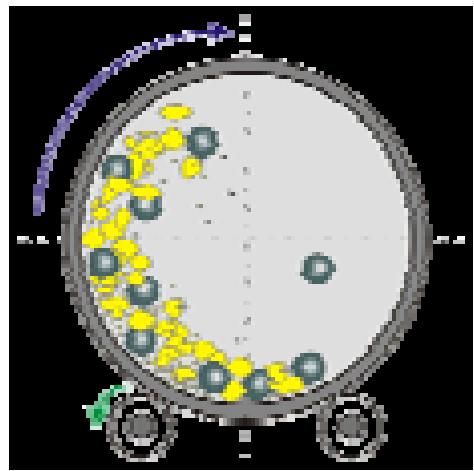
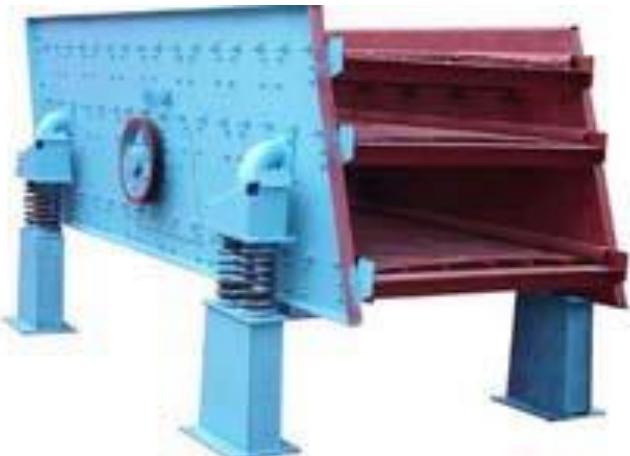
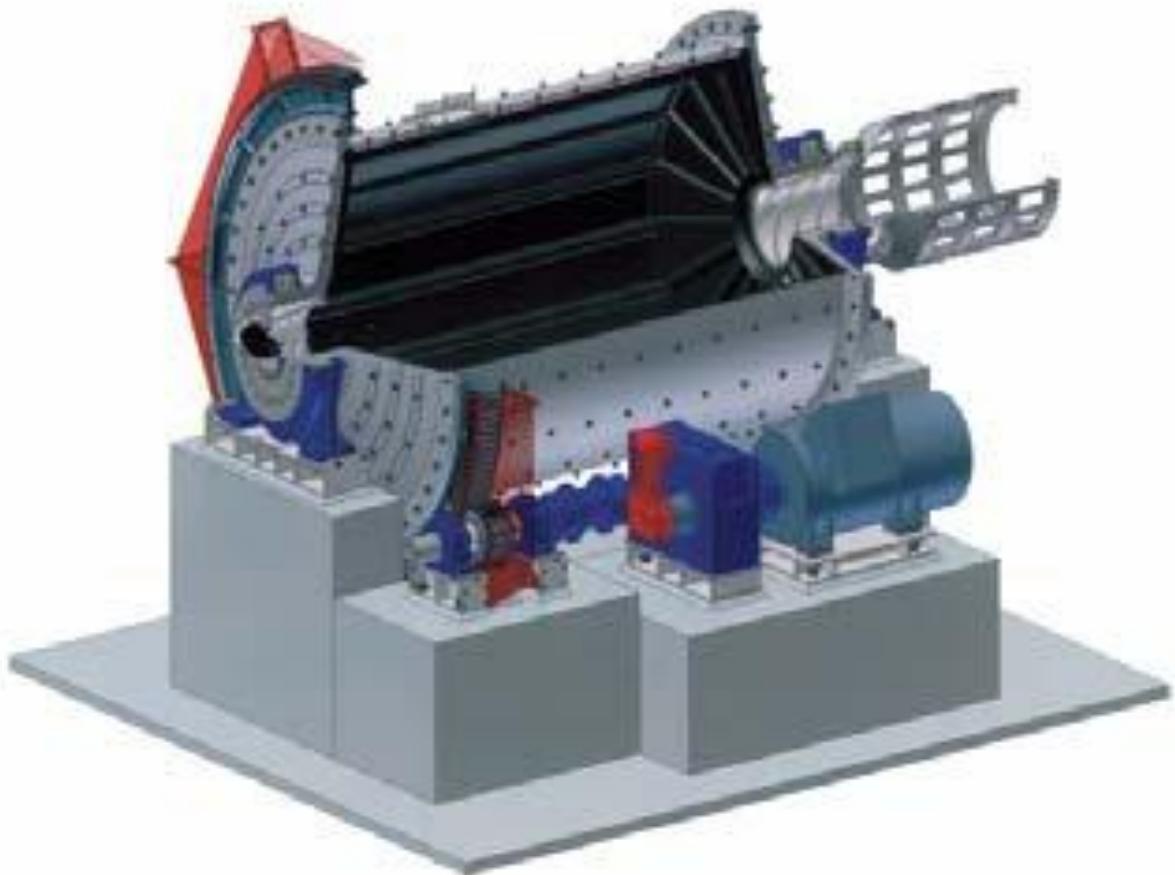


Comportamiento de las barras en un molino

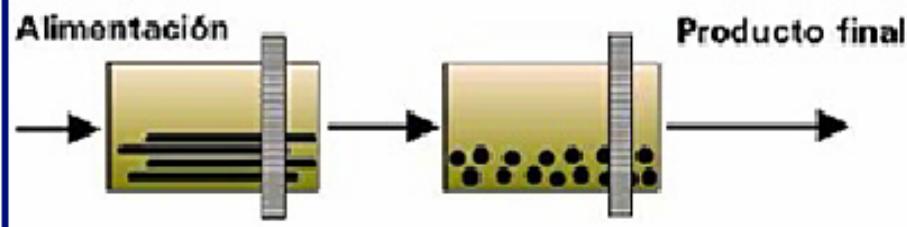




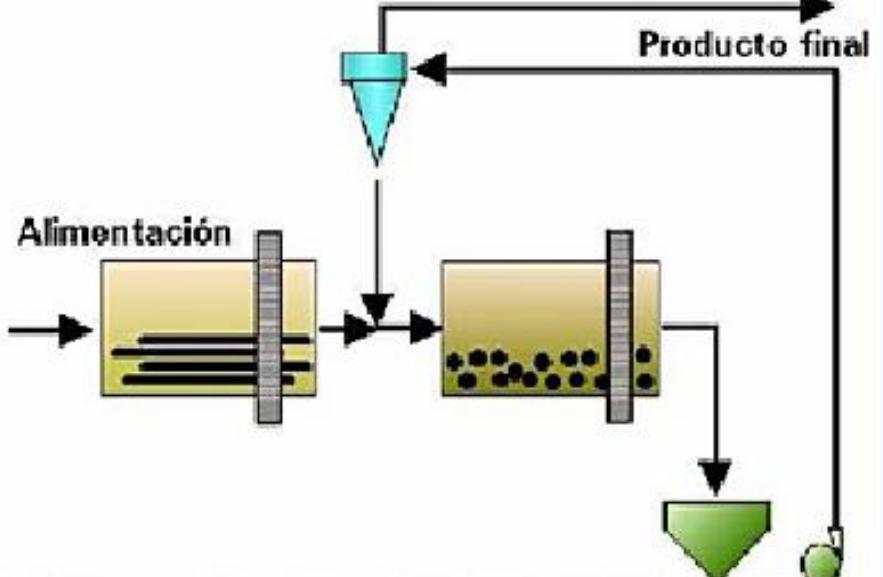
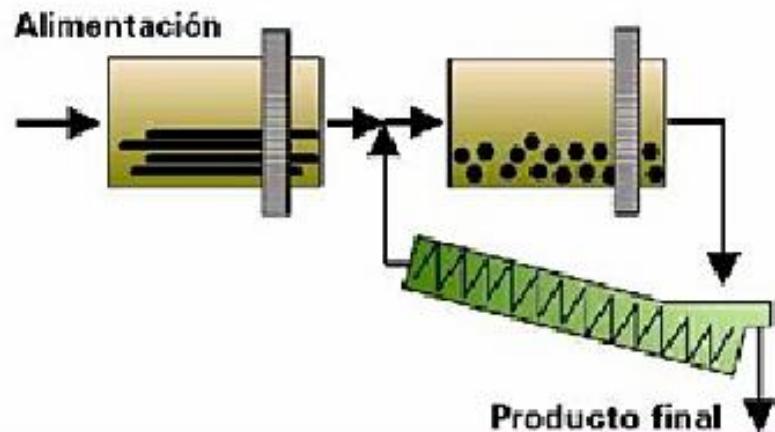




CIRCUITO ABIERTO DE MOLIENDA BARRAS-BOLAS



CIRCUITO CERRADO DIRECTO DE MOLIENDA BARRAS-BOLAS CON CLASIFICADOR MECÁNICO



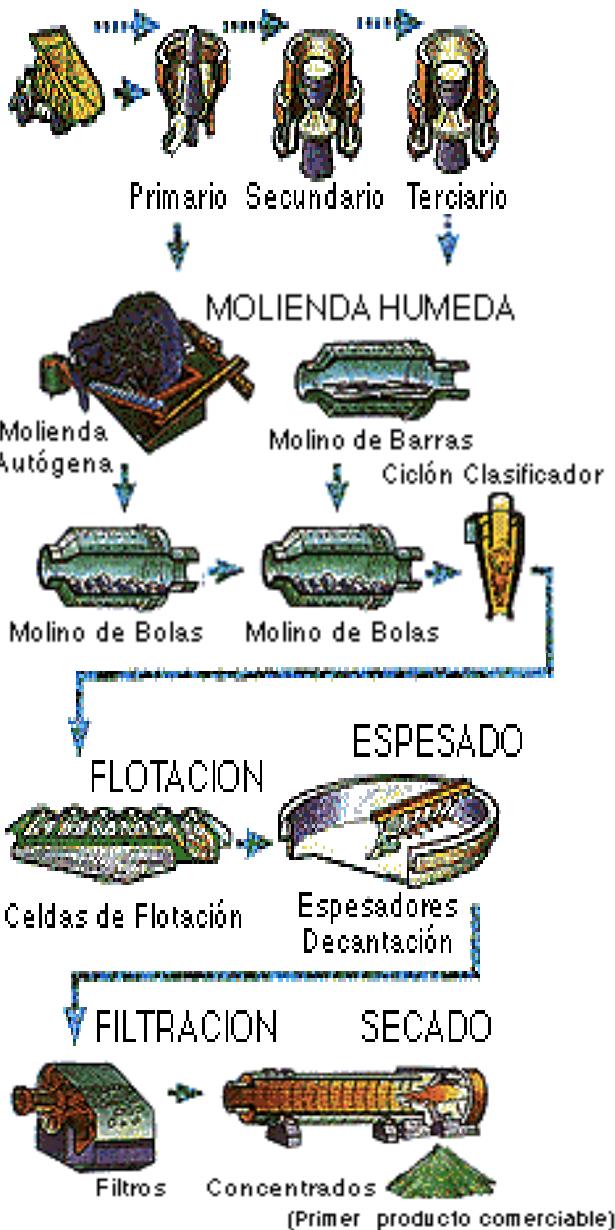
CIRCUITO CERRADO DIRECTO DE MOLIENDA BARRAS-BOLAS CON HIDROCLICLÓN

Cribado



MINERALES SULFURADOS

MOLIENDA SECA



MINERALES OXIDADOS

MOLIENDA



Las propiedades físicas y químicas de interés en la concentración de minerales son:

- 1. Gravedad**
- 2. Dureza**
- 3. Peso específico y densidad**
- 4. Sedimentación**
- 5. Fuerza centrífuga y centrípeta**
- 6. Trabajo y potencia**
- 7. Energía**
- 8. Adsorción**
- 9. Rozamiento**
- 10. pH**
- 11. Viscosidad**
- 12. Inercia**
- 13. Principio de Arquímedes**

Concentración

- **Gravedad específica:**

- sistemas:

- magnético
 - elicoidal
 - rastrillos

- **Flotación:**

- acondicionamiento:

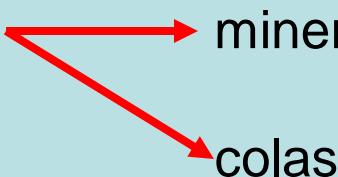
- activantes
 - depresores
 - espumantes
 - reactivantes

- celdas de flotación:

- flotación primaria (concentrado mineral A)
 - flotación secundaria, etc.(concentrado mineral B)

- tanques de sedimentación

- filtrado:



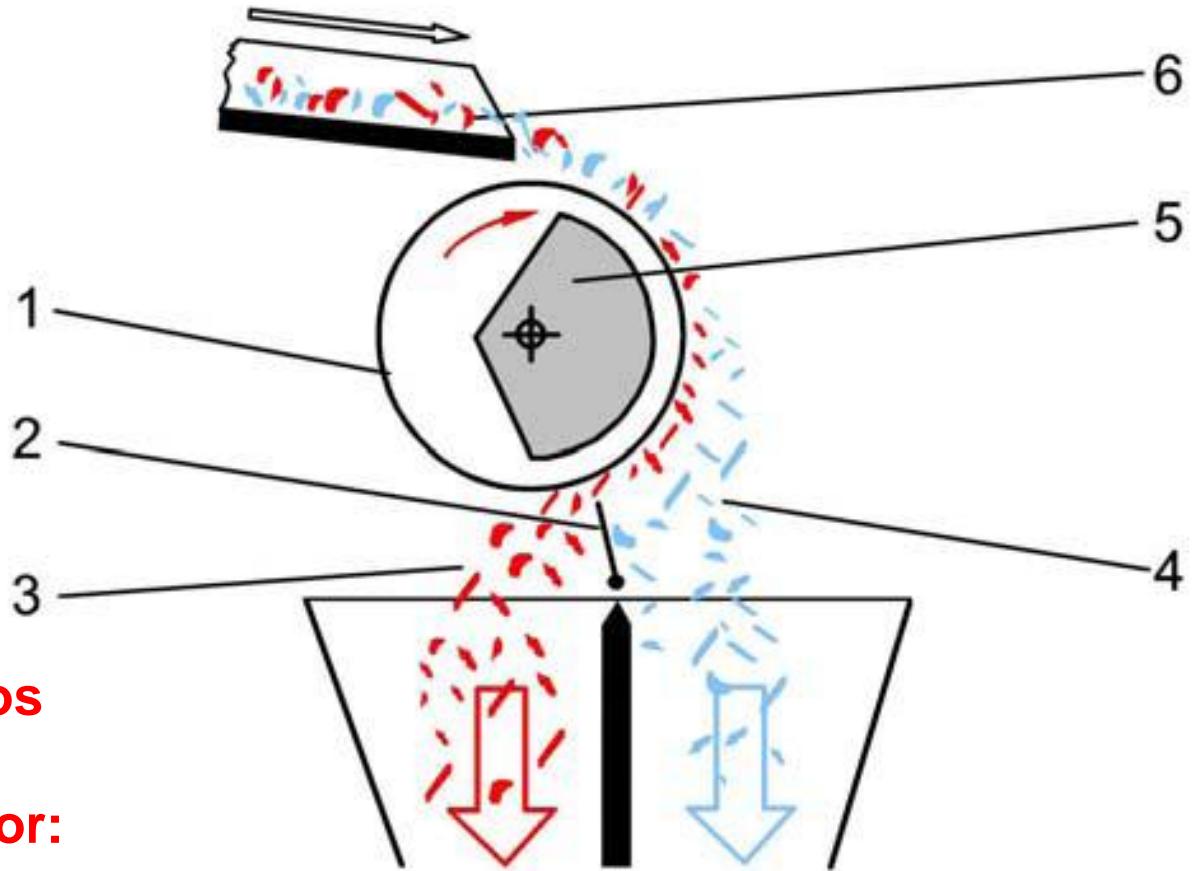
minerales

A red arrow originates from the word 'filtrado:' and points towards the word 'colas'.

colas

Proceso de Concentración: de la roca al mineral de cobre





Principio básico de los separadores magnéticos de tambor:

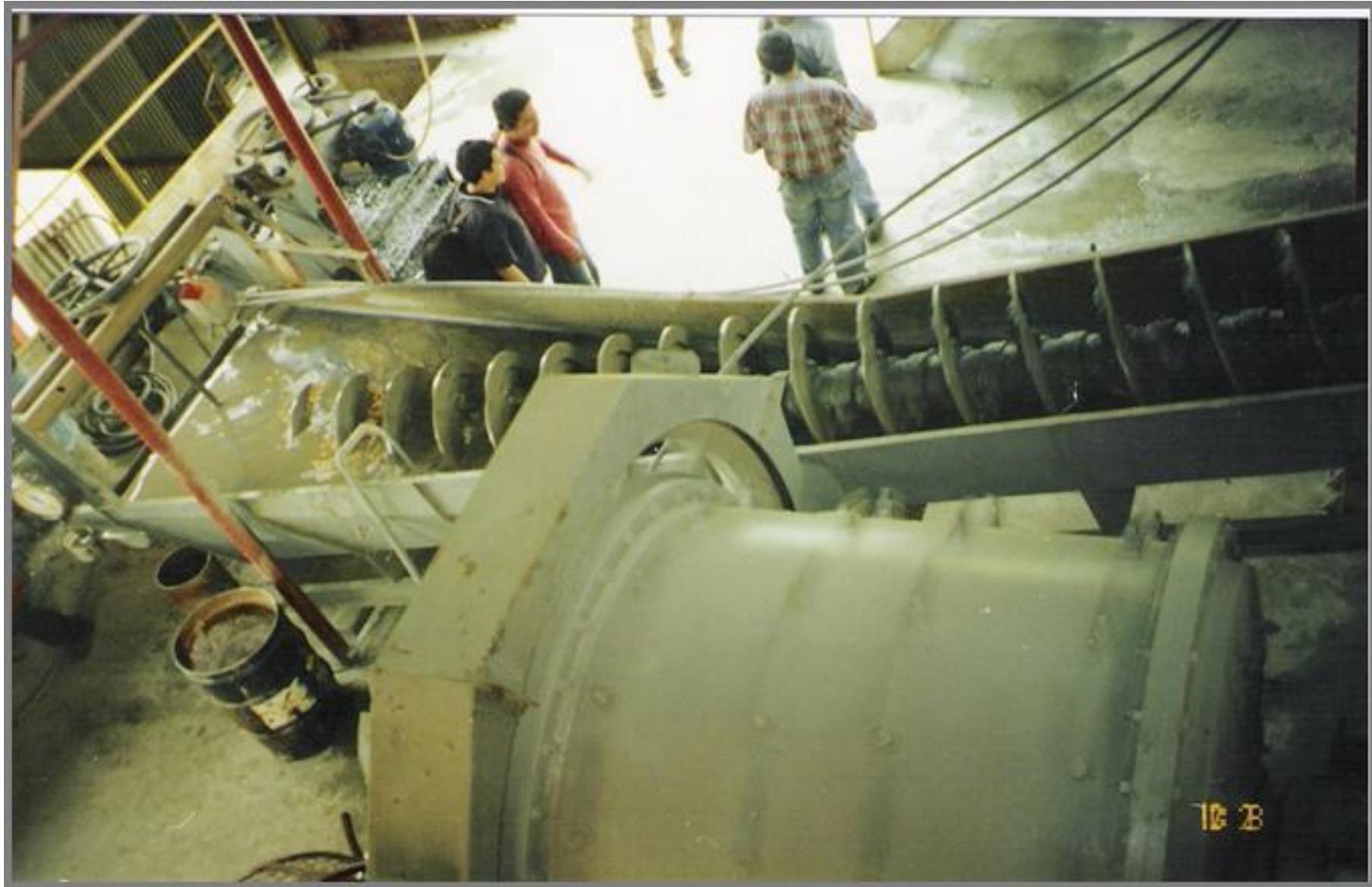
- 1 tambor rotativo (no magnético),**
- 2 chapa de separación desplazable,**
- 3 componentes magnetizables,**
- 4 componentes no magnetizables,**
- 5 imán permanente,**
- 6 material alimentado**

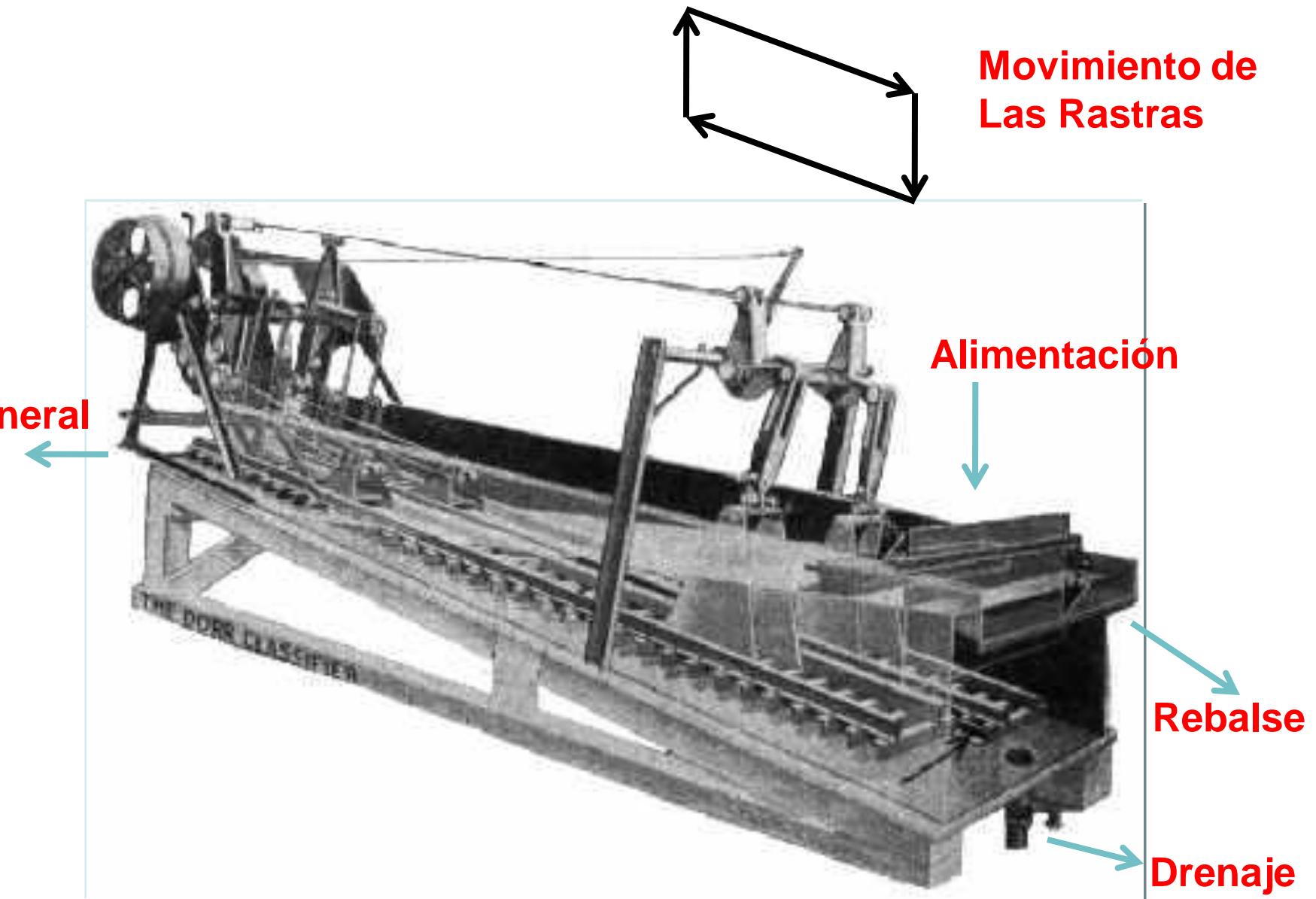




Clasificador mecánico de espiral (Akins).

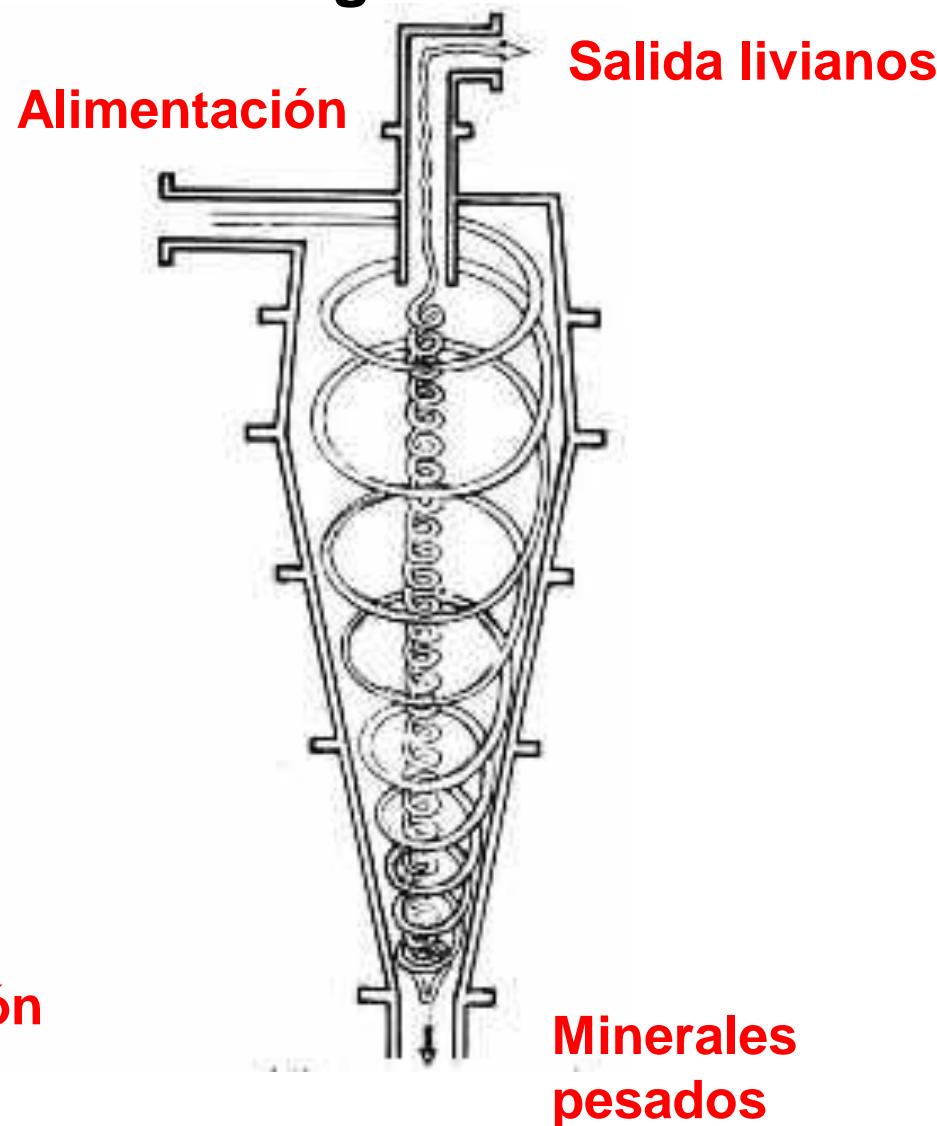
Molienda: Clasificación



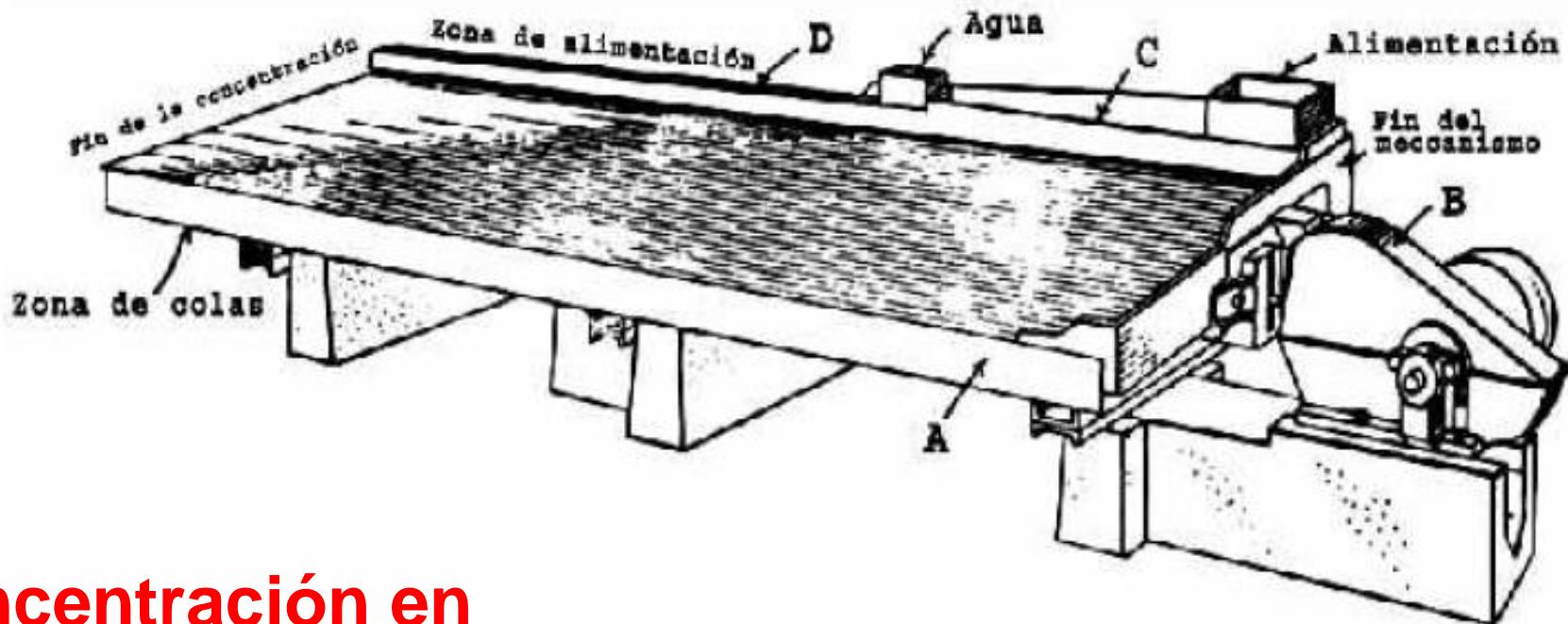


Clasificador de rastrillos Duplex (Rake).

Hidrociclones , equipos que permiten separar los granos gruesos de los finos, aprovechando la aceleración centrífuga.



Otros sistemas de concentración de minerales



Concentración en Jigs

Fig. N° 14 Mesa vibradora.

Mesa Gravimétrica

Concentración en
Jigs



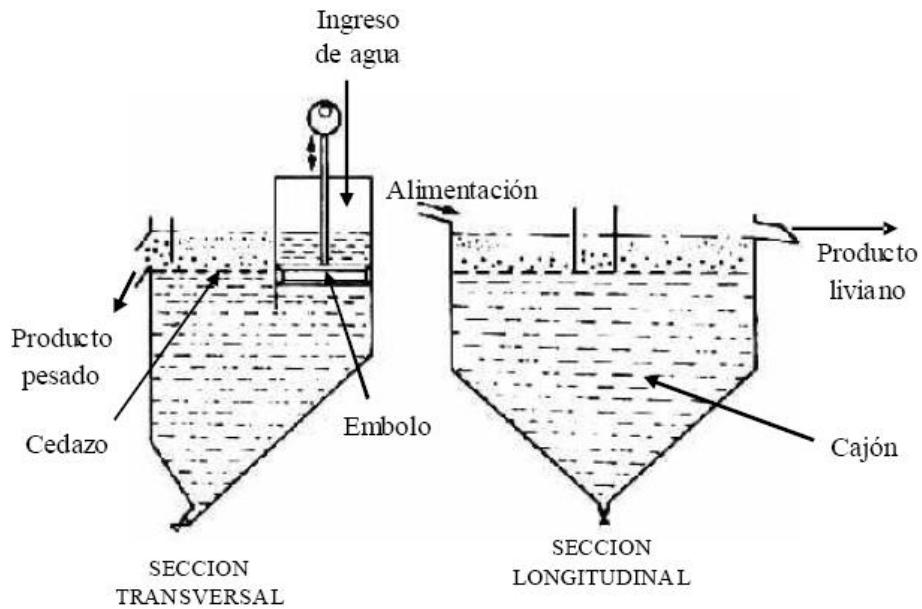


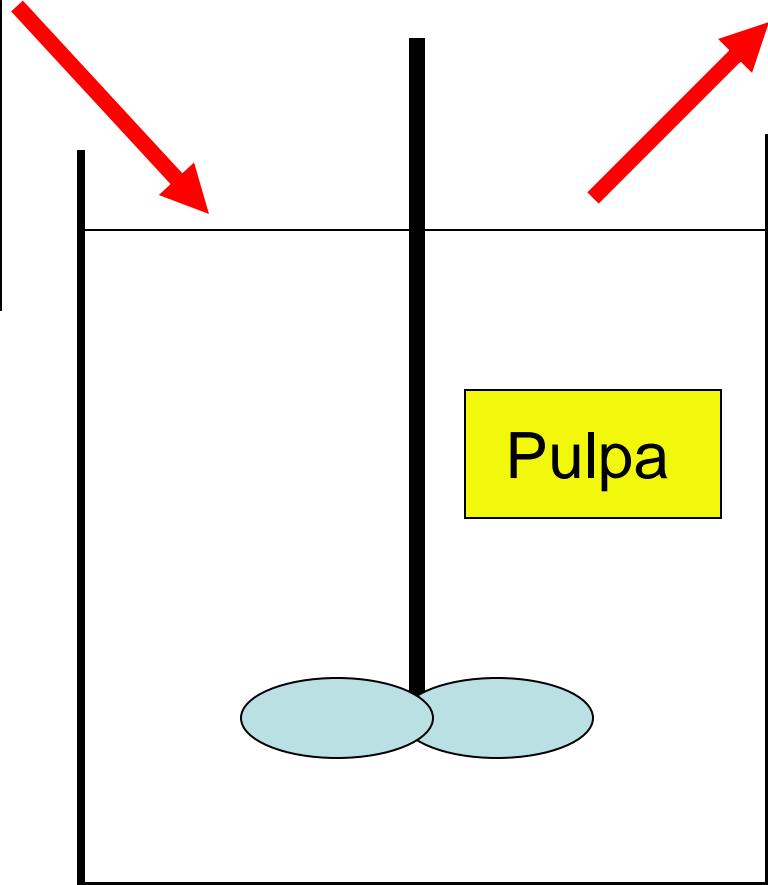
Fig. N° 5. Jig Harz

Celda de acondicionamiento de mena

Carga:

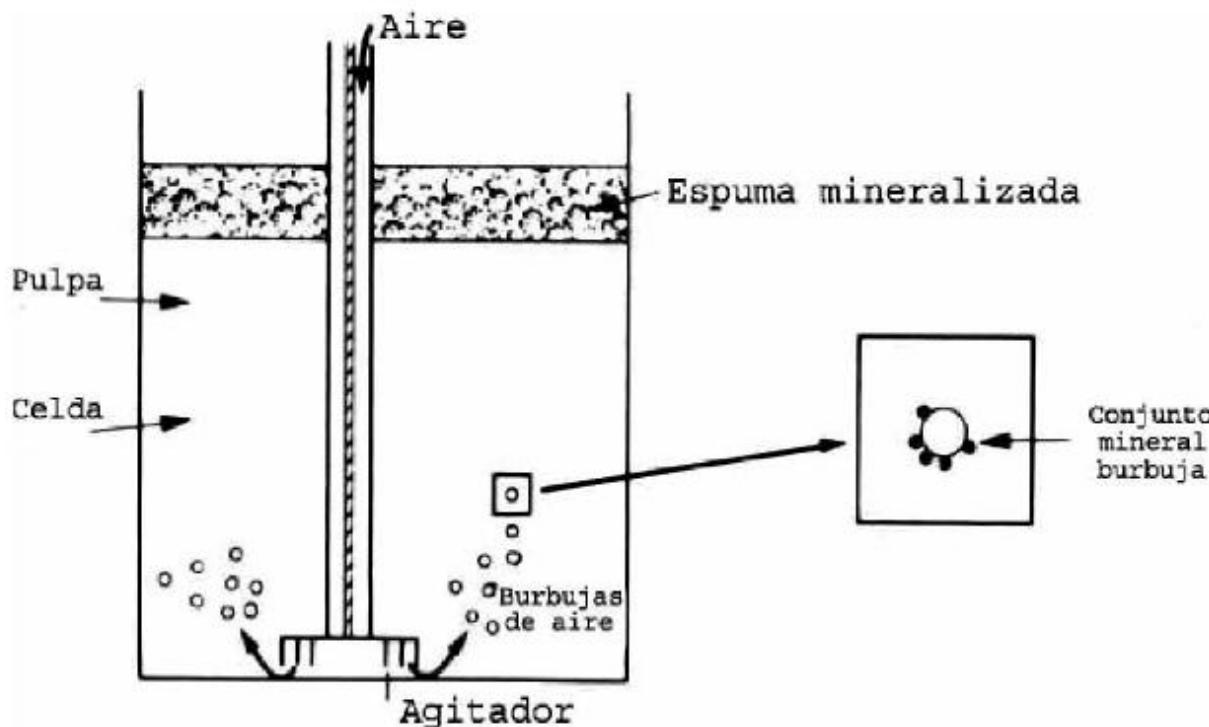
mena
activante
depresor
espumante
(reactivante)

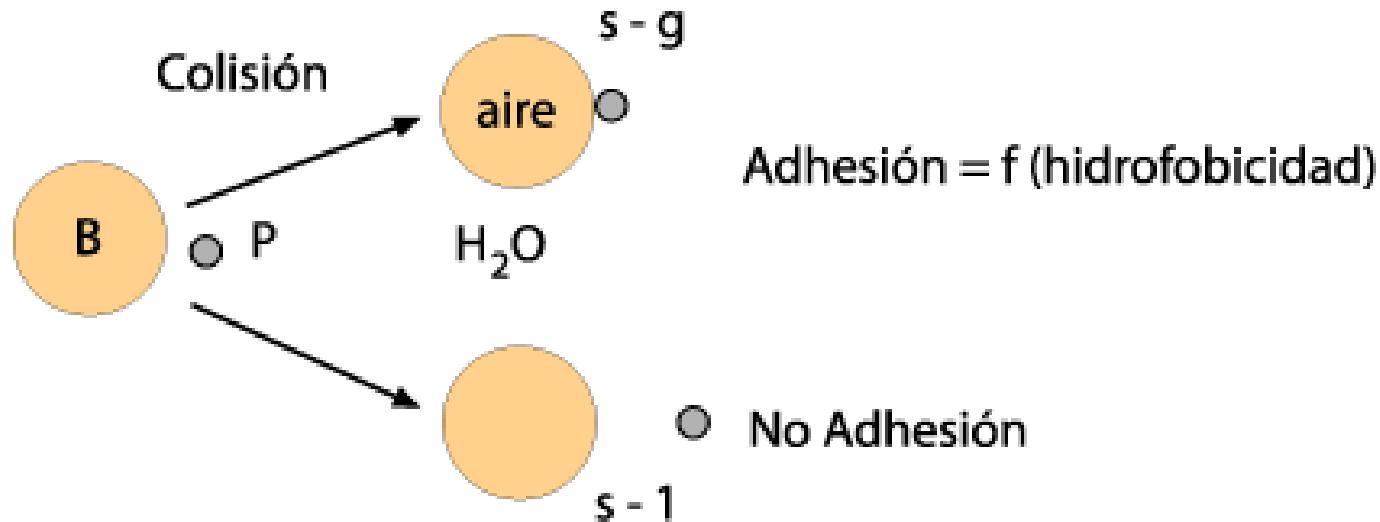
Mena acondicionada



FLOTACIÓN DE ESPUMA

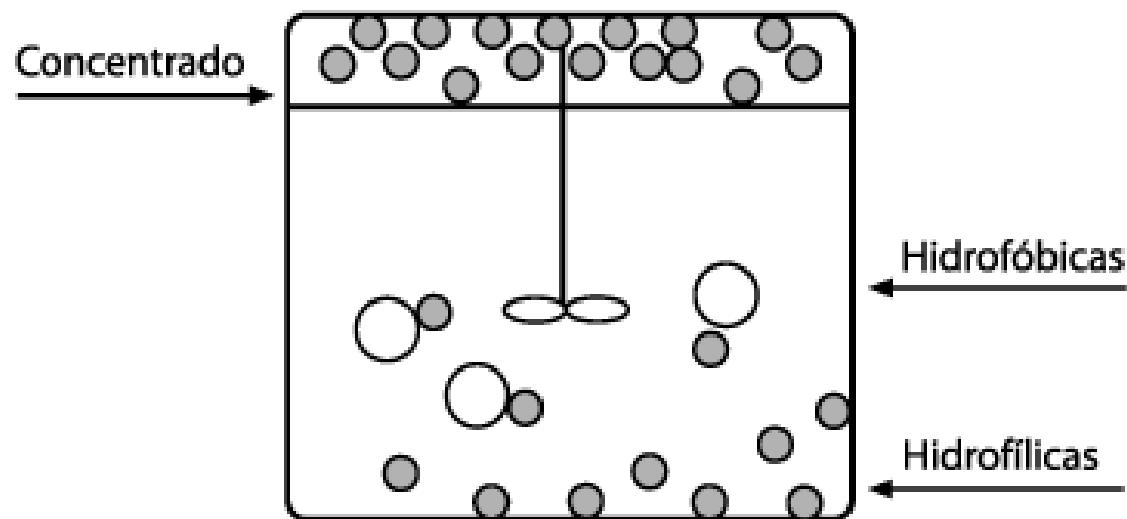
- o Es la técnica que más se emplea en la concentración de minerales.
- o Se basa en la repelencia natural o inducida de los minerales al agua (hidrofobicidad).

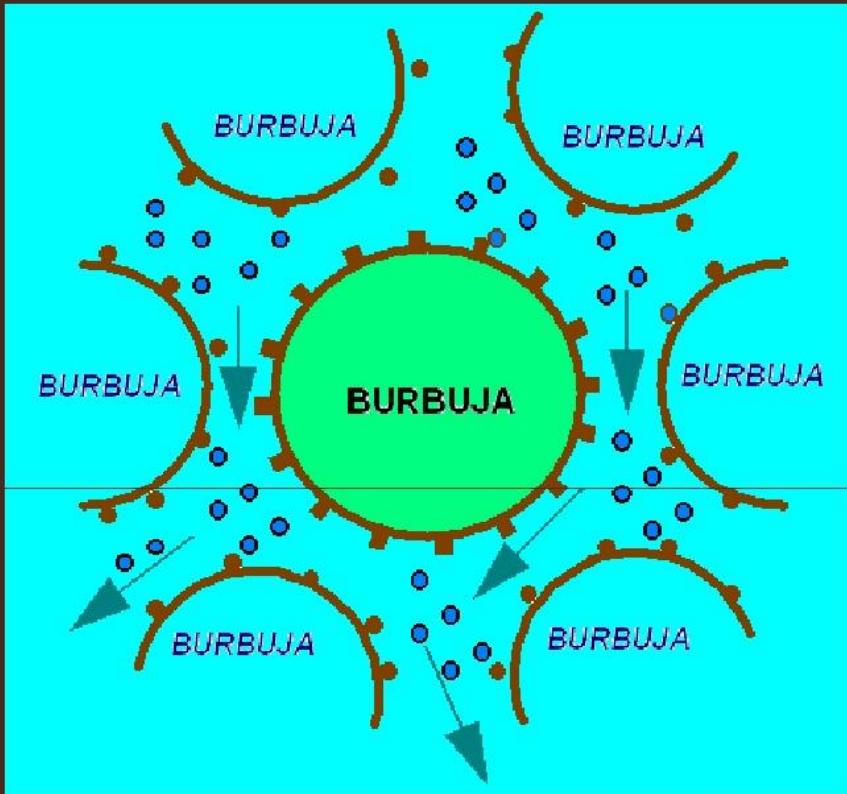




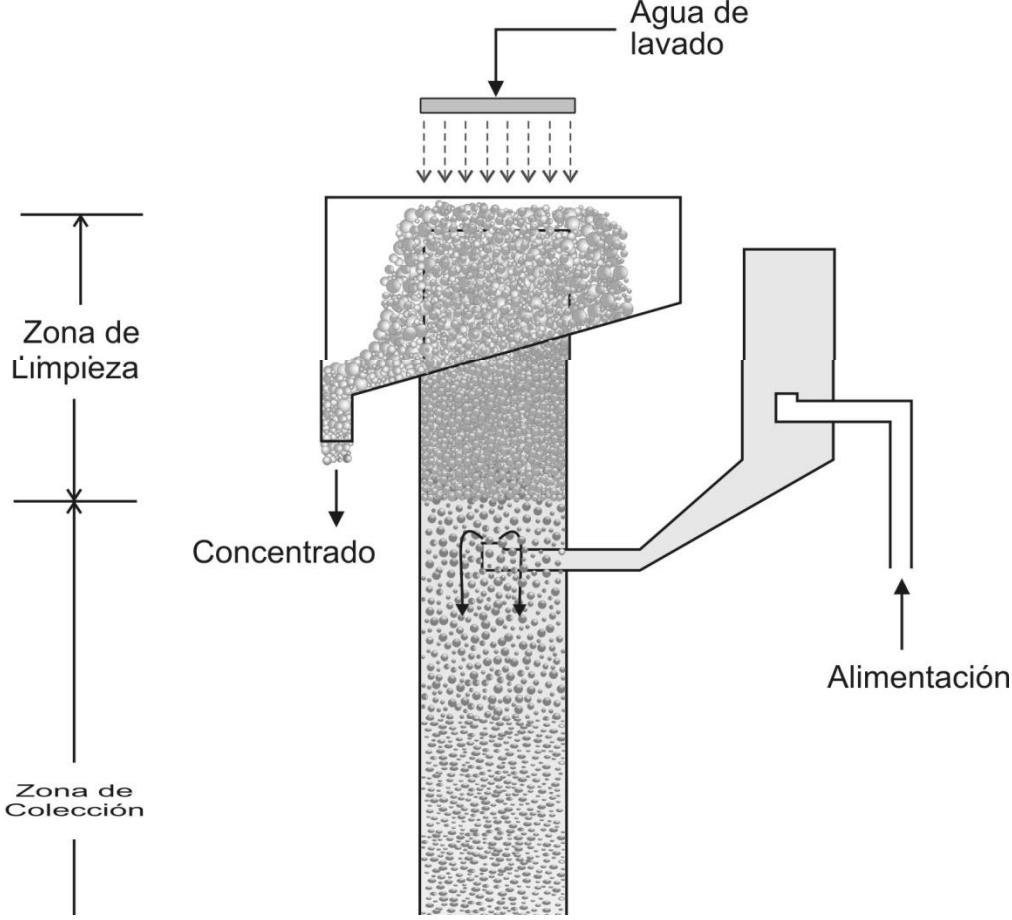
B: burbuja; P: partícula

s - g: sólido - gas; s - l: sólido - líquido





- Flujo de agua en una sección plana del lecho de espumas dentro del triángulo de Gibbs



Columna de Flotación Convencional

Celda de flotación

Mina acondicionada

concentrado

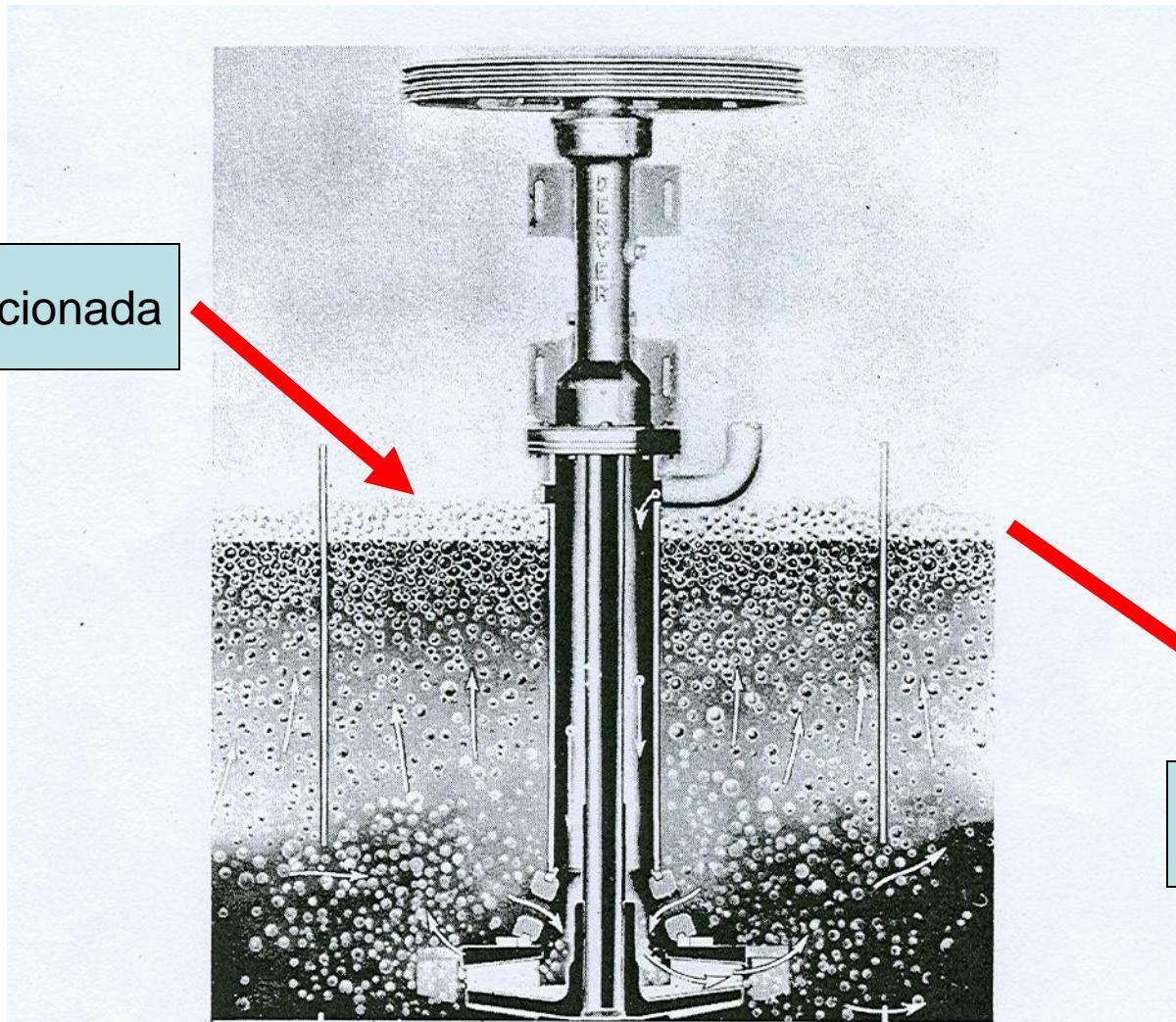


Fig. 17.11 Sección recta de una celda de flotación. (Denver Equipment Company.)

ZONAS DE LA CELDA DE FLOTACIÓN



Proceso de flotación de las partículas de mineral en las burbujas de aire

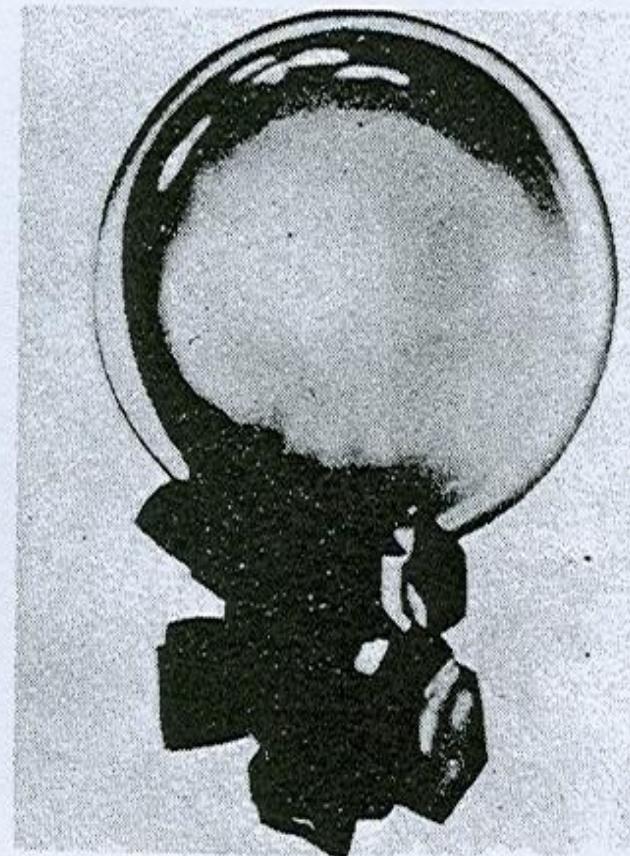
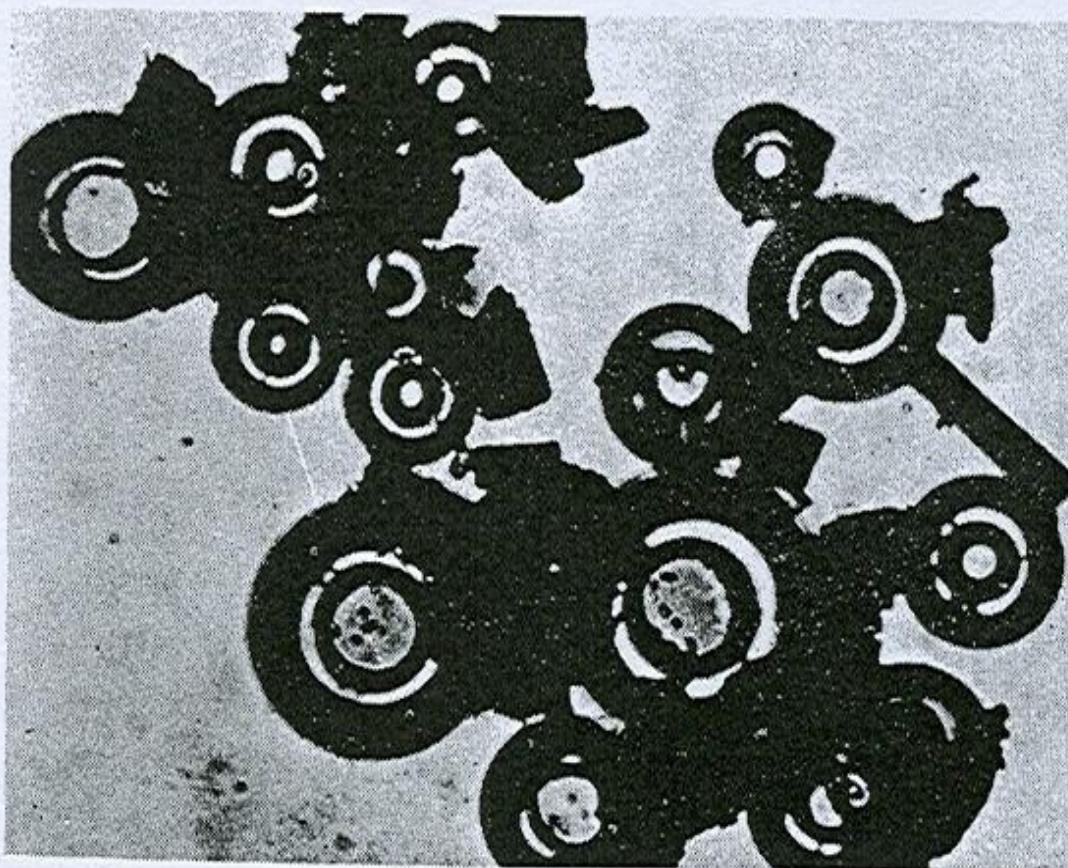
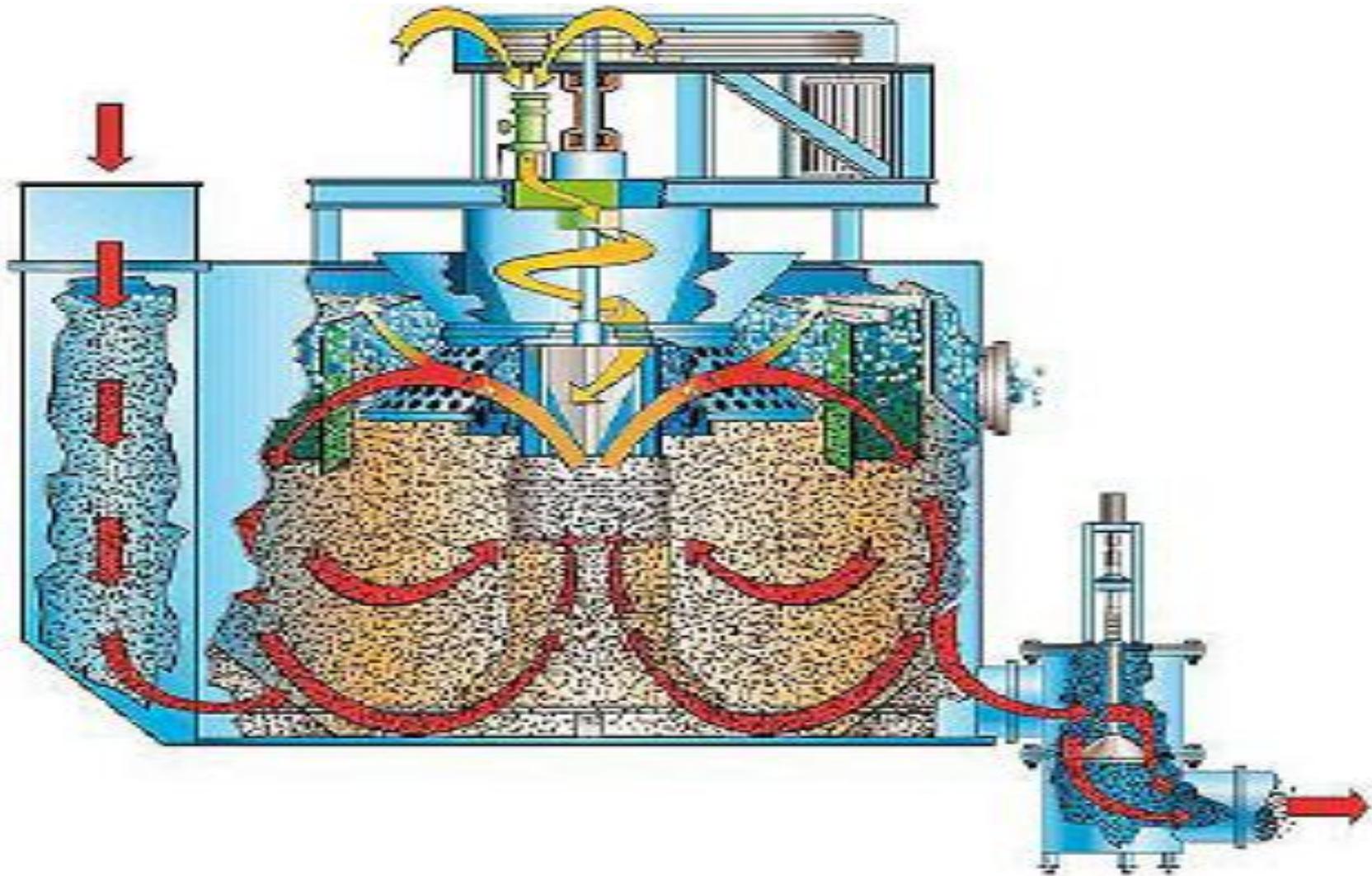


Fig. 17.12 Fotografías ampliadas, en las que se ve que las burbujas pequeñas (a la izquierda) mantienen en flotación mucha más cantidad de mineral de plomo que una burbuja grande (a la derecha). (*Denver Equipment Company.*)

CELDA DE FLOTACIÓN WEMCO



BURBUJA DE AIRE Y PARTÍCULAS DE CALCOPIRITA

Air Bubble Surrounded by
Chalcopyrite Grains

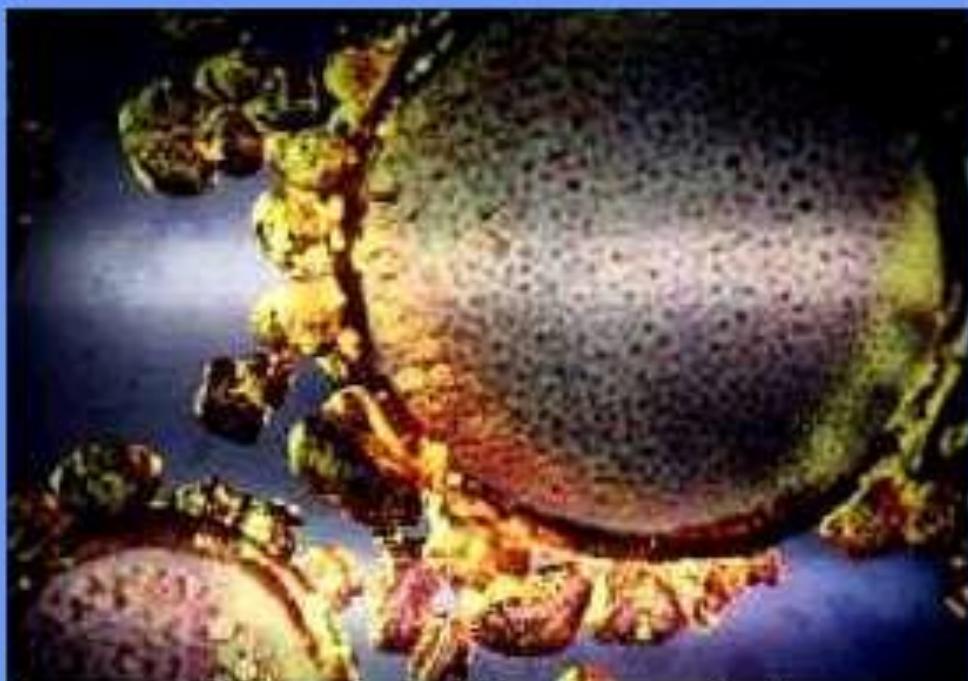


Photo from Asarco Mineral Discovery Center

C. Ophardt, c. 2003



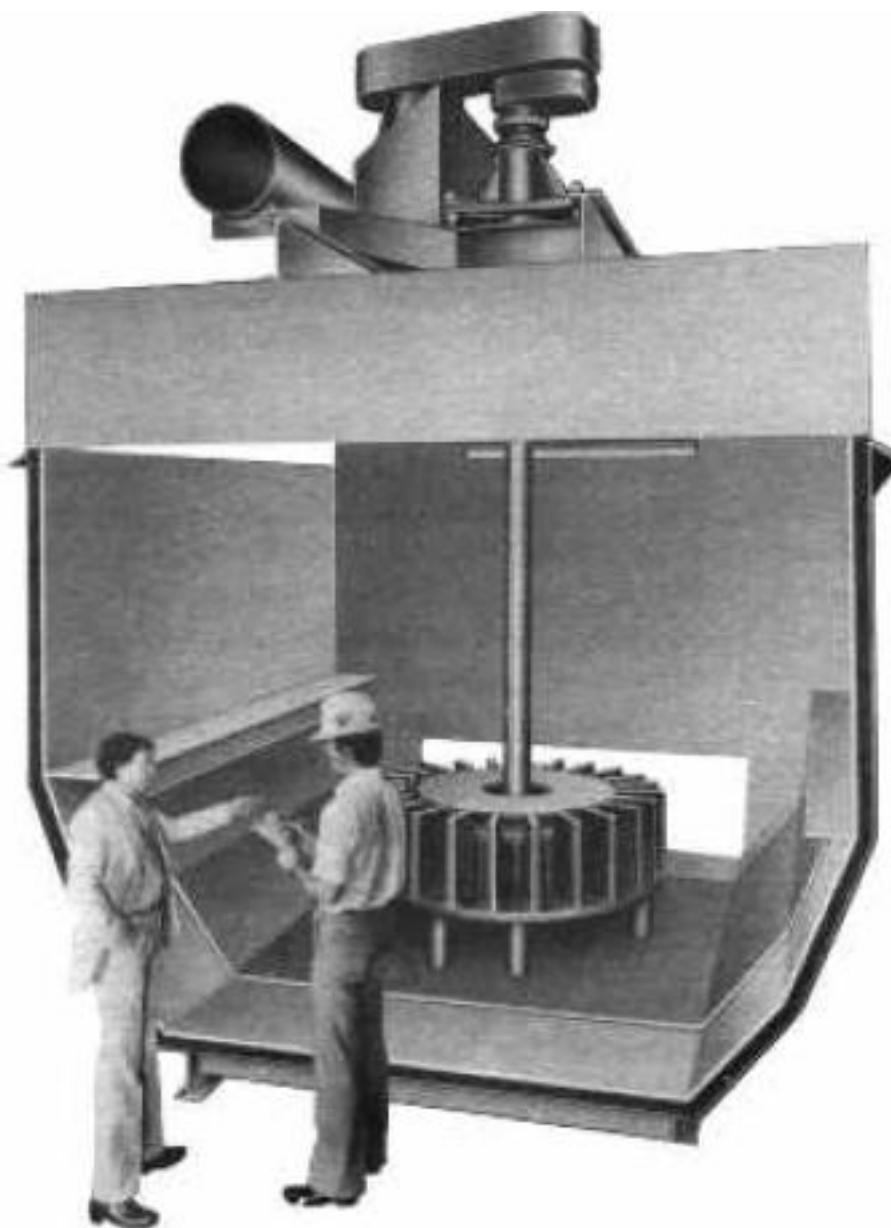
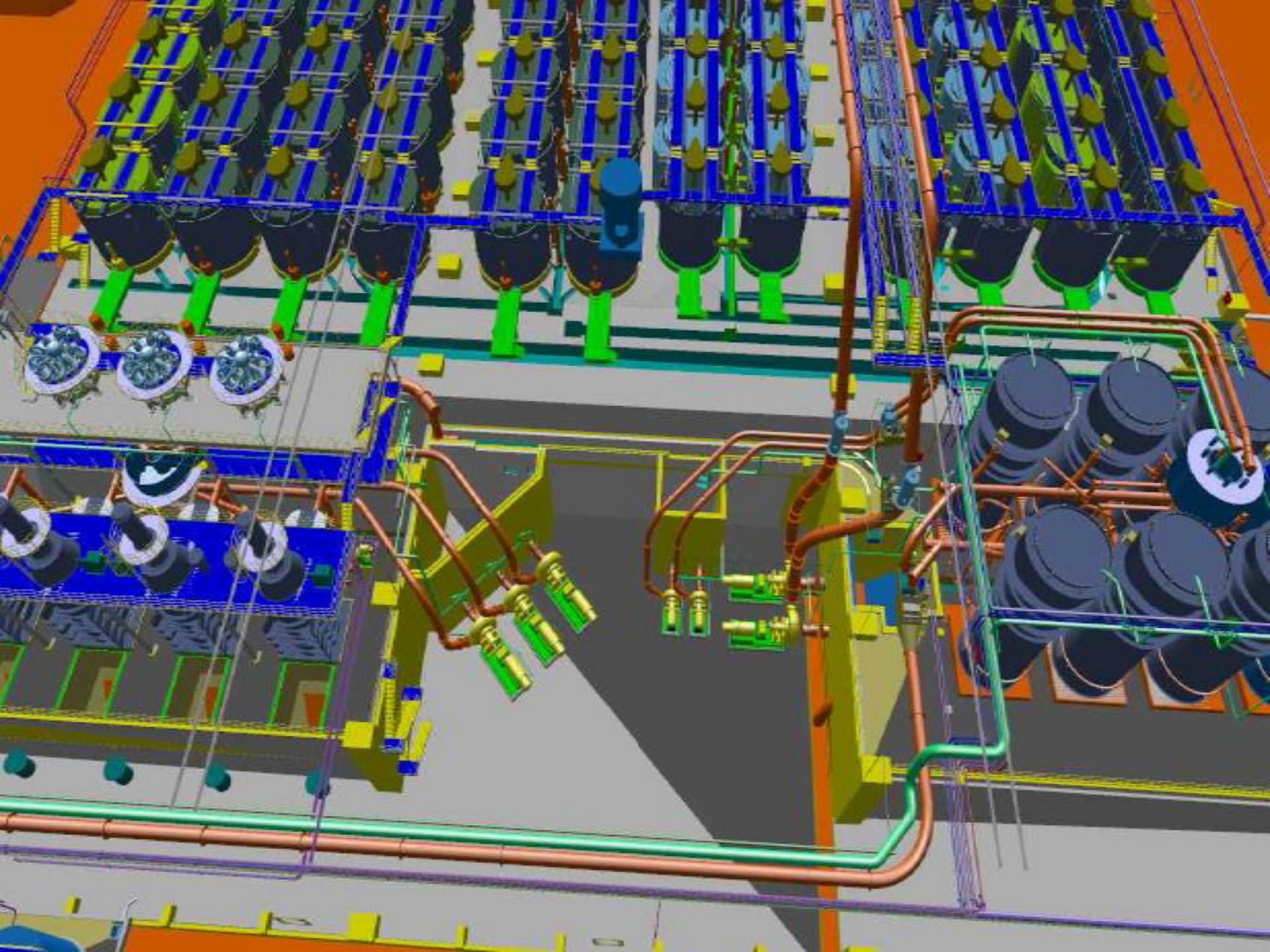
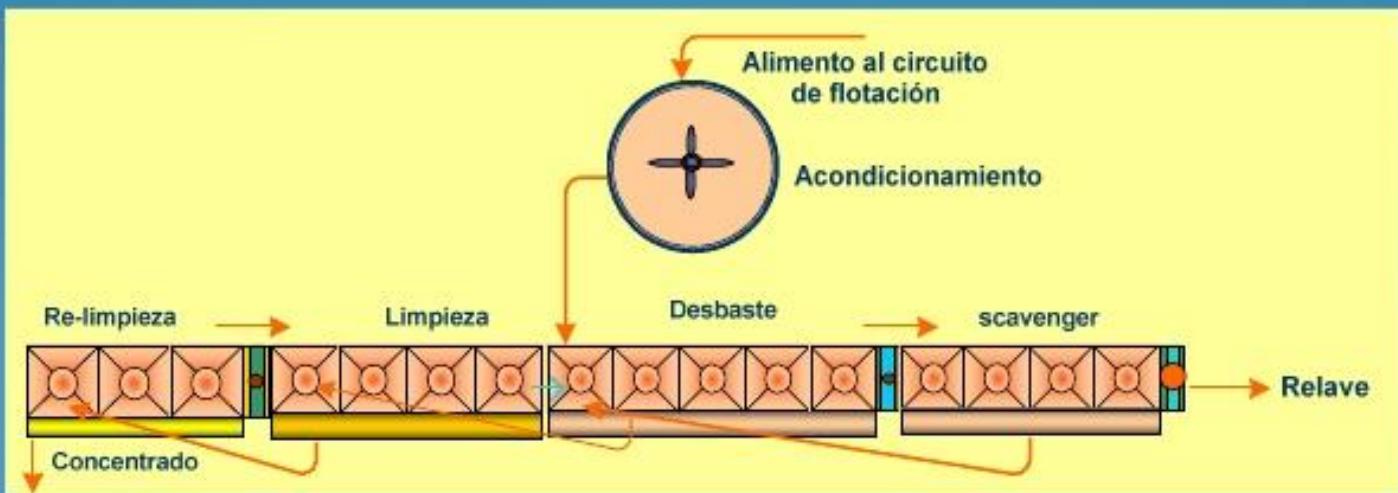
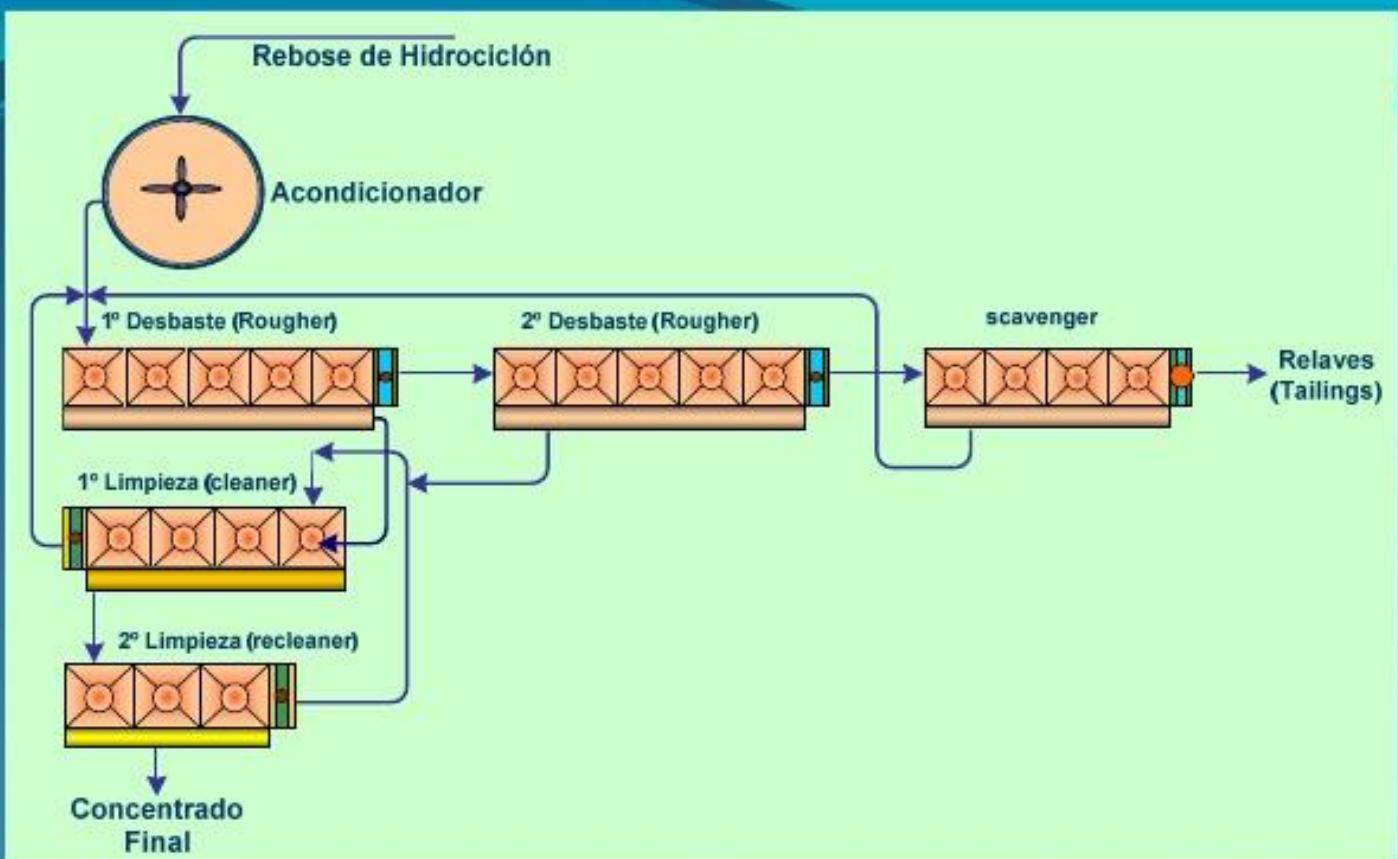
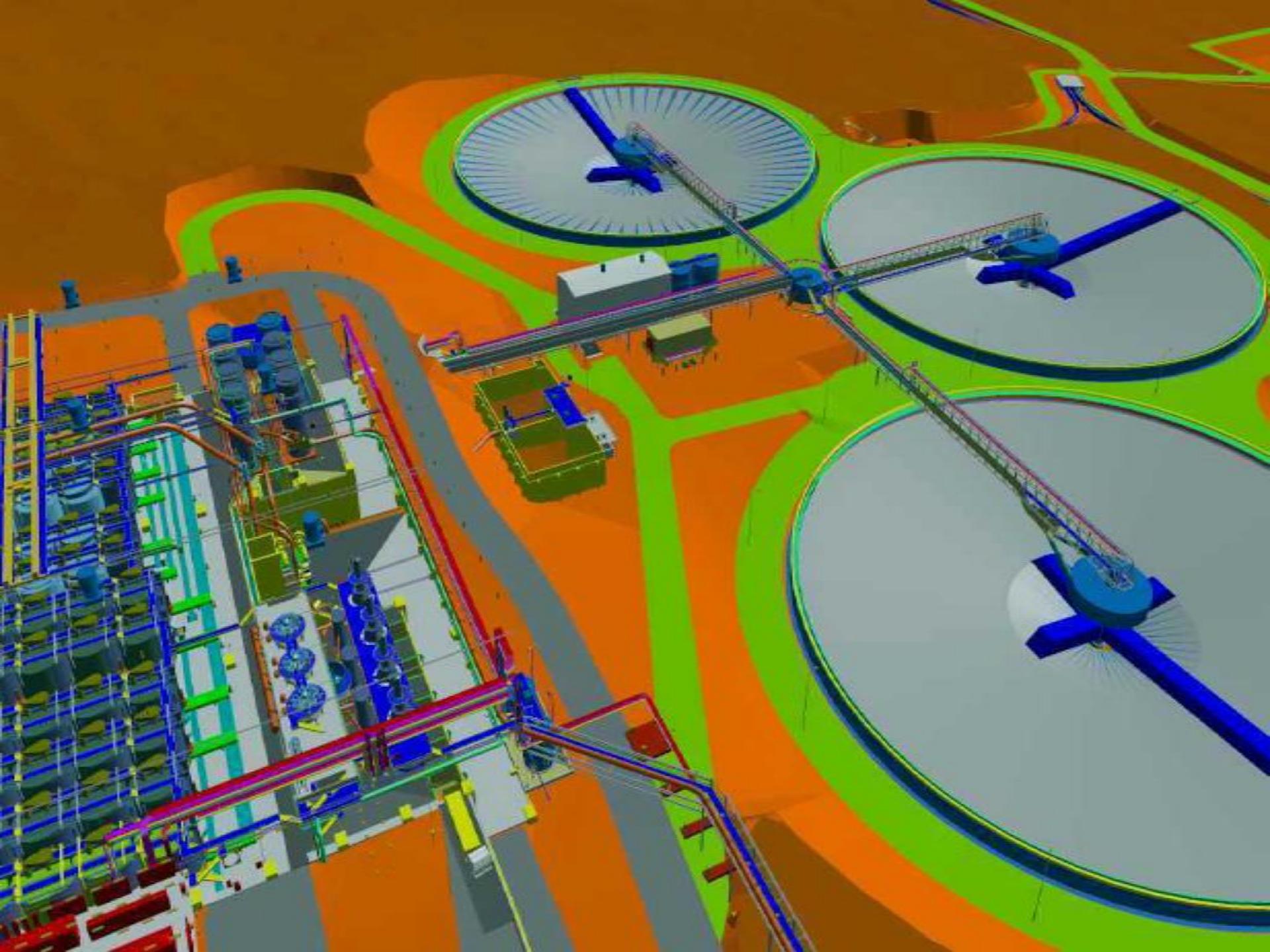


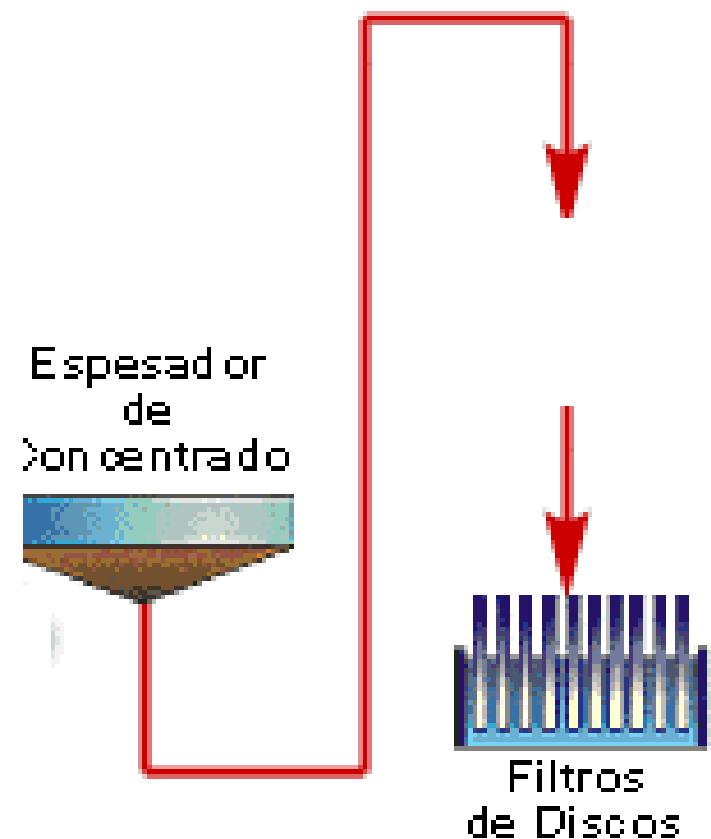
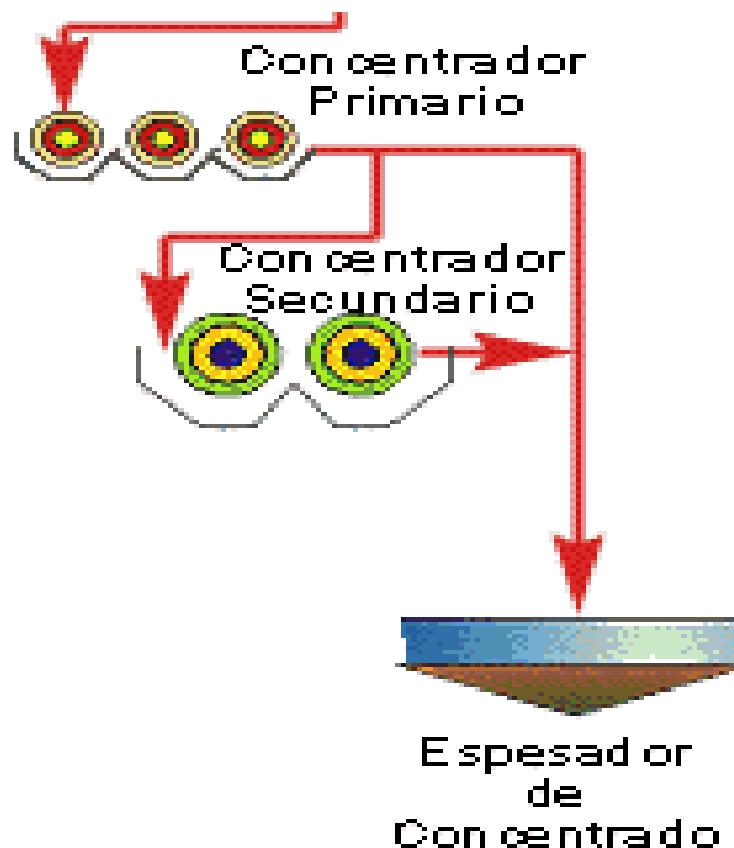
Fig. N° 14. Celdas de flotación de 42.5 m³.

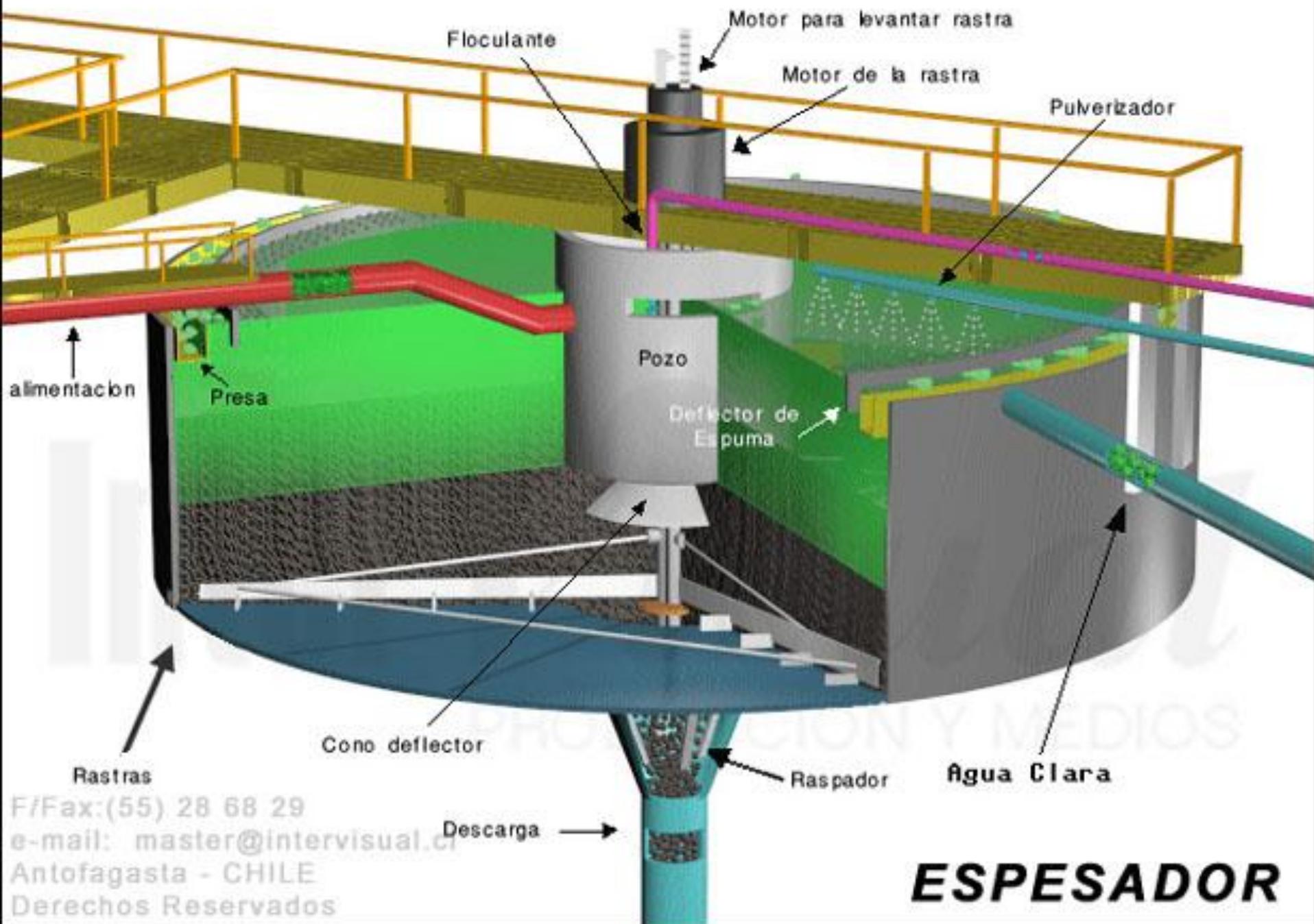


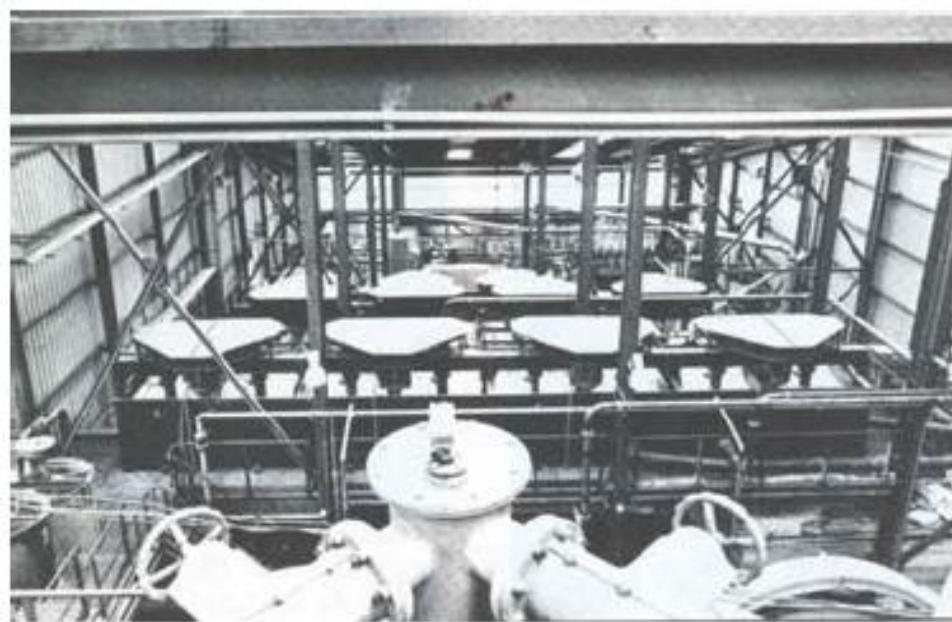




Flotación, concentrado y filtrado

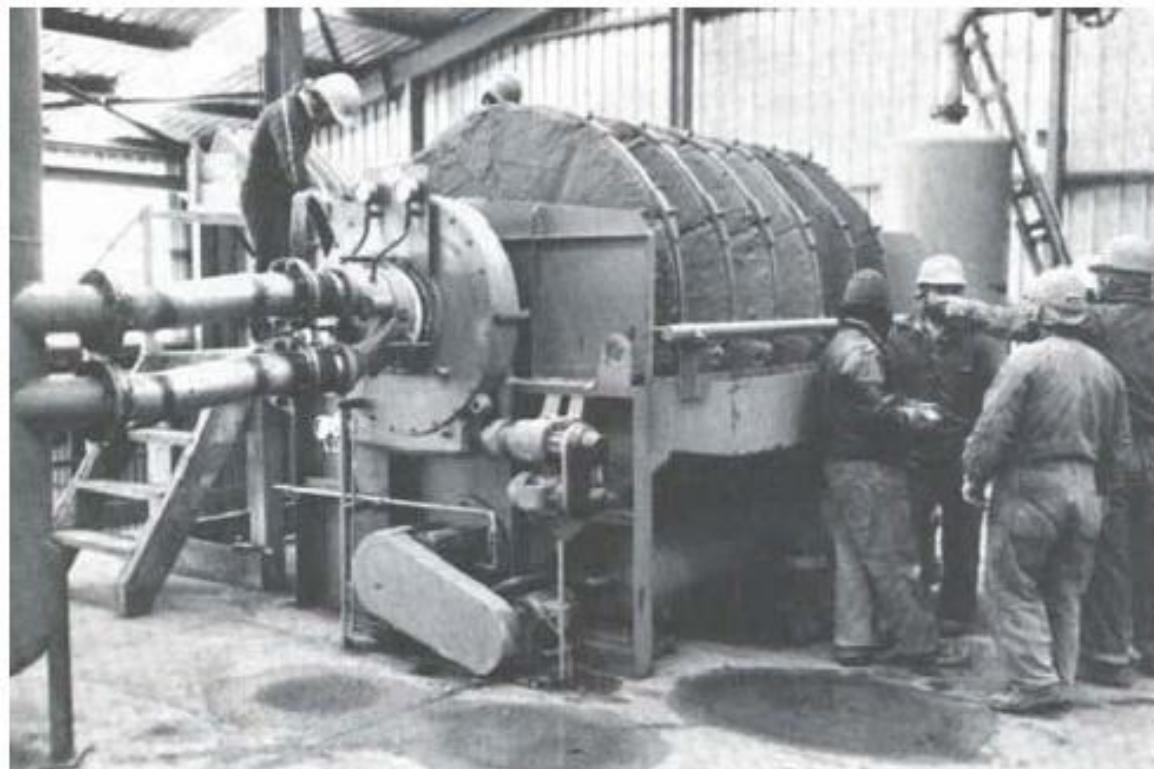


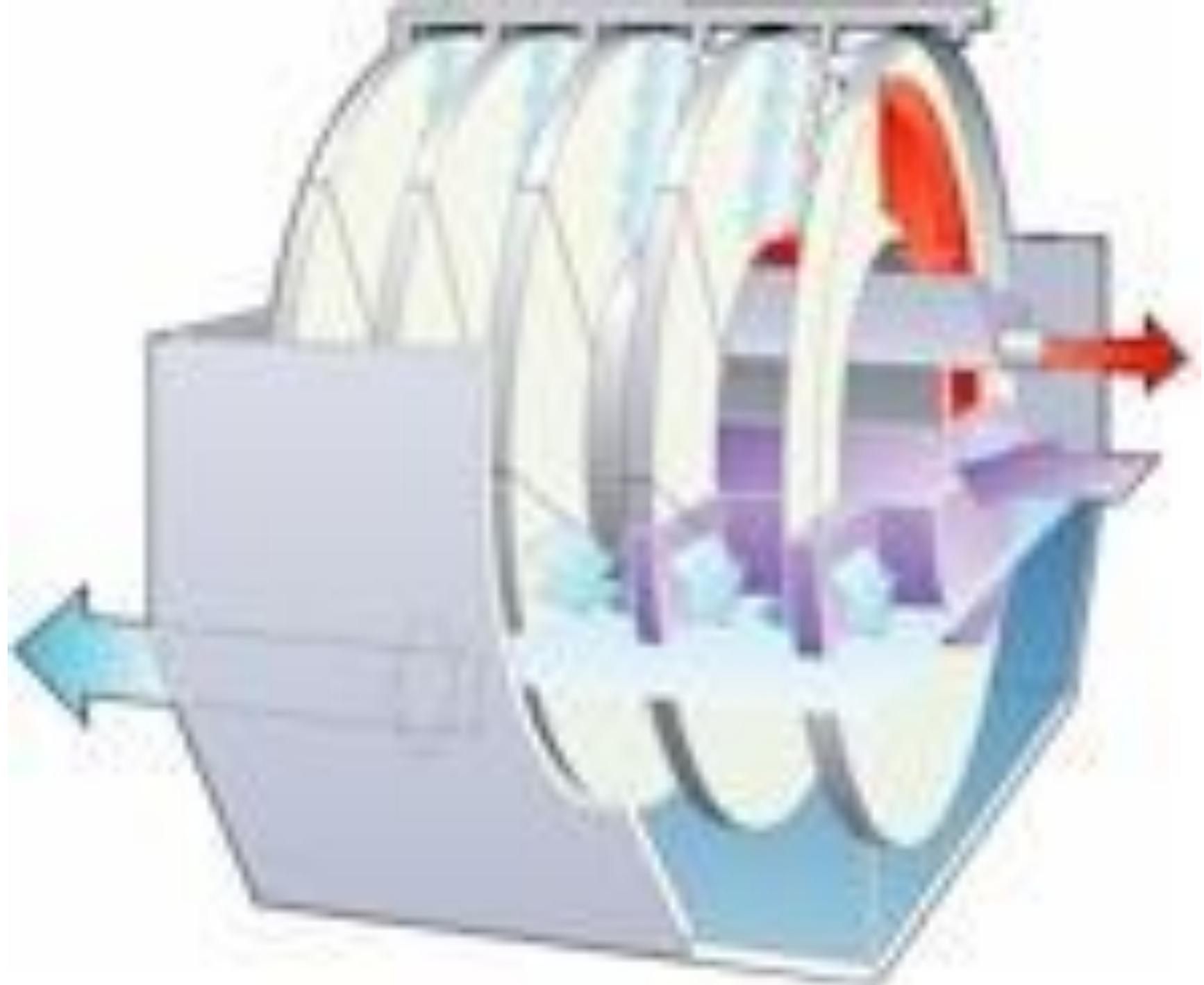




Baterías de Celdas de flotación

Filtro de discos al vacío

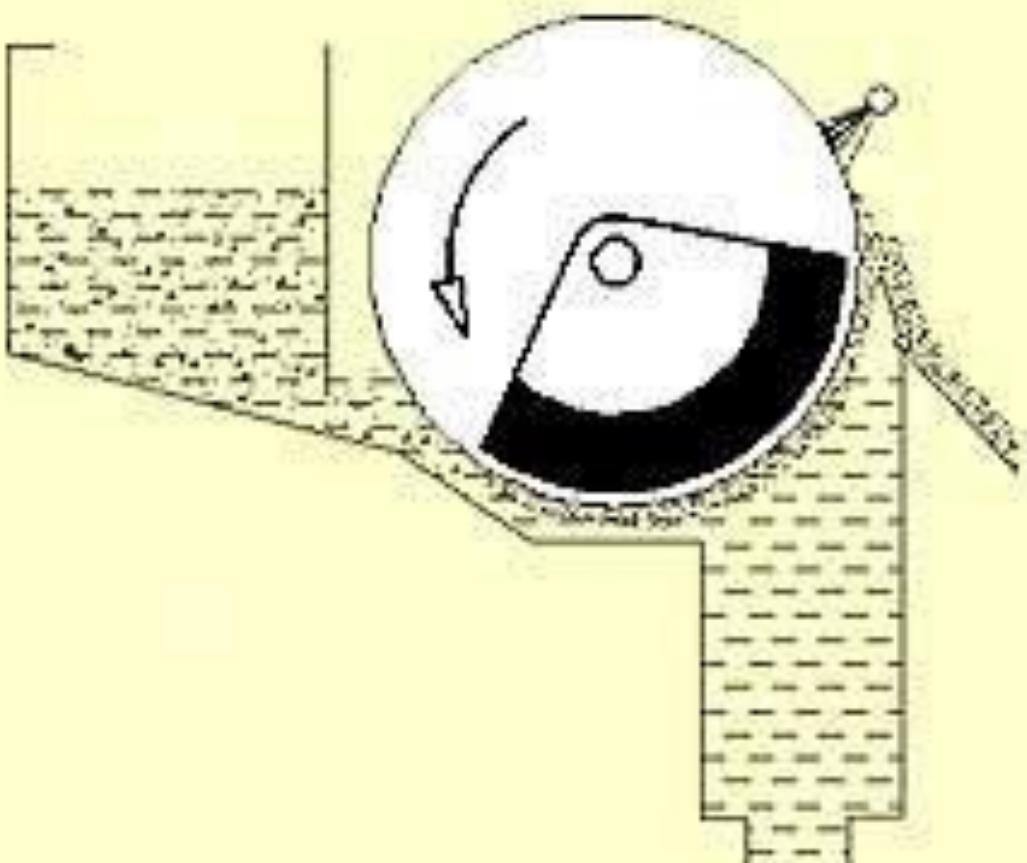




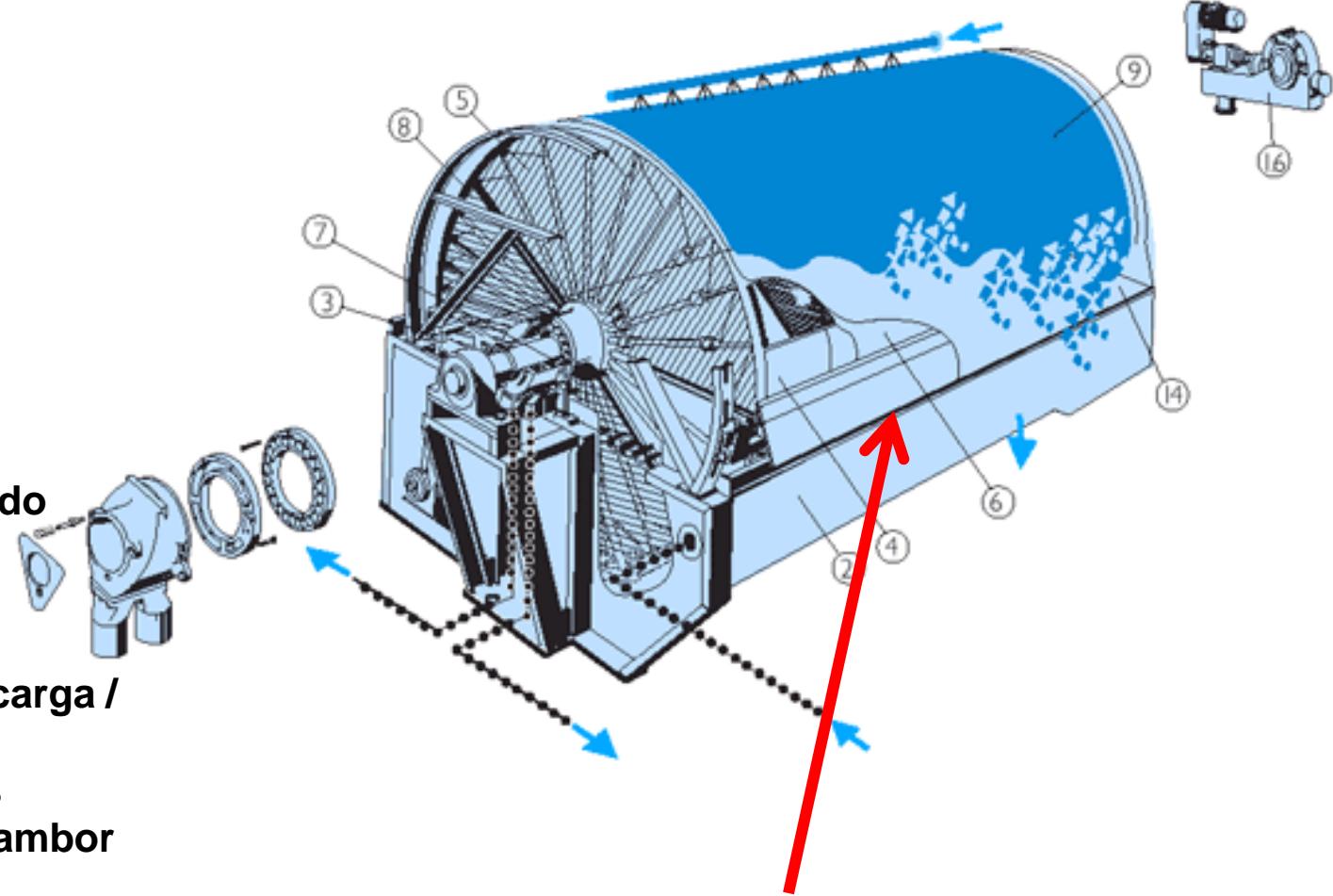


FILTRO DE TAMBOR



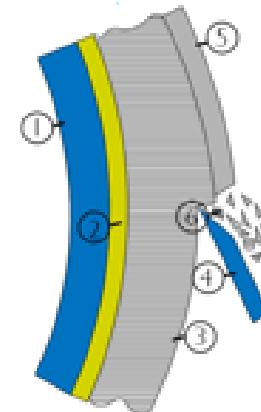


- 1 Suspension**
- 2 Cuba del Filtro**
- 3 Agitador pendular**
- 4 Celdas de Filtración**
- 5 Tambor**
- 6 Tela Filtrante**
- 7 Valvula de mando**
- 8 Tubos de filtrado**
- 9 Solidos separados**
- 10 Dispositivos de lavado**
- 11 Liquido de lavado**
- 12 Filtrado madre**
- 13 Filtrado del lavado**
- 14 Dispositivos de descarga / Descarga por rasquete**
- 15 Descarga de solidos**
- 16 Accionamiento del tambor**

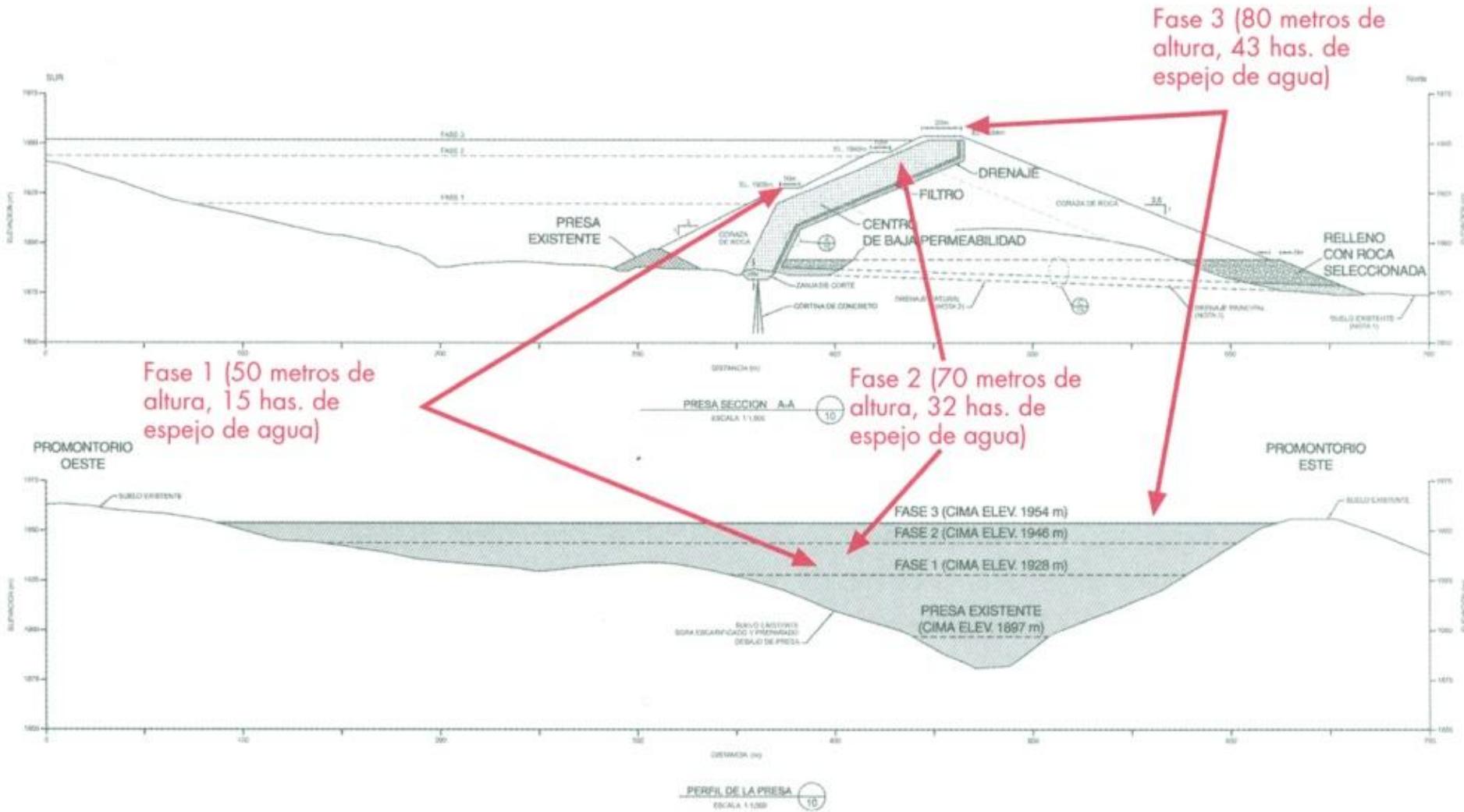


Precapa: (1-Tambor, 2-Tela, 3-Precapa, 4-Rasquete, 5-Torta, 6-Descarga torta/precapa).

Descarga realizado por un rasquete con ajuste de avance que separa la torta y una pequeña parte de la precapa existente sobre el tambor.



Tratamiento de colas en una mina de oro



DAÑO AMBIENTAL DE LA MINERIA

- Las grandes ganancias son para las empresas pero no para las comunidades que habitan las áreas donde los recursos minerales son importantes
- Tampoco como fuente de trabajo la minería es sustentable. Cuando los depósitos de minerales se agotan, desaparecen los puestos de trabajo.
- Actividad a corto plazo pero con efectos a largo plazo

Datos Complementarios de la Minería Subterránea

Impactos Ambientales causados por la Minería Subterránea

- **Impactos sobre el Medio Físico**
 - Explotación de los recursos
 - Impacto sobre la atmósfera
 - Modificación de las rocas

- Impacto sobre el Agua
- Ruido y vibraciones
- Impacto sobre el paisaje
- Deforestación



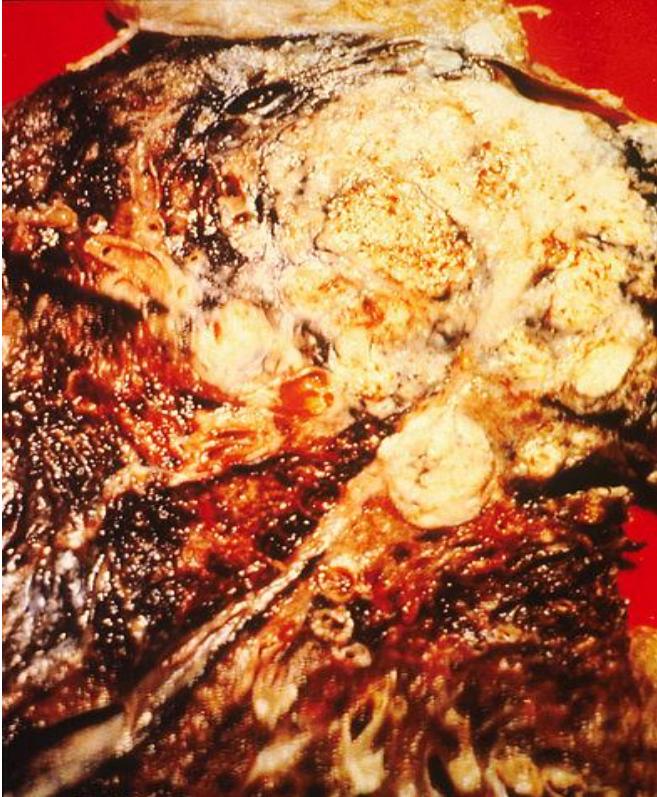
- **Impactos sobre la Biodiversidad**
 - Contaminación atmosférica
 - Impacto del agua
 - Deforestación
- **Impactos de Tipo Social-Económico**
 - Construcción y desarrollo de vías de comunicación e infraestructura

- Creación de centros educativos y de salud
- Generación de empleos
- Regalías
- Protestas y manifestaciones
- Migraciones



SEGURIDAD Y SALUD EN LAS MINAS

- **Estadísticas**
- **Enfermedades**
 - **Silicosis**
 - **Neumoconiosis**
 - **Siderosis**
 - **Cáncer de pulmón**



Conclusiones

- La degradación ambiental es una consecuencia inevitable de la actividad minera subterránea pero este desgaste del medio puede disminuirse y corregir por medio de una extracción controlada y planificada, usando materiales alternos por ejemplo en vez de entibar con madera se puede hacer con acero

- Las poblaciones locales se benefician ante la presencia de una minera ya que genera empleos (directos e indirectos), mejoras las redes viales de comunicación, construye edificaciones que pueden mejorar el nivel de vida estas personas.

- Las poblaciones locales se ven perjudicadas ante la presencia de una minera como resultado de la contaminación ambiental, destrucción del paisaje y dependencia de la mina.

- Existen diversas enfermedades que pueden contraerse cuando se labora en una mina, los mineros y demás trabajadores deben estar conscientes de los riesgos a los que están expuestos.
- Un ingeniero que va a desempeñar un puesto de trabajo en una mina subterránea debe tener un alto conocimiento de los temas que implica laborar en una mina, no sólo limitarse a los procesos y demás aspectos que son únicamente de su carrera.



El enorme consumo de agua que requiere la actividad minera generalmente reduce la capa freática del lugar, llegando a secar pozos de agua y manantiales.

Un Estadounidense utiliza 22 kilogramos de aluminio al año, el ciudadano promedio de la India usa 2 kilogramos y el africano promedio apenas 0,7 kilogramos.

Para producir un anillo de oro, el promedio de residuos de roca generados es una mina es de más de 3 toneladas

En Estados Unidos, la compañía Pegasus Gold hizo desaparecer la montaña Spirit Mountain de Montana, reemplazando lo que fuera sitio sagrado de las tribus por una mina de oro a cielo abierto.

La minería que se encarga de la extracción de metales preciosos emplea menos del 0,1% de la fuerza laboral mundial pero consume entre el 7 y 10% de la energía del planeta