



MANUAL DE LA MAPE

Manual de la Minería artesanal y pequeña escala

Manual de la minería artesanal y de pequeña escala

Nombre del autor(es) "Esta es una obra colectiva"

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet)

Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima, Perú

Primera edición, febrero de 2025

© INGEMMET

Luis Giovanni Peña y Verónica Ruiz del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Mario Gómez y Junior Ramos de la Dirección General de Minas de Costa Rica (DGM).

Manuel Quezada, Cristian Zúñiga del Instituto de Investigación Geológico y Energético de Ecuador (IIGE).

Marina Alejandra Rodríguez y Rodrigo Andrés Díaz de la Dirección General de Energía, Hidrobarburos y Minas de El Salvador (DGEHM).

Josielo Sánchez y Elder Martínez del Instituto Hondureño de Geología y Minas (INHGEOMIN).

Pedro Martínez del Servicio Geológico Mexicano (SGM).

Edwin Loaiza y Henry Luna del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico de Perú (INGEMMET).

Gracia Olivenza y Marta Pino de la Secretaría de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI).

Revisión Técnica Perú: Edwin Loaiza.

Revisión Técnica Mexico: Pedro Martínez.

Revisión Técnica Ecuador: Manuel Quezada y Cristian Zúñiga.

Revisión Técnica Colombia: Verónica Ruiz

Diagramación: Nuria Chambi Moloche

Diseño de carátula: Daniel Chiroque Linares

Instituciones participantes:

Servicio Geológico Colombiano (SGC)

Dirección de Geología y Minas, Costa Rica

Instituto de Investigación Geológico y Energético de Ecuador (IIGE)

Dirección General de Energía, Hidrobarburos y Minas (DGEHM) de El Salvador.

Instituto Hondureño de Geología y Minas (INHGEOMIN).

Servicio Geológico Mexicano (SGM).

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico de Perú (Ingemmet).

Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos (ASGMI).



ASGMI
Asociación de Servicios
de Geología y Minería
Iberoamericanos

**SERVICIO
GEOLÓGICO
COLOMBIANO**

DGM
COSTA RICA
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA Y MINAS

SGM
SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO

INHGEOMIN



**DIRECCIÓN DE
GEOLÓGIA Y MINAS**

GOBIERNO
DE COSTA RICA



**EL NUEVO
ECUADOR**

Ministerio
de Educación

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO



MANUAL DE LA MAPE

Manual de la Minería artesanal y pequeña escala



Presentación

En atención al acuerdo asumido en Quito el año 2017 por parte de los delegados de los Servicios Geológicos e instituciones equivalentes, miembros de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos, (ASGMI), en el marco del compromiso de cada una de las instituciones que tienen como fin promover generación de información geocientífica así como coadyuvar con los programas de gestión ambiental, es que se ha conformado un grupo de profesionales técnicos con amplia experiencia en Gestión Minera Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE). El grupo de expertos para la gestión de la minería artesanal y de pequeña escala GEMAPE.

Tiene como objetivo emprender acciones orientadas a brindar apoyo técnico y capacitación a quienes practican la minería artesanal, familiar y pequeña minería, con el fin de promover su aprovechamiento adecuado de los recursos minerales metálicos y no metálicos, así como propiciar su mejora en la gestión de este tipo de minería.

Es por esta razón que como parte de la primera acción del grupo de profesionales técnicos con amplia experiencia se ha acordado el desarrollo de un Manual Compendio para la minería artesanal y de pequeña escala que alcance a la mayor cantidad de los países miembros del ASGMI, principalmente a los países que desarrollan actividad relacionadas a la MAPE, coadyuvando sus procesos mediante la optimización de los mismos y generando propuestas que permitan reducir sus pérdidas y alcanzar el desarrollo ambientalmente sostenible.

Estamos seguros que este documento será el inicio de diversas actividades que deberán impactar en el desarrollo y fortalecimiento económico, social y geoambiental de la actividad minera de cada uno de los países miembros.



Rocas Andesitas (volcánicas) de la Fm. Castrovirreyna. Veta epitermal de baja sulfuración, Au-Ag.

Introducción

La característica fundamental de lo que se ha denominado pequeña minería, radica en la imposibilidad de definirla de acuerdo con parámetros de medición universales. Una característica que sí permite diferenciarla es su distribución geográfica, legislación nacional y ejecución de política minera, con todo existen otras características que pueden diferenciarla más específicamente. También se ha caracterizado en algunos países sobre la base de aspectos tales como el volumen de producción, el capital invertido, el número de trabajadores, el tamaño de un derecho minero, la extensión del título o pertenencia minera. Algunos países llegan a la sofisticación de dividir la pequeña minería por volumen de producción de acuerdo con el tonelaje producido bajo tierra o a cielo abierto, hay quienes optan por el camino de describir si la operación es artesanal o con grados de mecanización y automatización.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) conceptúa a la MAPE con algunos de los rasgos más evidentes de esta actividad como es la utilización intensiva de mano de obra, lo que conlleva implícito una mecanización muy modesta o elemental, así como una baja producción. A estos elementos se suma un alto impacto ambiental, elevados grados de informalidad jurídica y desorganización empresarial, baja calidad del empleo generado y baja rentabilidad fiscal para los Estados. Las explotaciones de pequeña extensión superficial, pero de elevado rango tecnológico, presentes en países industrializados que han comenzado a operar en Latinoamérica, se escapan por completo al encasillamiento de pequeña minería, especialmente a través de las masivas inversiones en proyectos específicos, que por lo general buscan desarrollar yacimientos con concentraciones de oro, plata, cobre, entre otros metales de interés económico. Este hecho es muy importante de tener en cuenta, por cuanto estos casos, es evidente el concepto de manejo gerencial de empresa que se aplica para el éxito de los proyectos, el cual se contrapone con la endémica desorganización de las pequeñas minas tradicionales. No se conoce hasta la fecha una clara clasificación a nivel nacional e internacional ni una legislación que permita describir las denominadas pequeñas minas de acuerdo con parámetros de desarrollo empresarial, tales como nivel de cobertura de los sistemas de seguridad social para los trabajadores, números de contratos de trabajo firmados, porcentaje de cumplimiento tributario del operador minero y otros.

La extracción de minerales industriales y de construcción que se efectúa a cielo abierto y destinada principalmente a mercados locales, a menudo recibe escasa promoción y por consiguiente ha sido poco estudiada y comprendida. Esta paradoja se refleja en las regulaciones y normativas que la rigen, siendo la base de acciones legales en su contra.

El desconocimiento o incumplimiento de estas normas desencadenan fuertes reacciones en las comunidades urbanas. Este sector de la producción requiere una atención especial, especialmente en procesos de ordenamiento territorial, planificación urbana y proyectos sociales dirigidos a la composición de la red social urbana.

En países iberoamericanos, existen productores mineros que carecen de la capacidad para acceder al mercado internacional, lo que los obliga a recurrir a intermediarios con contactos en mercados externos. Se han realizado numerosos esfuerzos por identificar las características distintivas de este segmento de la producción minera, destacando principalmente el empleo y el recurso humano dedicado a esta actividad, aspectos fundamentales en la actividad minera a pequeña escala.

Fuente: CEPAL, La llamada pequeña minería: un renovado enfoque empresarial (Chaparro, 2000)

Contenido

Presentación

Introducción

Capítulo I

| | 15 |
|---|-----------|
| ● Geología | 15 |
| ● Corteza | 15 |
| ● Manto | 15 |
| ● Núcleo | 15 |
| ● La geografía estudia la superficie de la Tierra | 17 |
| ● Geología reconstruye la historia de la Tierra | 17 |
| ● Planeta Tierra | 18 |
| ● Estructura de la Tierra | 18 |
| ● Geología histórica | 19 |
| ● La Geología mide el tiempo | 20 |
| ● Formación de los desiertos | 21 |
| ● Nacimiento de grandes cordilleras | 21 |
| ● Formación de las rocas | 22 |
| ● Deriva continental y tectónica de placas | 24 |
| ● Rocas Ígneas | 26 |
| ● Rocas Metamórficas | 28 |
| ● Rocas Sedimentarias | 29 |
| ● Estratigrafía de las rocas | 32 |
| ● Geología estructural | 33 |

Capítulo II

| | |
|--|-----------|
| ● Yacimientos minerales | 35 |
| ● Yacimiento y ocurrencias | 38 |
| ● Alteraciones hipógenas (hidrotermales) | 39 |
| ● Alteraciones supérgenas | 40 |
| ● Tipos de yacimientos | 40 |
| ● Sistemas Hidrotermales | 40 |
| ● Depósitos tipo pórfito | 41 |
| ● Depósitos epitermales | 42 |
| ● Depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos-polimetálicos | 43 |
| ● Depósitos orogénicos de oro | 44 |
| ● Depósitos de óxidos de hierro-cobre-oro (IOCG) | 45 |
| ● Depósitos de oro relacionados con intrusivos | 45 |
| ● Depósitos de placer (paleoplaceres y placeres auríferos recientes) | 46 |
| ● Yacimientos estratoligados | 47 |
| ● Depósito tipo Skarn de oro | 48 |

Capítulo III

| | |
|--|-----------|
| ● Minería | 50 |
| ● Perforación | 50 |
| ● Voladura | 53 |
| ● Explosivos | 56 |
| ● Ventilación | 64 |
| ● Limpieza | 69 |
| ● Desquinche | 70 |
| ● Sostenimiento | 71 |
| ● Acero y transporte de mineral y roca estéril | 76 |

Capítulo IV

| | |
|---|-----------|
| ○ Beneficio de Minerales | 80 |
| ○ Comminución o reducción de tamaño | 80 |
| ○ Trituración o chancado o reducción de tamaño | 82 |
| ○ Molienda o pulverizado | 83 |
| ○ Molino chileno o trapiche | 84 |
| ○ Concentración por Gravimetría | 85 |
| ○ Hidrometalurgia o metalurgia extractiva del oro | 89 |
| ○ Cementación con Zinc | 93 |
| ○ Adsorción en carbón activado | 94 |
| ○ Electrocuperación | 95 |
| ○ Pirometalurgia | 96 |

Capítulo V

| | |
|--|------------|
| ○ Seguridad y salud ocupacional | 100 |
| ○ Factores de riesgo | 102 |
| ○ Riesgo mecánico | 102 |
| ○ Riesgo físico | 103 |
| ○ Riesgo eléctrico | 103 |
| ○ Riesgo químico | 107 |
| ○ Riesgo biológico | 108 |
| ○ Riesgo ergonómico | 109 |
| ○ Riesgo psicosocial | 111 |

Capítulo VI

| | |
|---|------------|
| ○ Gestión de residuos | 117 |
| ○ Residuos de cartón, papel y botellas de plástico (PET) | 117 |
| ○ Residuos de chatarra, llantas tuberías de polietileno y jebes | 117 |
| ○ Aceites usados y Baterías | 118 |
| ○ Escombrera | 118 |
| ○ Generación de drenes de ácido | 119 |
| ○ Referencias Bibliográficas | 125 |



Plegamiento tipo Chevron en rocas sedimentarias, (Perú)



CAPÍTULO I
GEOLOGÍA





CAPÍTULO I

GEOLOGÍA



La geología es la ciencia que estudia el origen, composición y estructura del planeta Tierra, así como evolución y los procesos que la han modificado, desde su origen (hace cerca de 4600 millones de años) hasta el tiempo actual.

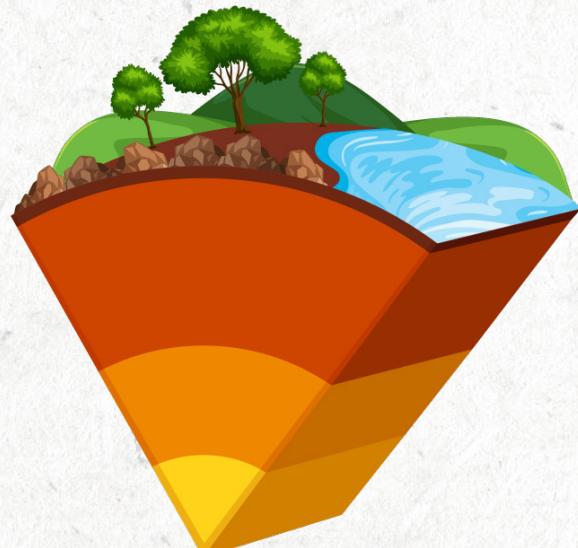
La Tierra está compuesta por rocas cuya composición es variada, dependiendo de la profundidad y de los procesos tanto internos como superficiales que en ella intervienen. El interior de la Tierra se ha diferenciado en tres capas concéntricas principales, según características establecidas especialmente por métodos geofísicos. Ellas son:

○ Corteza

Capa más externa de la Tierra, y en ella se encuentran concentrados los yacimientos minerales. Tiene una profundidad que oscila entre los 20 y 70 km bajo los continentes (corteza continental), y de 10 km bajo los océanos (corteza oceánica). La corteza oceánica es más densa que la corteza continental, y está compuesta principalmente por rocas básicas y ultrabásicas. La corteza continental en general está formada esencialmente por rocas y minerales silicatados y elementos litófilos con frecuencia formando parte de óxidos minerales), con afinidad por el oxígeno.

○ Manto

Capa intermedia. Está comprendida entre los 70 y 2900 km de profundidad.

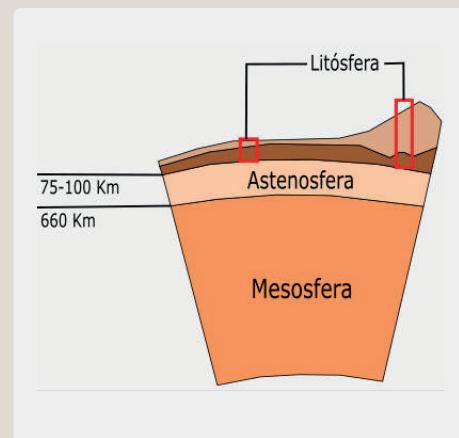


○ Núcleo

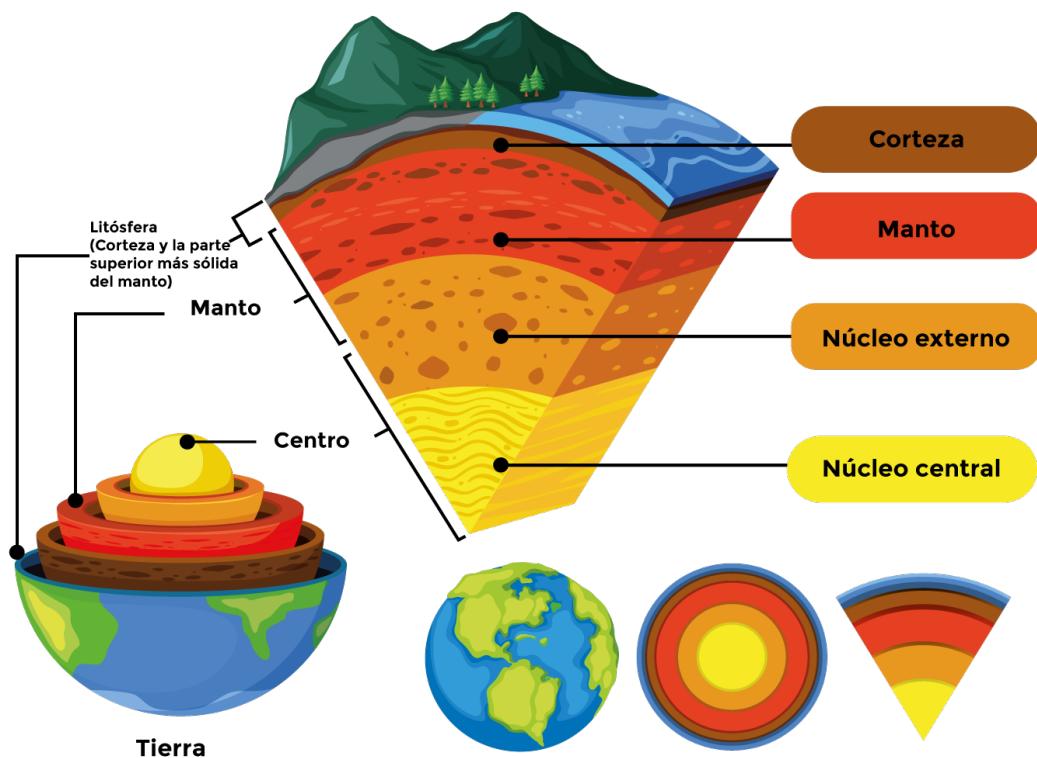
Parte interna de la Tierra. Tiene una profundidad de 2900 a 6000 km. Se cree que en la parte interna el núcleo está formado por minerales metálicos siderófilos, como el níquel y el hierro.

La dinámica de la Tierra se manifiesta con corrientes de convección formadas desde el interior del manto terrestre hacia la corteza, donde tiene lugar la ruptura de la corteza en fragmentos o retazos soportados en el manto superior a través de una zona denominada astenosfera.

La corteza se compone de placas o fragmentos móviles individuales, más o menos rígidos, que se desplazan e interactúan entre ellos, y que se conocen como placas tectónicas. En la dinámica terrestre se crea y se destruye corteza continuamente.



Fuente:
SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO GUÍA METODOLÓGICA PUERTO LIBERTADOR (CÓRDOBA).



LA GEOGRAFÍA ESTUDIA LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

Es la ciencia que describe, explica y localiza los fenómenos que se producen en la superficie de la Tierra.

Describe: Señala el relieve, vegetación, clima, riquezas minerales y su interrelación con los habitantes.

Explica: Hechos geográficos e indica su causa.

Localiza: Hechos geográficos físicos, astronómicos, biológicos y económicos.

GEOLOGÍA RECONSTRUYE LA HISTORIA DE LA TIERRA

Es la ciencia que estudia la composición, estructura y evolución de la tierra a lo largo de los tiempos geológicos.

La Tierra tiene un pasado y, en consecuencia, una historia en la que han sucedido una serie de acontecimientos en el transcurso de tiempos geológicos. Su estado actual es consecuencia final de todos estos acontecimientos, encadenados en el tiempo.



PLANETA TIERRA

Es el tercer planeta desde el Sol, el quinto más grande de todos los planetas en el Sistema Solar.

Se desplaza de una órbita elíptica alrededor del Sol a una distancia de 150 millones de kilómetros.

Su volumen es más de un millón de veces menor que el Sol.

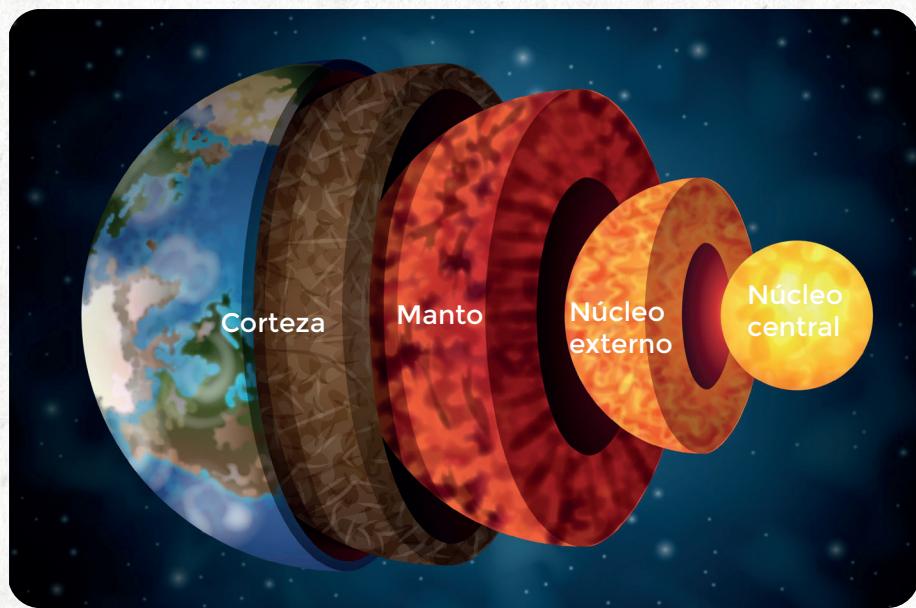
Posee un único satélite llamado Luna.



ESTRUCTURA DE LA TIERRA

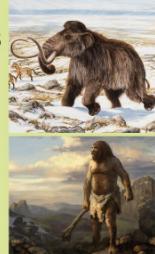
En el centro de la Tierra hay un núcleo de unos 7 mil km de diámetro formado por hierro y níquel con temperatura de unos 3 mil grados centígrados. Entre el núcleo y la corteza exterior está el manto, una capa de material viscoso de unos 2900 km de espesor con una temperatura de entre 600 y 2500 grados centígrados según las zonas compuestas de silicio, magnesio y níquel.

La corteza terrestre es la capa delgada sólida de superficie de la Tierra y esta está compuesta principalmente por oxígeno, silicio, aluminio, calcio, sodio, magnesio y potasio.



GEOLOGÍA HISTÓRICA

Estudia el desarrollo en el tiempo de los materiales y formas del planeta, nos da a conocer la evolución del planeta, basando sus estudios en la Estratigrafía, Paleontología y la Geocronología.

| ERA | PERÍODO | PRINCIPALES ACONTECIMIENTOS | HACE |
|-------------|--|---|---|
| PRECÁMBRICA | Hadeano Arqueano Proterozoico | Formación de la Tierra  | 4,600 millones de años |
| PALEOZOICA | Cámbrico Ordovícico Silúrico Devónico Carbonífero Pérmico | Aparición de los primeros peces y anfibios  | 570 millones de años |
| MESOZOICA | Triásico Jurásico Cretácico | Los dinosaurios dominan el planeta  | 245 millones de años |
| CENOZOICA | Terciario Cuaternario | Apogeo de los grandes mamíferos Primeros seres humanos  | 65 millones de años 2.6 millones de años |

La Estratigrafía,

Estudia las rocas sedimentarias. (Acumulación de sólidos).



La Paleontología,

Es la ciencia que estudia e interpreta el pasado de la vida sobre la Tierra a través de los fósiles.



La Geocronología,

Conjunto de métodos que permiten datar formaciones geológicas, formas topográficas, vestigios de plantas y animales, tejidos antiguos y, en consecuencia, reconstituir evoluciones paleontológicas.



LA GEOLOGÍA MIDE EL TIEMPO



<https://www.areaciencias.com/geologia/el-origen-de-la-tierra/>

Mediante el estudio la antiguedad de los minerales, realizados por las dataciones, se puede determinar que la Tierra se formó hace 4 550 millones de años, habría sido inicialmente un globo incandescente que, tras un proceso de acumulación de meteoritos, aumentó de tamaño y, con el paso del tiempo, acabó enfriándose y solidificándose.

Durante este proceso, se generaron los campos magnéticos y la gravedad, provocando que los materiales pesados se fueran depositando en el interior del globo, mientras que los más ligeros permanecieron en la superficie. Así se formó la corteza terrestre.

LA FORMACIÓN DE LOS DESIERTOS

Es la superficie terrestre total o casi totalmente deshabitada (terreno árido), en la cual las precipitaciones (lluvias), casi nunca superan los 250 milímetros al año.



NACIMIENTO DE GRANDES CORDILLERAS

Las montañas se forman a través de un proceso llamado “formación y deformación” de la corteza de la Tierra.

Cuando dos secciones de la litósfera chocan, hace que las placas de la litósfera sean forzadas una sobre otra, hacia regiones más profundas de la Tierra; las placas se apilan unas contra otras, causando que una o ambas placas por las fuerzas de desplazamiento se doblen o compriman como un acordeón. Este proceso hace que la corteza se eleve, doble y deforme grandemente dando origen a las cordilleras.



FORMACIÓN DE LAS ROCAS

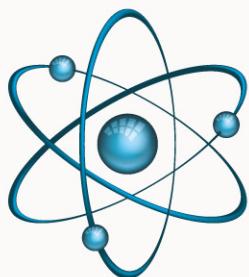
Los elementos son las sustancias físico-químicas básicas más sencillas que componen cualquier tipo de materia; se han descubierto en estado natural 92 elementos diferentes, entre los que se encuentran, por mencionar solo algunos: el oro, la plata, cobre, zinc, plomo, hierro, aluminio, oxígeno, azufre, silicio, hidrógeno, uranio y otros 80 elementos más. Cada elemento está formado por átomos de un mismo tipo, con propiedades que lo identifican y diferencian de otros elementos. Los átomos son las partículas más pequeñas que constituyen un determinado elemento.

Algunos grupos de elementos pueden combinarse químicamente entre sí y formar minerales y otros compuestos. Si al momento de combinarse, los átomos se agrupan en patrones geométricos ordenados, pueden formar cristales de varios tipos y formas, que llegan a formar minerales metálicos, no metálicos, materiales áridos y pétreos y gemas preciosas. Aunque la mayoría de las veces, los cristales son muy pequeños y no pueden reconocerse a simple vista; presentan varios bordes irregulares. Los minerales, son sustancias naturales sólidas de una composición química y una estructura cristalina definidas.

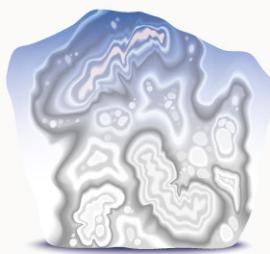
Un mismo elemento puede formar uno o más minerales, según el arreglo o disposición geométrica que adopten los átomos del elemento; como por ejemplo, el elemento carbono, que puede formar minerales de aspecto muy distinto, como el grafito o el diamante.

Formación de rocas

Elementos y
moléculas
en solución



Formación
de minerales



Rocas



Del total de elementos conocidos, los más abundantes en el planeta Tierra son: oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, sodio, magnesio, potasio y titanio. Estos 9 elementos constituyen cerca del 99.6 % de toda la Tierra. El 0.4% restante, incluye a los otros 83 elementos, incluidos los metales como el oro, la plata, el cobre, plomo, zinc, etc.

Los 9 elementos abundantes en la Tierra

| ELEMENTO | ABUNDANCIA(%) |
|----------|---------------|
| Oxígeno | 46.1 |
| Silicio | 28.2 |
| Aluminio | 8.23 |
| Hierro | 5.63 |
| Calcio | 4.15 |
| Sodio | 2.36 |
| Magnesio | 2.33 |
| Potasio | 2.09 |
| Titanio | 0.57 |
| Otros | 0.20 |

Los elementos llegan a combinarse en gran cantidad de sustancias, muchas de ellas minerales. Se conocen más de 5 300 especies minerales, aunque la mayoría de las rocas que forman la Tierra, están formadas por un número mucho más reducido de tipos minerales, conocidos como minerales formadores de roca.

Los minerales formadores son los del grupo de los Feldespatos, seguidos de los llamados anfíboles, piroxenos y también el cuarzo.



Roca tipo ríolita; los puntos oscuros son cristales irregulares y transparentes de cuarzo, inmersos en una matriz de partículas minerales y vidrio de grano muy fino.

Se cree que en sus orígenes la Tierra estuvo totalmente fundida, lo que favoreció que los elementos más pesados y densos, como la mayoría de los metales se concentraran mayormente hacia el interior. Por esta razón y por su menor abundancia, no resulta tan común encontrar zonas con concentraciones importantes de metales de valor económico.

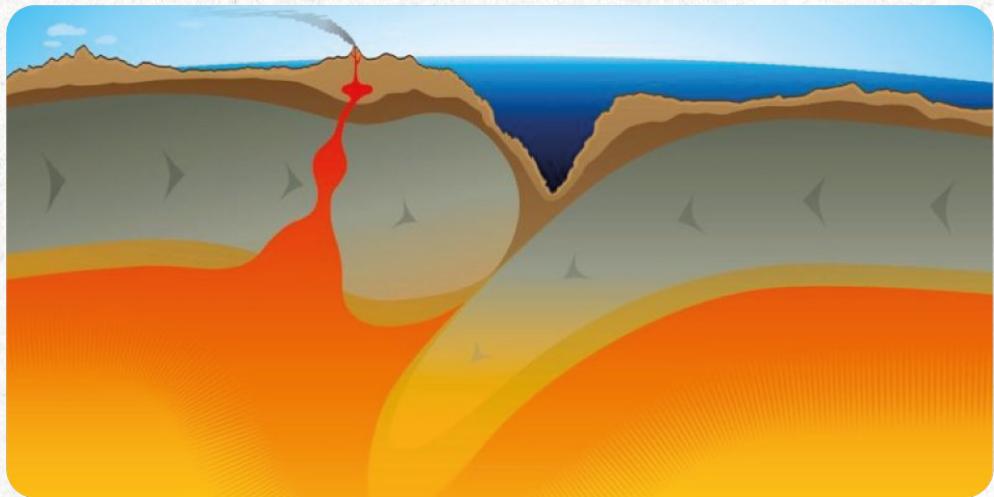
Aún hoy en día, la Tierra conserva y genera una gran cantidad de calor en su interior; evidenciado en el material fundido del interior que sale a la superficie a través de los volcanes o grandes fisuras.

El material fundido del interior de la tierra se denomina magma, cuando se encuentra a profundidad y se denomina lava cuando sale a la superficie, también contiene a la totalidad del resto de los elementos, pero la mayoría de ellos se encuentra en cantidades pequeñas, algunas apenas detectables.

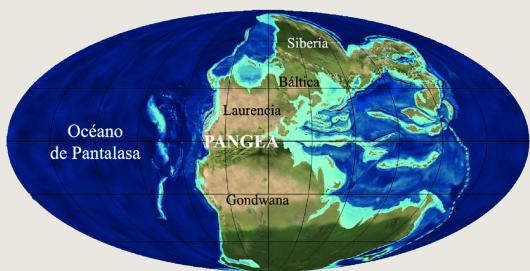
Deriva Continental y tectónica de placas

La tectónica de placas explica el movimiento de los continentes por el fenómeno de convección en el manto del planeta Tierra.

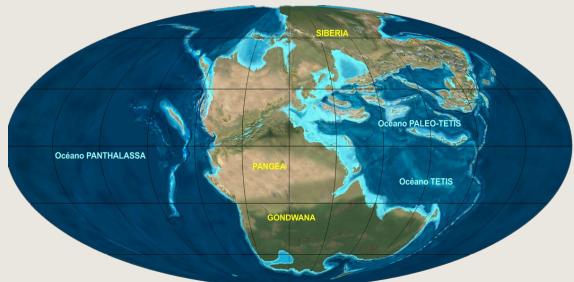
De esta manera, tanto la deriva continental como la expansión del fondo oceánico son fruto de un proceso largo, de miles de millones de años, que moviliza y confronta las placas de la corteza terrestre (placas tectónicas), las cuales pueden en consecuencia presentar deformaciones, formando el relieve de la corteza terrestre.



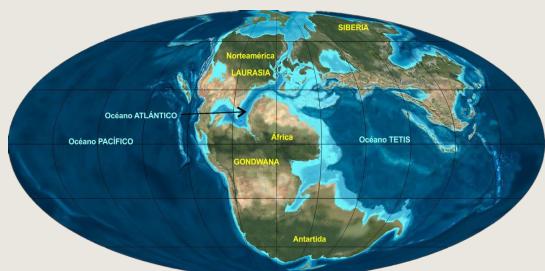
La deriva continental se debe al movimiento de las placas sobre el manto de la Tierra



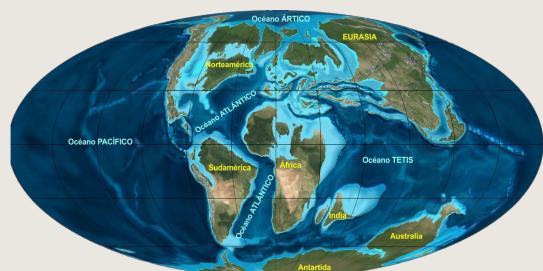
Pérmico 225 M.A.



Triásico 200 M.A.



Jurásico 125 M.A.



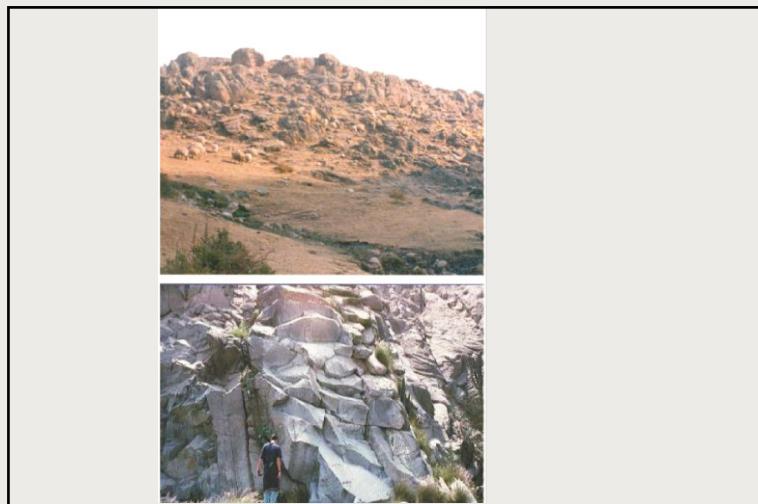
Cretácico 65 M.A.



Actualmente

Rocas Ígneas

Forman la mayor parte de la corteza terrestre. Existen 600 tipos diferentes, pero todas provienen del magma, roca líquida del interior de la Tierra. Este se enfriá y cristaliza al acercarse a la superficie, en masas sólidas de roca dura. Algunas veces el magma sale de los volcanes en forma de lava y forma rocas volcánicas o extrusivas. Las rocas ígneas intrusivas se forman bajo la superficie, donde se enfrián lentamente, produciendo una textura gruesa con minerales visibles.



● Rocas Ígneas Intrusivas

Se enfrián lentamente, produciendo una textura gruesa con minerales visibles.



Los batolitos son enormes masas de roca que se forman por el ascenso de inmensas burbujas de magma caliente, que se enfrián y solidifican bajo la superficie de la Tierra.



Dique en el paisaje señala el sitio donde el magma ascendente dividió la cubierta de roca y salió por la rajadura. Al desgastarse la cubierta de roca más suave el muro o dique queda elevado sobre el paisaje.



Los travesaños o mantos se forman cuando el magma caliente entra en una grieta entre dos capas de roca, dejando una delgada franja de roca ígnea en una amplia área.

● Rocas Ígneas Extrusivas o Volcánicas

Se forman cuando el magma fluye a la superficie de la tierra y hace erupción o fluye sobre la superficie de la Tierra en forma de lava, luego se enfriá y forma las rocas.

Basalto

Es el tipo de roca extrusiva o volcánica más común de rocas ígneas extrusivas y el más común sobre la superficie de la tierra.



Riolita

Se le considera el equivalente volcánico del granito, lo que se agrega a otras evidencias que demuestran que el granito se origina a partir de magma tal como lo hace la riolita.



Obsidiana

Llamada a veces vidrio volcánico, es una roca ígnea volcánica perteneciente al grupo de los silicatos. Su composición es parecida al granito y la riolita.



Rocas Metamórficas

Producto de la acción de elevadas presiones y temperaturas que recristalizan las rocas pre-existentes por acción de los procesos de metamorfismo.

El metamorfismo también se presenta en zonas de esfuerzo, tales como fallas y plegamiento de rocas o en áreas de límites entre las placas tectónicas como la colisión de la corteza oceánica con la corteza continental.

La principal característica de los cambios metamórficos es que ellos ocurren mientras la roca es sólida. Aunque en algunos casos, como en las migmatitas, la roca llega a fundirse parcialmente y recristalizar, formando nuevos minerales.

Las características de textura son muy importantes en la clasificación de las rocas metamórficas.

Las rocas metamórficas se dividen en dos grupos de textura, foliadas o en capas y desfoliadas sin capas.

Esquisto

Compuesto por minerales planares o laminados, como la mica, la clorita, talco y otros.



Cuarcita

Roca dura cementada por sílice, procedente de areniscas silíceas de alta pureza, no muestran un patrón específico. A este se le llama textura granular.



Roca Metamórficas



Rocas Sedimentarias

Están formadas por la acumulación y compactación de sedimentos de diferentes tamaños y composiciones que puede incluir fragmentos de rocas preexistentes, restos de organismos y minerales disueltos en agua. Las rocas sedimentarias se dividen en tres categorías: detriticas (de partículas de roca), químicas (partículas solubles) y bioquímicas u orgánicas (por acción y restos de seres vivos: coquinas, arrecifes, carbón, etc).

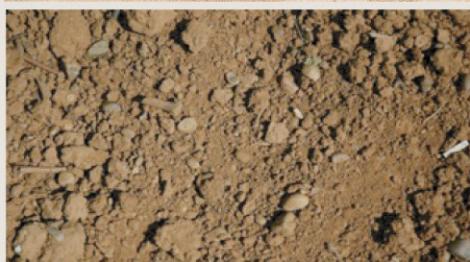
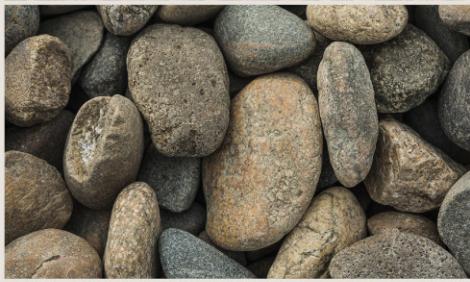
Capas de Sedimento

Cuando la roca se expone a los elementos de viento y lluvia en ciclos repetidos de congelación y deshielo; se erosiona lentamente y los desechos son arrastrados por agua, viento y hielo y se depositan en capas, las mismas que con el tiempo se presionan, consolidan y se endurecen formando roca; son sepultadas por más sedimentos y luego endurecen como roca.

Ciclo de Rocas Sedimentarias (Detriticas)

Se forma con millones de partículas de roca, estas partículas son transportadas por el viento, agua y hielo; los procesos de compactación, que ocurren cuando el peso de los sedimentos superiores comprime los sedimentos más antiguos en el fondo. Esto hace que los espacios entre los granos se reduzcan y los sedimentos se vuelvan más densos o compactos o lleguen a consolidarse por la acción de sustancias cementantes. Después de millones de años, las capas forman roca sedimentaria.

Partículas de Rocas Detríticas



● **Cantos rodados**

Granos redondeados, ovalados o esféricos y lisos, formados por la erosión de ríos u océanos, sus bordes son suaves.

● **Guijas**

Se encuentran a menudo en entornos de gran energía, como ríos de fuerte corriente y deslizamientos. Van de 6 a 25 cm.

● **Guijarros**

Fragmentos variados de roca redondeados y lisos, resultado del constante desgaste y pulido debido al movimiento del agua y movimiento o roce entre ellos.

● **Arena**

Formada por pequeñas partículas de rocas y minerales desgastados por la erosión, generalmente están compuestas en su mayor parte por sílice.

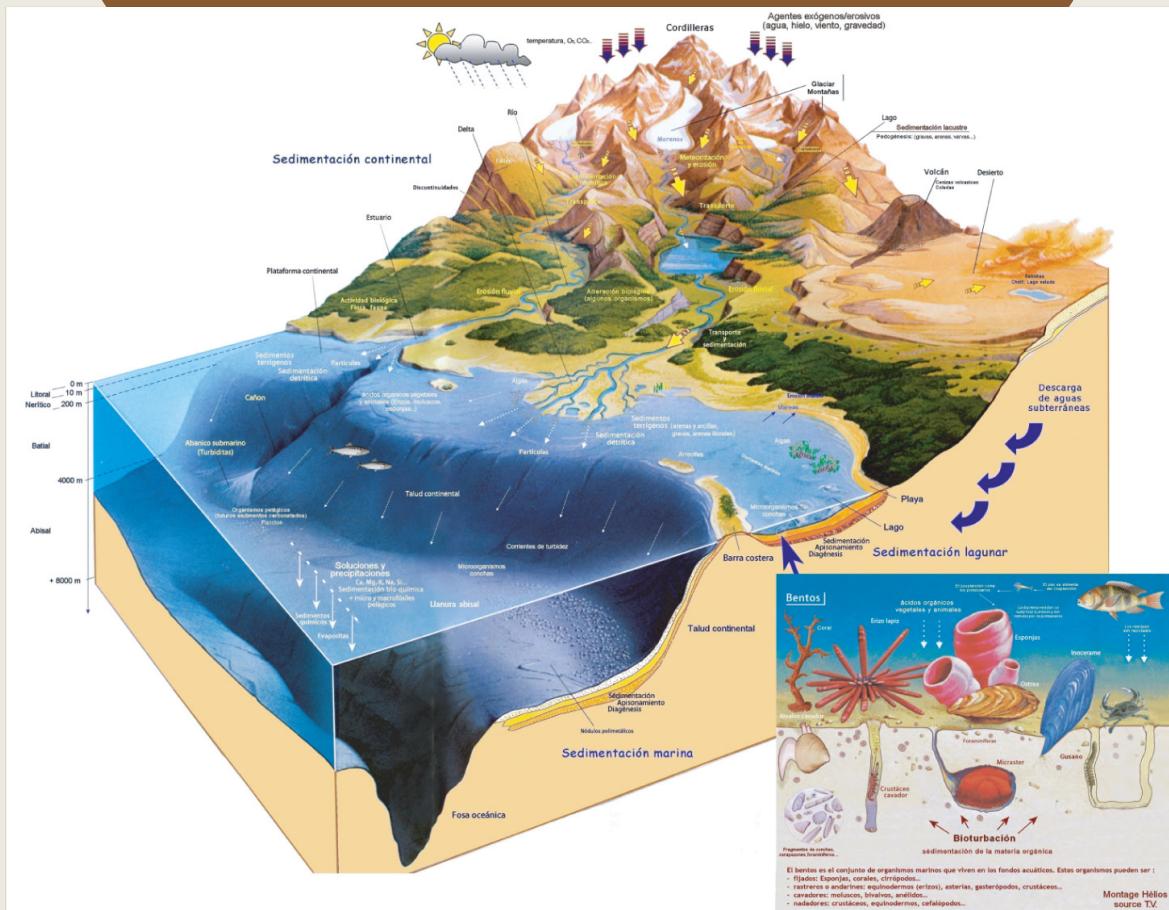
● **Limo**

Acumulación de partículas finas, como arena y arcilla de granulometría fina, de baja permeabilidad.

● **Arcilla**

Partículas más pequeñas, resultado de la descomposición de rocas y minerales como feldespato y micas, son de alta plasticidad, su acumulación se asocia con los lagos, pantanos o lagunas.

PROCESO DE METEORIZACIÓN, EROSIÓN, TRANSPORTE Y SEDIMENTACIÓN



Este proceso es la desintegración y descomposición de las rocas en la superficie erreste o cerca a ella y las partículas son transportadas por viento, agua y hielo antes de ser depositadas como sedimento en los lechos de mar, lagos y ríos.

Estratificación de las rocas

Es la propiedad que tienen las rocas sedimentarias de disponerse en capas o estratos, uno sobre otros en una secuencia vertical. Un estrato es un cuerpo tabular de roca sedimentaria, de composición esencialmente homogénea, limitado por sus superficies planas denominados planos de estratificación, que representan cambios en las condiciones de sedimentación. Se denominan techo y base del estrato al plano de estratificación superior e inferior respectivamente.



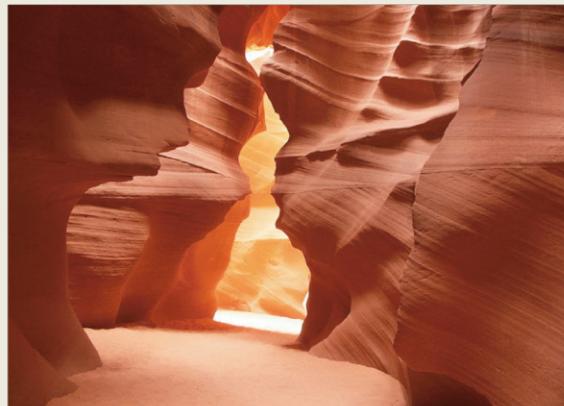
ESTRATIFICACIÓN CON DISCORDANCIA

Es la separación entre dos series estratigráficas, debido a la existencia de una laguna estratigráfica.



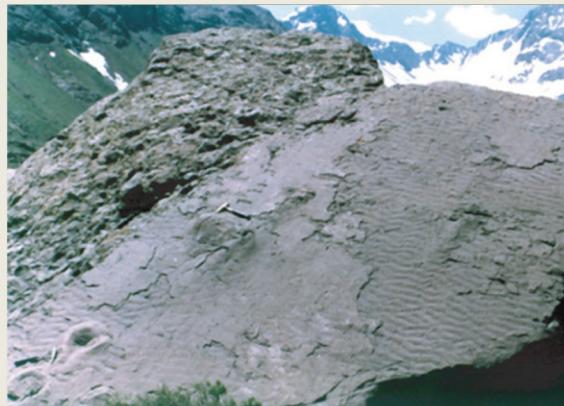
ESTRATIFICACIÓN CON DISCORDANCIA

Son capas que se depositan horizontalmente y que guardan relación con la dirección del flujo de la corriente, se encuentran en terrenos arenosos y calizas.



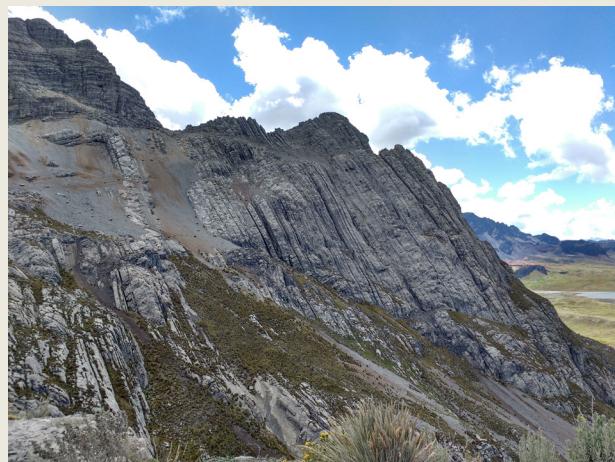
ESTRATIFICACIÓN CRUZADA

En areniscas, en el cañón del Antílope, Arizona, Estados Unidos.



ESTRATIFICACIÓN GRADADA

Son partículas situadas en el interior de una sola capa sedimentaria que cambian gradualmente de gruesas a finas del interior a la superficie.



Geología estructural

Es la rama de la geología que estudia la geometría, distribución y formación de las estructuras geológicas (Fossen, 2010).

● Estructuras geológicas

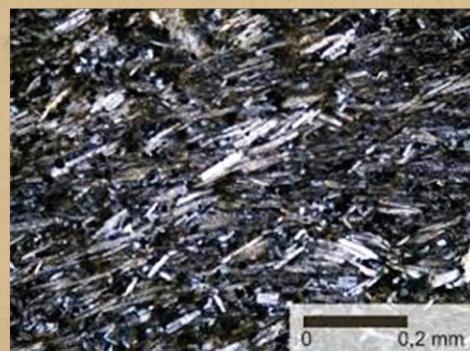
Están referidas a la configuración geométrica de las rocas en el momento de su formación y cuando las rocas han sufrido algún tipo de deformación, así mismo se ha definido dos tipos de estructuras geológicas, las primarias y secundarias (Fossen, 2010).

● Estructuras geológicas primarias

Las que se forman durante la formación de la roca. Estructuras geológicas secundarias. Estructuras geológicas secundarias



ESTRATIFICACIÓN



FOLIACIÓN DIAGENÉTICA



BANDEAMIENTO DE FLUJO



ESTRUCTURA EUTAXÍTICA

Las que se crean durante un proceso de deformación que sufre la roca después de haberse formado como fallas, fracturamiento, pliegues, etc.





CAPÍTULO II

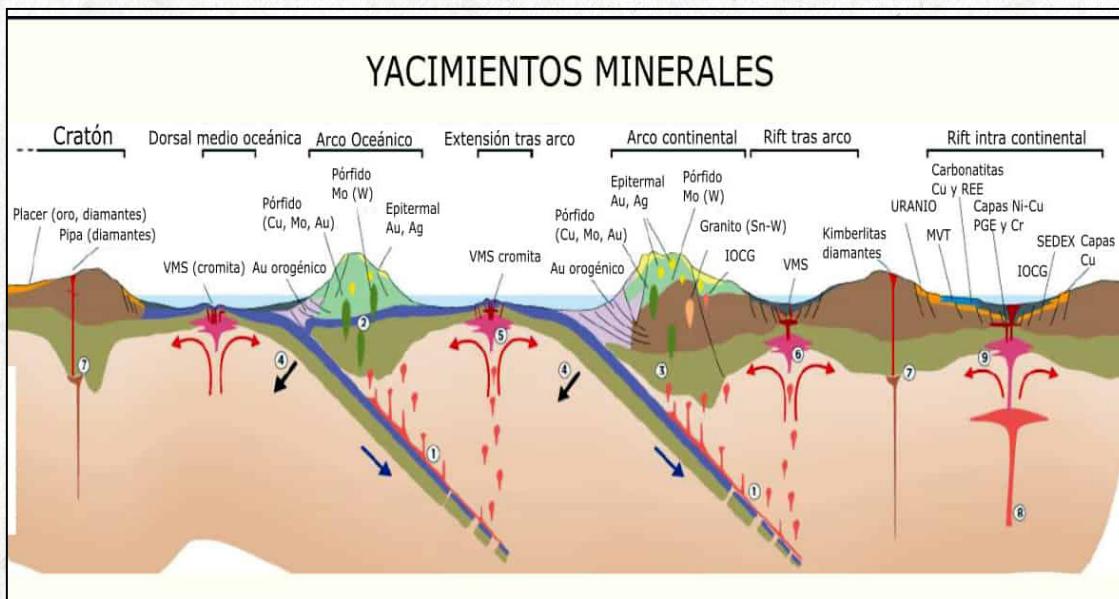
YACIMIENTOS MINERALES

CAPÍTULO II

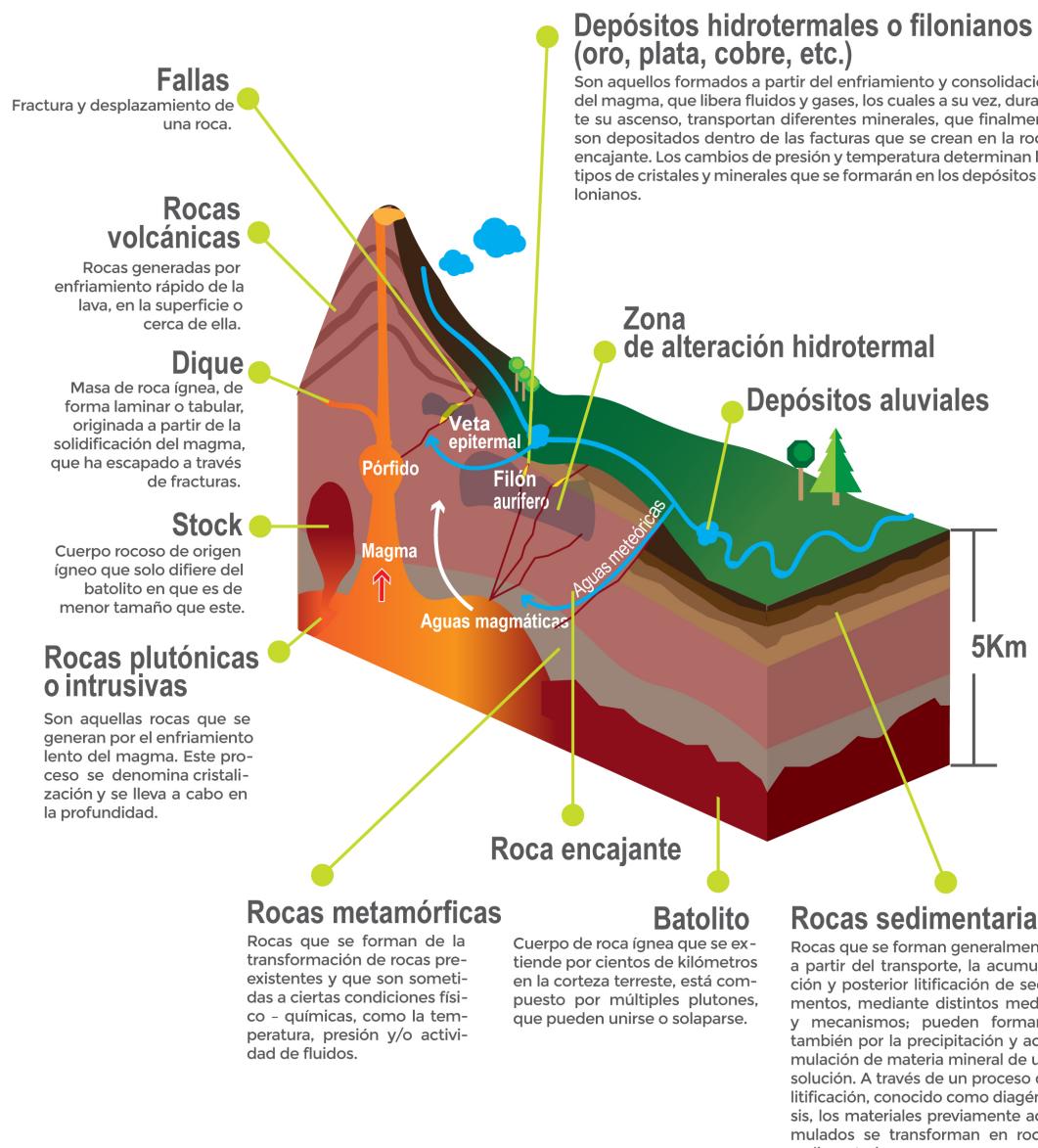
YACIMIENTOS MINERALES

Los yacimientos son producto de una serie de procesos geológicos que propician la concentración anómala de ciertos minerales de utilidad y valor, que por su presentación, volumen y calidad, permiten ser explotados en forma económica.

El origen de los depósitos minerales metálicos está estrechamente relacionado con ambientes asociados a la interacción de placas tectónicas. En los límites convergentes de las placas tectónicas, donde estas se mueven hacia un punto común, a veces una placa se hunde (subduce) debajo de otra; estas zonas, que se conocen como zonas de subducción, son responsables de la formación de grandes cadenas montañosas, como los Andes; además, son responsables de la generación de eventos sísmicos y del emplazamiento y acumulación de yacimientos minerales (sulfuros masivos, pórfitos y yacimientos epitermales de metales preciosos, entre otros).

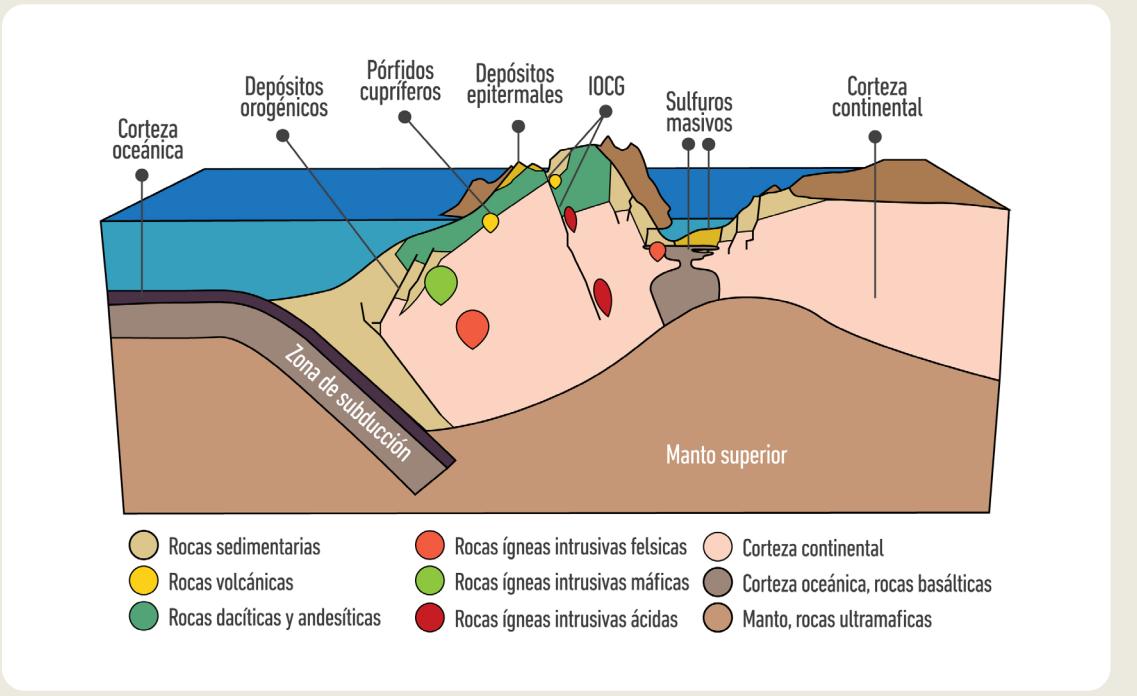


Perfil generalizado de la corteza terrestre indicando los principales elementos que intervienen en la formación de depósitos hidrotermales filonianos



Fuente:

Guía Metodológica Marmato, Riosucio, Quinchía y Caramanta - Servicio Geológico Colombiano



Fuente:

Modificado a partir de Lydon (2007, en Godfellow y Lydon, 2007)

Tomado de Guía Metodológica Frontino (Antioquia)-Servicio Geológico Colombiano

Yacimientos y ocurrencias

Yacimiento mineral es una concentración muy superior al promedio de algún elemento o mineral de interés económico y cuya explotación genera rentabilidad.

Ocurrencia es una concentración anómala de algún elemento o mineral de interés económico y cuya explotación no genera rentabilidad.

Para que se forme un yacimiento tiene que contar con algunas condiciones:

- Que existan la fuente de los elementos valiosos.
- Que existan soluciones acuosas que sirvan de medio de transporte o difusión de los elementos valiosos.
- Que existan las condiciones favorables en la química del medio geológico, que provocan el alojamiento de la mineralización (trampa geológica); estas pueden involucrar la mezcla de fluidos, cambio de pH, Eh, efecto del ión común, etc.

- Que existan la trampa física que provoque la formación de minerales con contenido de los elementos valiosos (esta puede ser producida por cambio de presión o temperatura, presencia de fallas, fracturas, grandes cavidades, porosidad, etc).
- Que se produzca la coincidencia óptima de todas las condiciones anteriores.

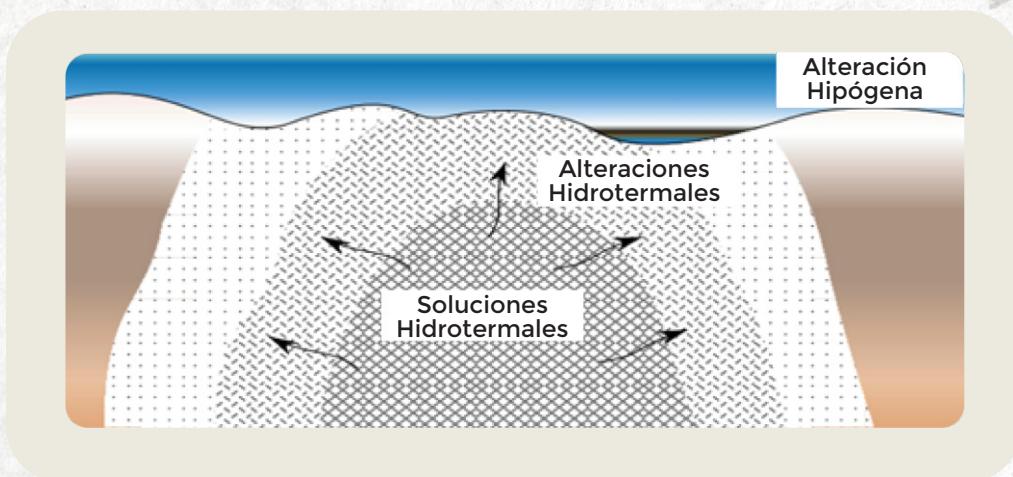
Proceso natural de miles a millones de años



Alteraciones hipogénicas (hidrotermales)

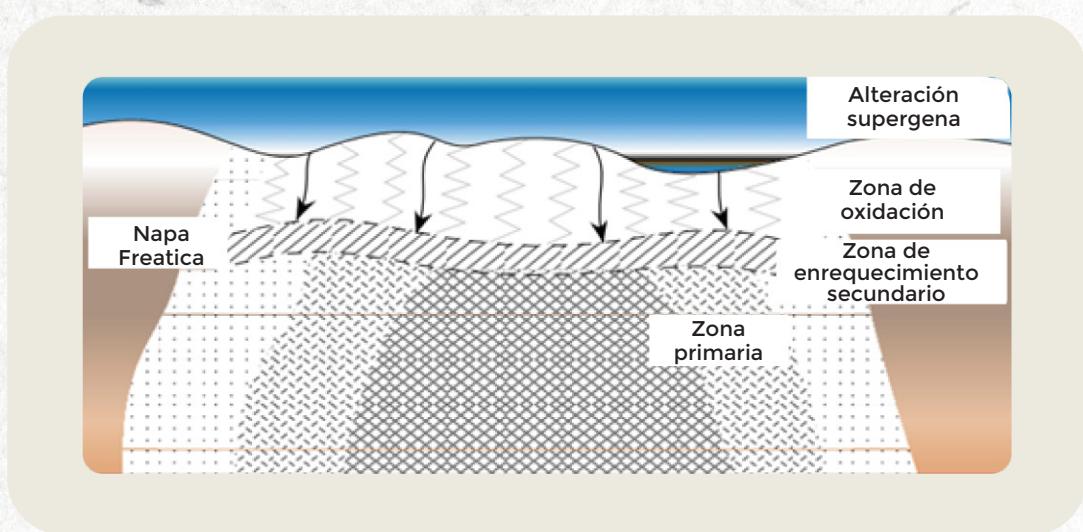
Alteraciones hipógenas son cambios mineralógicos y texturales producidos en las rocas por soluciones ascendentes, acuosas calientes ricas en sílice, volátiles y otros componentes entre los que se pueden contar metales.

Al discurrir estas soluciones por los espacios abiertos de las rocas, reaccionan con ellas destruyendo algunos minerales y formando otros.



Alteraciones supérgenas

Alteraciones supérgenas o supergénicas, son cambios mineralógicos producidos por acción del intemperismo en la superficie y en la zona de percolación. Son de naturaleza distinta a la alteración hidrotermal hipógena y se superponen a ella. Este tipo de alteración da origen a las zonas de oxidación y de enriquecimiento secundario.



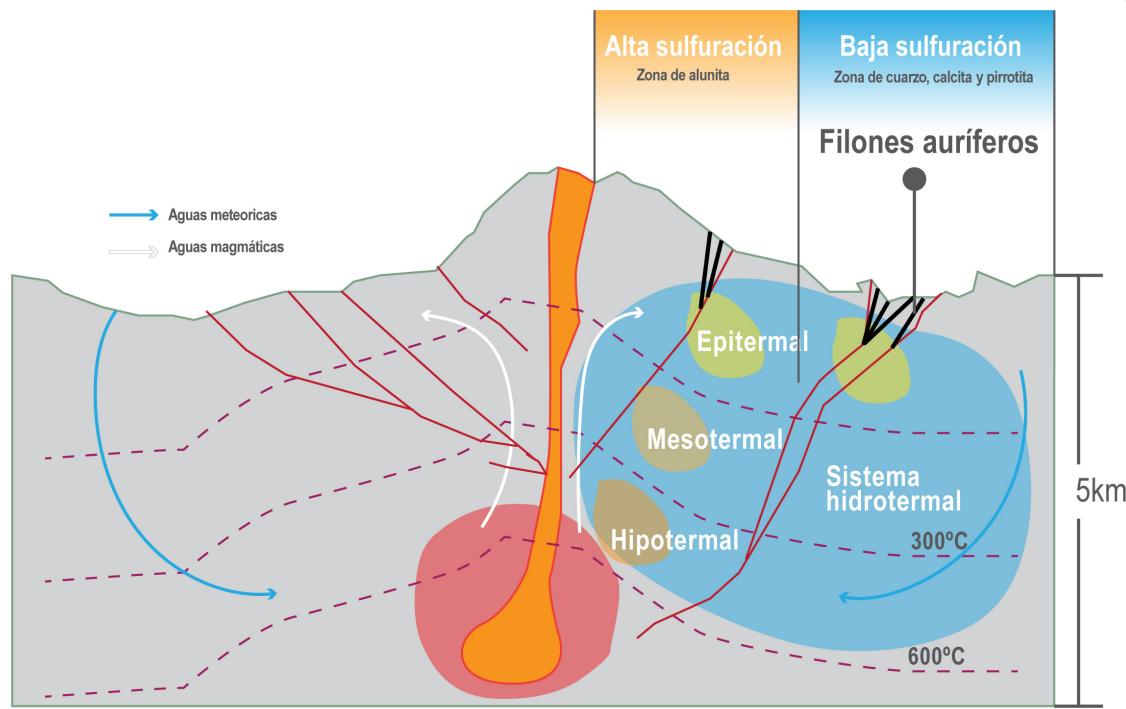
Tipos de Yacimientos

● Sistemas Hidrotermales

Dan lugar a variados depósitos auríferos, que han sido clasificados según la profundidad, las condiciones de presión y temperatura como hipotermales (los más profundos), mesotermiales (los intermedios) y epitermales (los más someros) (Lindgren, 1933).

A partir de la afinidad geoquímica, los depósitos epitermales se han diferenciado con base en los fluidos que intervienen en la mineralización. Se reconocen dos tipos principales: aquellos en los que el azufre se encuentra relativamente más oxidado (SO₂), conocidos como de alta sulfuración, y aquellos en los que el azufre se encuentra más reducido (HS, H₂S) conocidos como de baja sulfuración (Hedenquist, 1987). Cada uno de ellos se encuentra en una posición relativa con respecto a la fuente termal, y tiene composición mineral y características estructurales propias.

Perfil general de los depósitos auríferos de tipo hidrotermal (aproximación al ambiente de depósito aurífero)



Fuente:

Guía Metodológica Marmato, Riosucio, Quinchía y Caramanta – Servicio Geológico Colombiano

● Depósitos tipo Pórfido

Estos depósitos se originan por el emplazamiento de cuerpos intrusivos subvolcánicos. Son acimientos de baja ley (0,5 a 2 gramos por tonelada) y alto tonelaje, en los que ocurren eventos mineralizantes asociados a alteración hidrotermal (alteración potásica, alteración filica y alteración argílica). Con respecto a la mineralogía, en este tipo de depósitos se encuentra oro libre con partículas de algunos micrones, o como inclusiones en calcopirita, en bornita o en granos de pirita, que se presentan en estructuras de stockwork (estovercas o enrejados), en venillas o en diseminaciones.



● Depósitos Epitermales

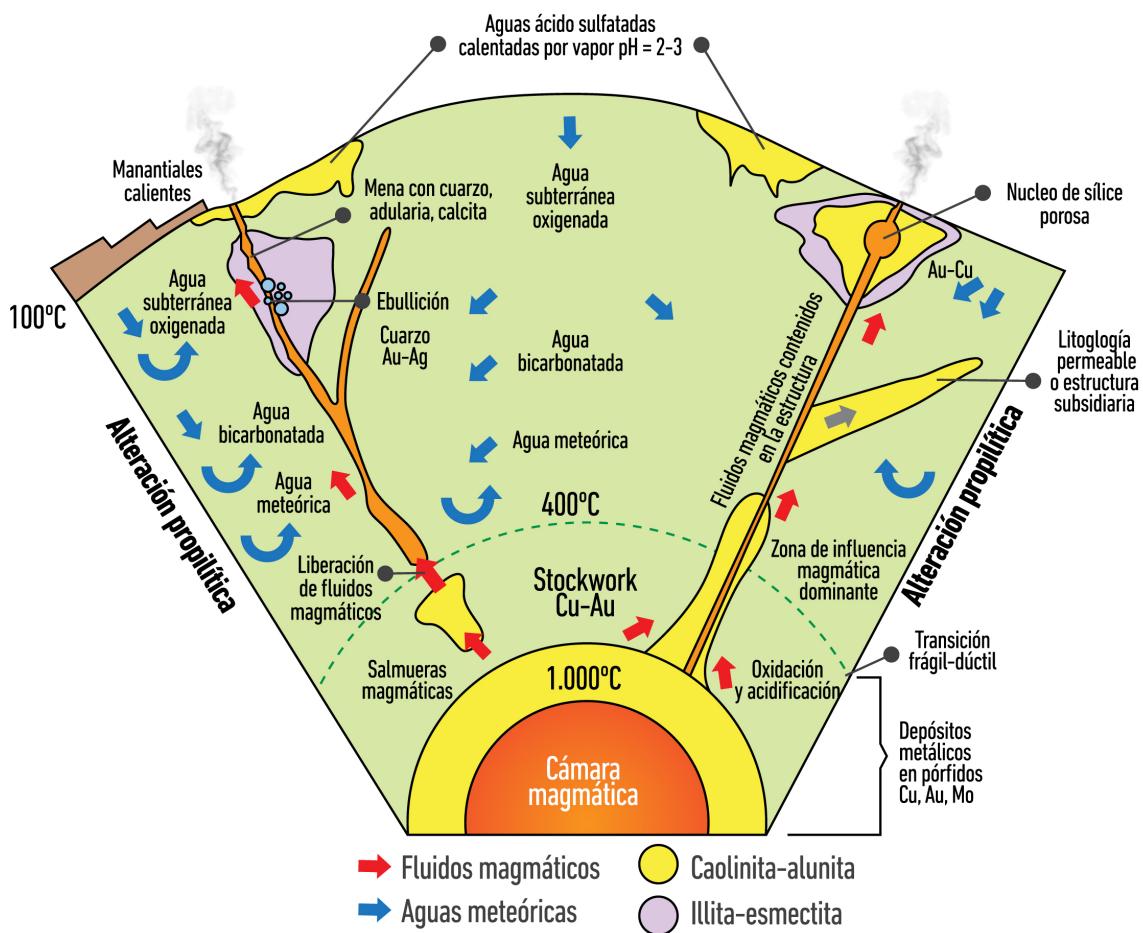
En este tipo de depósitos la mineralización de metales preciosos y de sulfuros asociados se produce a partir de fluidos hidrotermales calientes cargados de metales que se precipitan en las fracturas y fallas de las rocas encajonantes (vetiformes) o en forma de diseminaciones formadas dentro de la roca caja, cuando se presentan las condiciones adecuadas de porosidad y permeabilidad.

Los depósitos epitermales se forman a profundidades de entre 1 y 2 km, a temperatura de 50 a 200 °C y genéticamente se encuentran relacionados con ambientes de vulcanismo activo. La mineralización de yacimientos epitermales de metales preciosos puede formarse a partir de dos tipos de fluidos químicamente distintos: los denominados depósitos epitermales de baja sulfuración, que tienen un pH cercano a neutro, y los fluidos de alta sulfuración, que son más oxidados y ácidos. Los términos alta y baja sulfuración fueron introducidos por Hedenquist (1987), y se refieren al estado de oxidación del azufre; en los de baja sulfuración se presenta como S-2 en forma de H₂S (reducido), mientras que en los de alta sulfuración el azufre se presenta como S+4, en forma de SO₂ (oxidado).



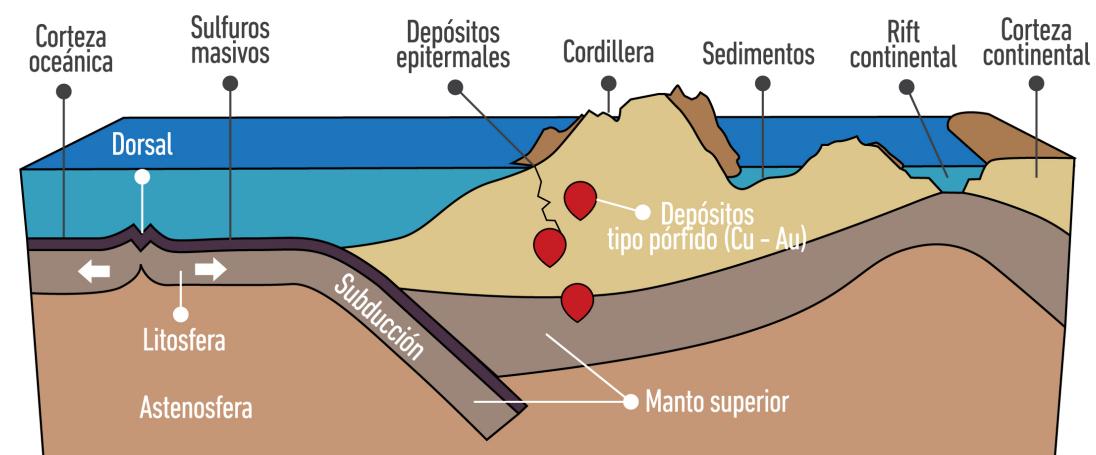
Epitermales de baja sulfuración

Epitermales de alta sulfuración



Depósitos de sulfuros masivos volcánicos-polimetálicos

Este tipo de depósitos puede estar relacionado con el vulcanismo submarino que ocurre en las dorsales meso-oceánicas. En ellos, por procesos hidrotermales, las sucesiones estratiformes o lenticulares vulcano-sedimentarias que se acumulan se pueden enriquecer en metales como cobre, plomo y zinc, además del oro como subproducto.



Fuente:

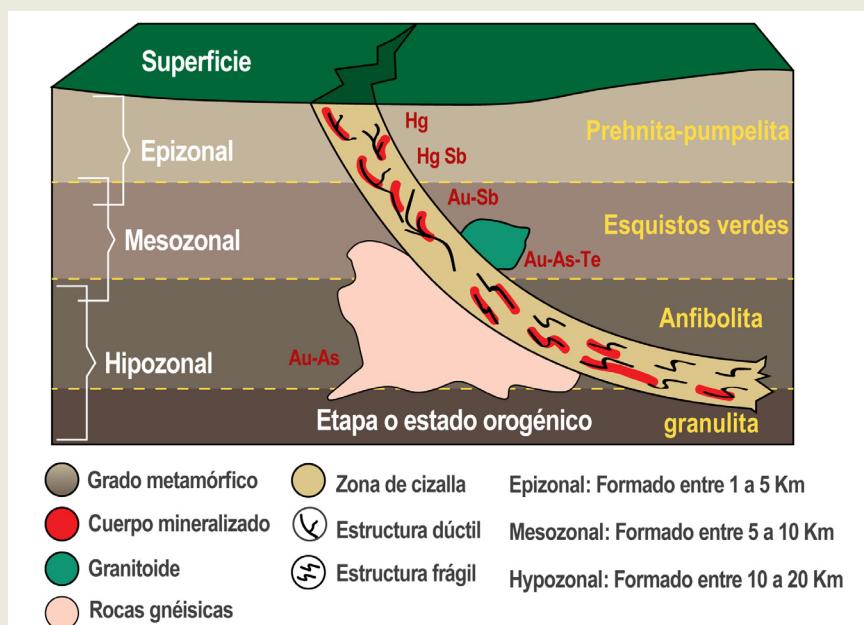
Modificado a partir de Melgarejo J. et al. (1990)

Tomado de Guía Metodológica Frontino (Antioquía)-Servicio Geológico Colombiano

● Depósitos orogénicos de oro

Modelo general de depósitos auríferos de tipo orogénico.

Fuente: modificado a partir de Goldfarb, Groves y Gardoll (2001).



Fuente:

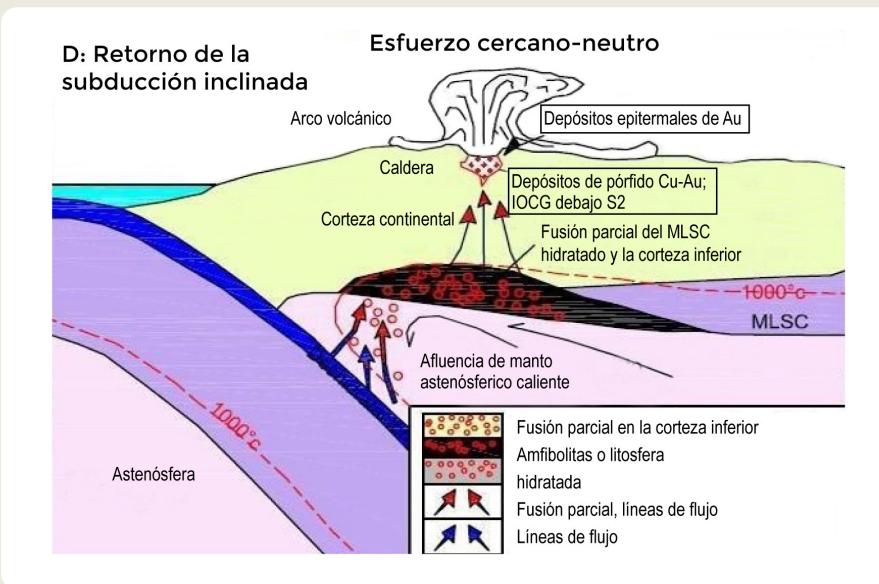
Modificado a partir de Goldfarb, Groves y Gardoll (2001)

Tomado de Tomado de Guía Metodológica Frontino (Antioquía)-Servicio Geológico Colombiano

● Depósitos de óxidos de hierro-cobre-oro (IOCG)

Son depósitos auríferos formados en zonas de fractura o falla de gran profundidad, que se producen por circulación de fluidos acuosos hipersalinos ($> 30\% \text{ NaCl Eq}$) de alta temperatura de precipitación (500°C). Están relacionados con la abundancia de magnetita-hematita y presencia de sulfuros de Fe y Cu y contenidos de carbonato, Ba, P o F. Se encuentran distribuidos a lo largo de la franja metalífera de los Andes chilenos; entre ellos sobresale el depósito de Candelaria.

Escenario de arco tectónico y magmático.



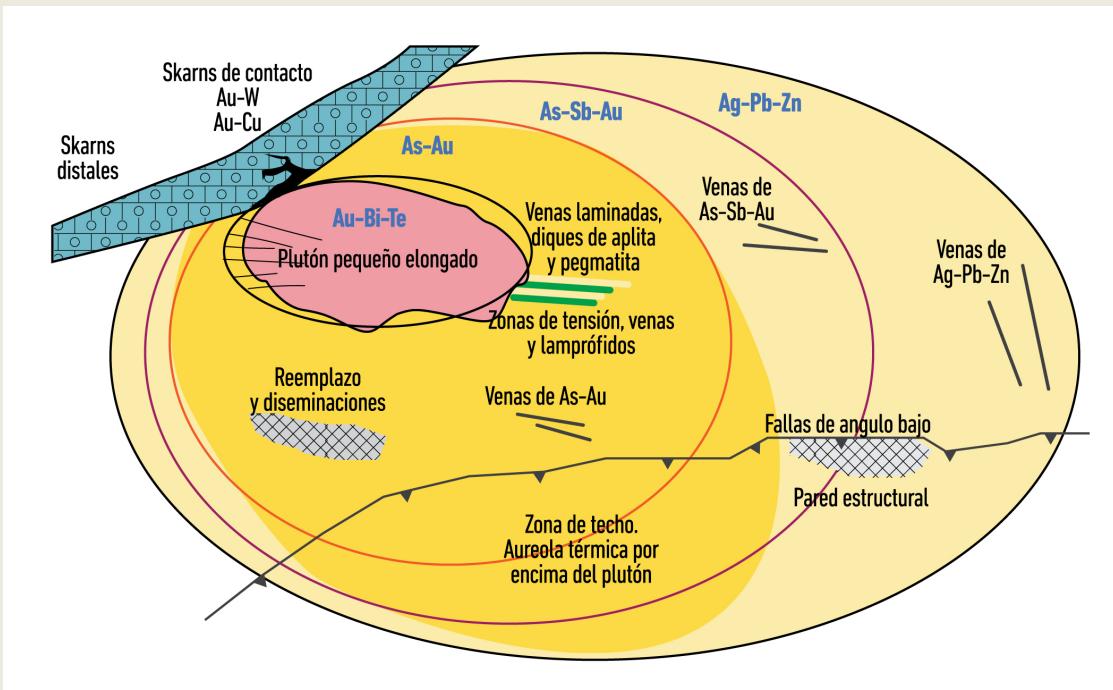
Fuente:

Modificado de Richards & Mumin (2013). En Espinoza (2019)

Tomado del Compendio minería y yacimientos minerales del Perú (Boletín B-86)

● Depósitos de oro relacionados con intrusivos

Son depósitos auríferos que tienen un amplio rango de estilos de mineralización característicos espaciales, definidos a partir de un plutón o cuerpo magmático central. Depósitos de este tipo se han reconocido en Fort Knox (Alaska) y en la provincia de Tintina (Canadá).



Fuente:

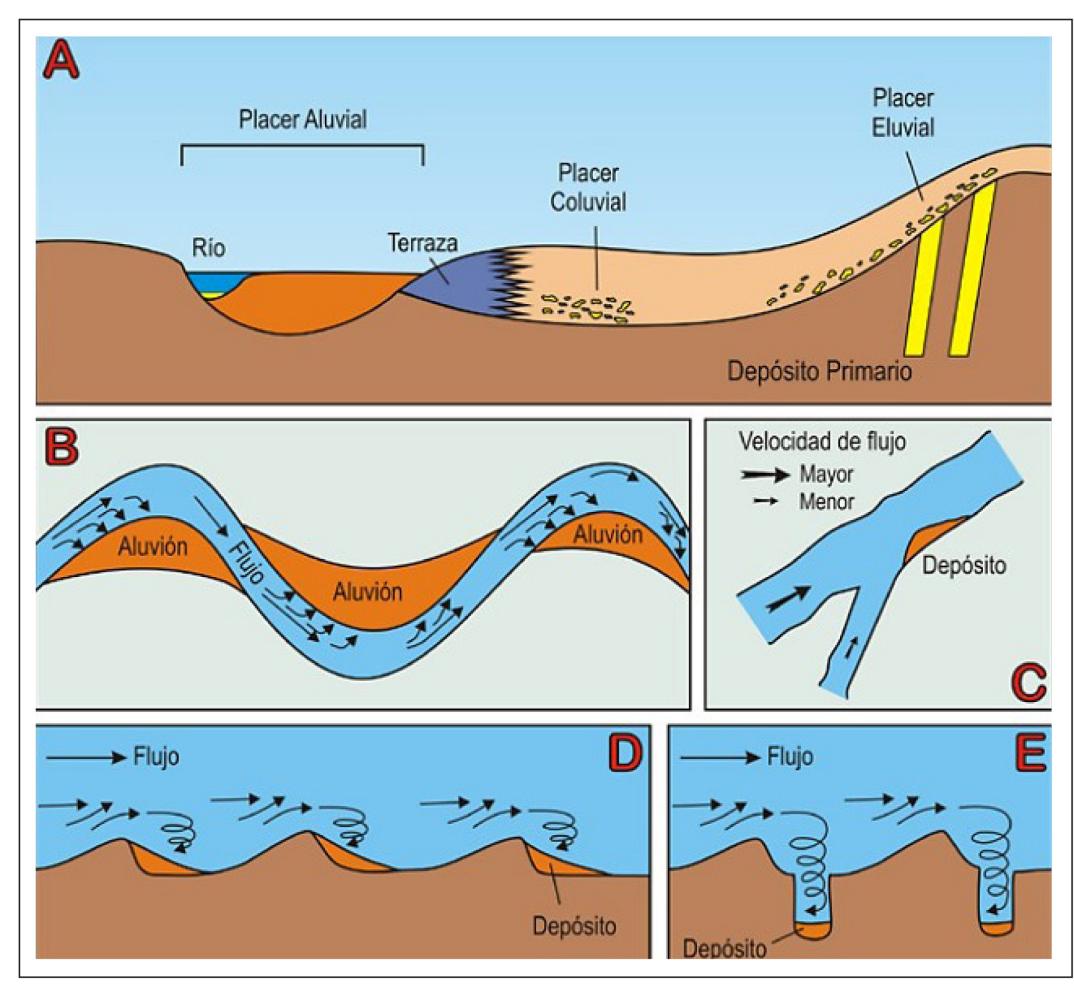
Tomado de Hart et al. (2002)

Tomado de Guía metodológica para la eliminación del mercurio Puerto Libertador Córdoba

● Depósitos de placer (paleoplaceres y placeres auríferos recientes)

Se definen como depósitos minerales formados en superficie y que se acumulan por concentración mecánica, bien sea por corrientes aluviales, por corrientes marinas, en zonas lacustres o por procesos coluviales de partículas minerales pesadas (densas), que son inertes ante procesos oxidantes minerales y que proceden de fragmentos líticos meteorizados.

Los paleoplaceres son depósitos de placer auríferos antiguos que fueron depositados en ambientes sedimentarios fluviales a deltaicos bajo condiciones reductoras (atmósfera pobre en oxígeno).



A) Sección esquemática de un valle fluvial y las relaciones entre los depósitos de tipo eluvial, coluvial y aluvial.

Formación de depósitos aluviales que actúan concentrando minerales pesados; B) las curvas de los ríos (meandros); C) la confluencia de dos ríos con diferentes velocidades; D) las zonas accidentadas del lecho del río; y e) las marmitas (potholes) que se forman en lechos rocosos.

Fuente:

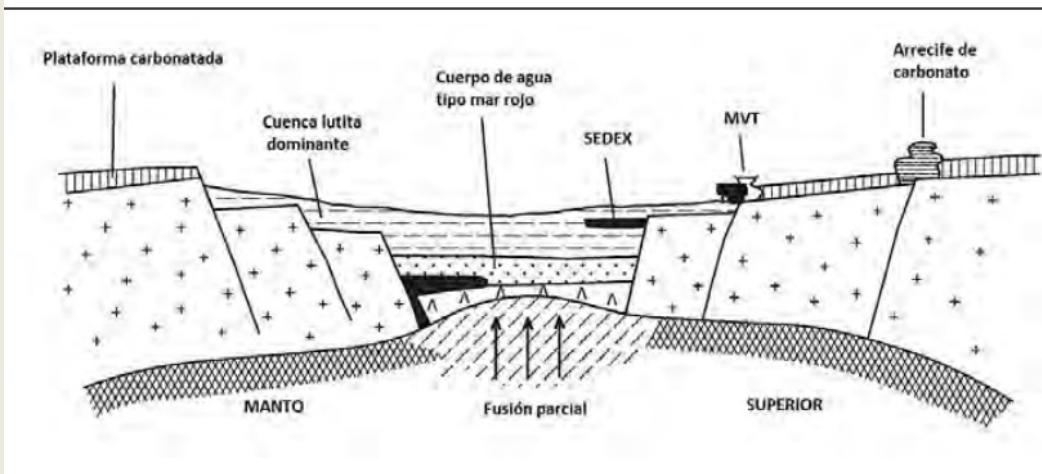
Ingemmet (1979). En Canales (2017).

Tomado del Compendio minería y yacimientos minerales del Perú (Boletín B-86)

● Yacimientos Estratoligados (Mantos)

La génesis de los sistemas minerales sedimentarios-hidrotermales involucra una variedad de procesos que incluyen diagénesis (transformación de los sedimentos en rocas), flujo de salmueras a través de cuencas y ventilación de fluidos hidrotermales en fondos marinos o lacustres. Son ejemplos de este tipo de yacimientos, los depósitos conocidos como tipo Mississippi Valley (MVT), sulfuros masivos polimetálicos-sedimentarios exhalativos (SEDEX) y las mineralizaciones de cobre tipo capas rojas (RED BED), los cuales pueden agruparse ampliamente en la familia más amplia de sistemas minerales sedimentarios-hidrotermales (Pirajno, 2009).

Ambiente tectónico para la génesis de depósitos estratoligados.
Fuente: Modificado de Pirajno (2009)



Fuente:

Tomado del Compendio minería y yacimientos minerales del Perú (Boletín B-86)

● Depósitos tipo Skarn de oro

Se presenta emplazamiento de cuerpos magmáticos intrusivos, también llamados plutones en rocas sedimentarias carbonatadas, donde se produce metamorfismo de contacto, metasomatismos (intercambio de componentes químicos entre la roca huésped y los fluidos mineralizantes) y acumulación de depósitos de metales (sulfuros de cobre, plomo y zinc; magnetita, molibdenita y oro como subproducto).





CAPÍTULO III
MINERÍA

CAPÍTULO III

MINERÍA



Es la actividad que se realiza en el proceso por explotar un yacimiento con viabilidad técnica, económica, social y ambiental, mediante operaciones principales: perforación, voladura, carguío (carga) y transporte; operaciones auxiliares: ventilación, sostenimiento, desagüe, conexiones eléctricas, iluminación, entre otras. El recurso mineral es transformado en riqueza, mediante la construcción o franqueo de labores mineras dentro de una arquitectura de mina diseñada de forma técnica que conecta la superficie hasta alcanzar y extraer el recurso mineral.

Perforación

Su propósito es el de contar con taladros para alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores. Se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen la trituración de la roca en un área equivalente al diámetro de la broca y hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo (Guía de Pequeña Minería, 2018).

● Trabajos previos a la perforación

Hay que realizar los siguientes pasos:

- Ventilar el frente de trabajo para eliminar los gases de la voladura anterior por un tiempo de 1 hora aproximadamente.
- Revisar la estabilidad de las paredes y techo de la galería, en caso necesario proceder a la remoción o desate (desquinche, amacice) de rocas colgadas, para evitar caídas durante el trabajo.
- Verificar la existencia de tiros fallados, cortados o si han quemado completamente, para lo cual es necesario lavar con agua el techo, frente y paredes.
- Los tiros fallados deben ser extraídos garantizando su eliminación.
- Evitar perforar muy cerca, al lado de un taladro/barreno o en el mismo taladro/barreno.

- En zonas de inestabilidad se debe realizar labores de sostenimiento antes de continuar con los trabajos.
- Se debe realizar la limpieza y acarreo del material fragmentado producto de la voladura, para tener una zona despejada para trabajar.
Los restos de los explosivos deben ser recogidos y depositados fuera del área de trabajo.

● Una correcta malla de perforación permite

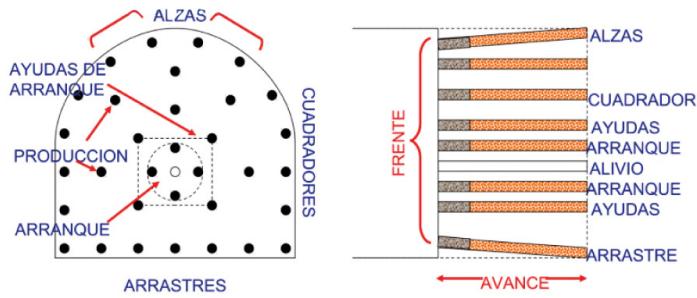
Optimizar la distribución de los taladros/barrenos y establecer el orden de encendido y salida de las cargas explosivas.

Obtener el avance y mantener la forma de la sección en la labor minera.
Reducir los gastos en los explosivos y en la perforación.

Obtener un tamaño de fragmentación condicionada de acuerdo al medio de transporte y a la dimensión del ingreso a la trituración primaria.

Distribución de taladros en un frente

Los taladros se distribuirán alrededor del arranque desde el área central de la voladura, siendo su denominación la siguiente:



Distribución de taladros o barrenos en el frente de trabajo de acuerdo a la malla de perforación propuesta, principalmente con base a las características geomecánicas del macizo rocoso.

● Perforación eléctrica

Las perforadoras eléctricas son equipos de perforación rotativa que emplean brocas helicoidales accionadas por un motor eléctrico de 2,5 kw de potencia. Las brocas empleadas por los mineros tienen una longitud promedio de 40 cm y un diámetro de 7/8", aunque los hay de otras medidas. Los equipos son portátiles y operados por un solo hombre, pesan alrededor de 6 kg; se emplea comúnmente en la industria de la construcción, para horadar concreto y en demoliciones. La perforadora eléctrica es uno de los aportes tecnológicos más importantes a la minería subterránea.



a.



b.

Fotografías

a) y b) Equipos perforadores eléctricos generados con motor eléctrico de 2.5 kW de potencia, utilizados en minería subterránea, generalmente en minas de la costa.



Ventajas

- Mejor maniobrabilidad en la extracción de roca mineralizada de dureza media a baja, en depósitos tipo vetiformes de baja potencia.
- Operan sin suministro de agua.
- Los costos de operación y mantenimiento del equipo son relativamente bajos.

Desventajas

- Cuando se trabaja en macizo rocoso resistente, se produce calentamiento en el motor y mayor desgaste en los taladros por falta de lubricación.
- Poca durabilidad de las brocas.
- Generación de polvo o material particulado en los frentes de trabajo, lo cual incide de forma negativa en la salud de los trabajadores.

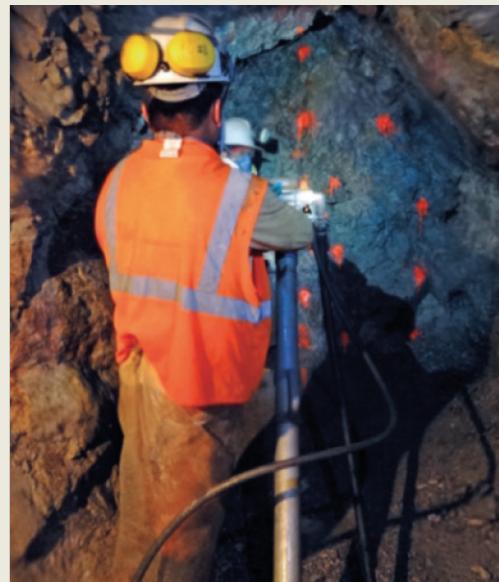
● Perforación Neumática

Se realiza con ayuda de un martillo neumático, que se acciona con aire comprimido; se caracteriza por su diseño compacto y su capacidad para generar cavidades cilíndricas en el macizo rocoso resistente; utiliza una barra o pie de avance para sostener la perforadora y proporcionar comodidad de manipulación al perforista. (Guía de MAPE, Ecuador).

Martillo Neumático modelo YT27



Las perforadoras neumáticas son accionadas con energía neumática desde unidades de generación de aire comprimido.



| Ventajas | Desventajas |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Utilizada en la perforación de rocas resistentes. Genera mayor productividad en la extracción de roca mineralizada. • Se utiliza para la extracción de depósitos minerales de baja ley. | <ul style="list-style-type: none"> • Requiere inversiones iniciales altas, con tiempos prolongados de amortización de capital. • Requiere consumo de energía elevado, genera altas vibraciones y excesivo ruido lo que perjudica a la salud del perforista. |

● Trabajos para la instalación de la perforadora

- Para garantizar una eficiente instalación de la perforadora se debe tener las siguientes consideraciones:
- Poseer las herramientas necesarias para la instalación del equipamiento y líneas de abastecimiento (agua, aire comprimido y electricidad), como son las llaves de tubo, llave saca barrena, guía de madera (atacador de madera), combo, cincel, cuchilla, cuerda, entre otros.
- Revisar el estado de las líneas de abastecimiento en el frente; corrigiendo de ser el caso, las roturas o averías.
- Previo al uso de la perforadora se debe comprobar que sus conductos estén limpios; esto se logra haciendo correr el agua y el aire comprimido para evacuar la suciedad que pueda existir en las cañerías.
- Comprobar que el tambor de lubricación se encuentre lleno de aceite.
- Antes de abrir las válvulas de aire comprimido y agua de las líneas de abastecimiento, se debe comprobar que las válvulas de la perforadora y pie de avance se encuentren cerradas.

● Principales problemas que se dan durante la perforación

- Atascamiento de las barrenas:
- Generalmente ocurren cuando se atraviesa rocas muy fracturadas, arcillosas o rellenos consolidados.
- Cuando existe deficiente cantidad de agua al realizar la perforación.
Cuando se perfora con barrenos que tienen desgastada su broca o no ha sido afilada.

- Cuando la alineación entre la barrena y el equipo de perforación no es el adecuado.
- Para solucionar estos problemas se debe inyectar una mayor cantidad de agua al barreno (orificio generado por la barrena) y soplar con aire comprimido, si esto no soluciona el problema será necesario retirar la perforadora y utilizar la llave saca barrena para destrabarla, haciéndola girar de lado a lado y tirándola hasta que se afloje.

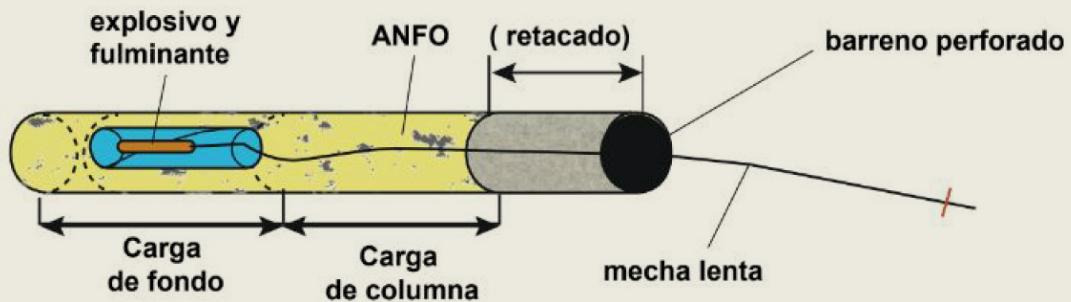
● Fallas en el equipo de perforación

- Disminución en la velocidad de golpes del pistón a la barrena: por una deficiente lubricación en el martillo o porque el aceite contiene impurezas.
- Disminución en la velocidad de operación: por un escape del aire comprimido cuando las aletas u otro mecanismo al interior del martillo se encuentran en malas condiciones.
- Deficiente consumo de aceite cuando el lubricador no se encuentra bien regulado. Producción de excesiva niebla durante la operación de perforación: cuando el tubo de agua o la aguja se encuentran rotas.
- Excesiva distancia entre la barrena y la embocadura del martillo: se da por el desgaste del hexagonal de la culata, existiendo el peligro de romperse la barrena y provocar un accidente.
- Disminución de las presiones de aire: esto se debe por roturas u obstrucciones en las líneas de abastecimiento o puntos de entrada a la perforadora.

Voladura

La voladura en minería tiene el objetivo de fracturar o fragmentar la roca mediante el empleo de explosivos distribuidos en carga de fondo y carga de columna dentro del cilindro del taladro perforado.

El objetivo de la voladura es obtener fragmentos de roca de tamaño condicionado con respecto al transporte y las dimensiones de la trituradora primaria en el proceso de beneficio mineral. El efecto de los explosivos a través de los taladros/barrenos genera desprendimiento de energías violentas a grandes presiones y liberación de gases que trituran, agrietan y rompen la roca.



Estructura de taladro/barreno cargado con explosivo y ANFO.
Fuente: IICE, 2018.

Explosivos

Los explosivos son sustancias o mezclas químicas, que al ser iniciadas por los accesorios de voladura, experimentan una rápida descomposición, liberando una gran cantidad de energía en forma de calor, gas y presión, generando la explosión y rotura de roca.

Dentro del sistema se presentan tres fases de reacción:

- Desprendimiento de gran cantidad de energía en forma de calor y luz, manifestándose como fuego, gas y presión.
- Consumo del material explosivo de forma violenta.
- Producción de varias ondas expansivas de reacción muy rápida y violenta.

La velocidad de detonación es la velocidad a la que se propaga la onda de choque a lo largo de una columna explosiva en una detonación.

● Clasificación de explosivos

Los elementos más usados en la operación de voladura en la minería artesanal de y pequeña escala son: dinamita, el ANFO (del inglés: Ammonium Nitrate - Fuel Oil), emulsiones, fulminante común N°8, conectores y para el encendido mecha lenta o mecha de seguridad y en algunos casos detonadores no eléctricos.

A. ANFO

Es un agente explosivo compuesto por una mezcla de nitrato de amonio y diesel, en una relación de 95% de nitrato y 5% de diesel. Cabe mencionar que el uso de este explosivo requiere tener una adecuada ventilación en los trabajos de explotación puesto que genera gran cantidad de gas.

El ANFO es un agente explosivo de bajo costo, seguro de manipular y usar, de baja velocidad de explosión, genera gran cantidad de gases, de baja resistencia a la humedad, por lo que no se recomienda utilizar el anfo en taladros con presencia de agua, ya que el nitrato de amonio absorbe la humedad dificultando la propagación explosiva.

El ANFO utilizado en la voladura necesita de un agente iniciador que generalmente es una carga explosiva de mayor poder como la dinamita provocando una reacción de gran calor, gas y presión.



Fuente:
<https://exsa.net/es/productos/examon-s>

B. DINAMITA Y EMULSIÓN

La dinamita está compuesta de nitroglicerina y elementos combustibles orgánicos de textura pulverulenta, viene empaquetada en cilíndricos, esta dinamita es sensible a la iniciación del fulminante No. 8. La emulsión es una sustancia explosiva que consiste en una dispersión de un agente oxidante en un agente combustible, estabilizada con emulsionantes.



Fuente:
<https://exsa.net/es/productos/examon-s>

En la mayoría de casos en minería subterránea es utilizada como carga de fondo y carga de columna en los taladros.

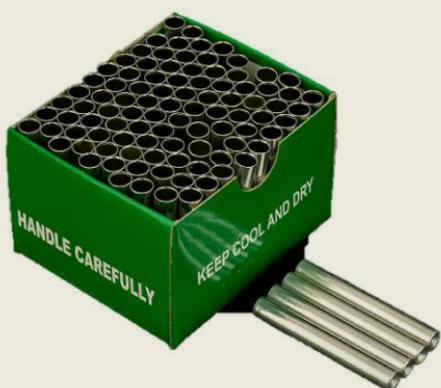
● **Accesorios de los explosivos**

A. FULMINANTE COMÚN N°8

Es un accesorio de voladura; viene en una cápsula cilíndrica de aluminio de un solo color donde se aloja el material explosivo, su presentación viene cerrada en uno de sus extremos.

El fulminante resulta ser sensible al “fuego” proveniente de la mecha y es de alto poder para encender al explosivo, por lo que debe manipularse con cuidado.

Se utiliza conjuntamente con la mecha de seguridad, para iniciar la detonación de los explosivos como las dinamitas, emulsiones, pentonitas, explogeles y cordón detonante

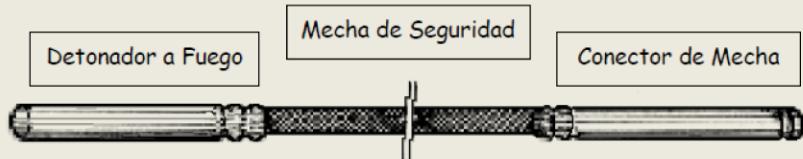


B. MECHA LENTA O MECHA DE SEGURIDAD

La mecha lenta es un cordón compuesto en su núcleo interior de pólvora compuesto en su interior de nitrato de potasio o pólvora negra, que se encuentra recubierta con diversas capas de fibras textiles y plástico lo que la hace resistente e impermeable.

La mecha lenta permite conducir el “fuego” de manera continua y a velocidad uniforme hasta el contacto con el fulminante que iniciará al explosivo. Dependiendo de la longitud de la mecha colocada en el frente, se establece un tiempo de seguridad para que el personal de la voladura se ponga en un lugar seguro.

Por lo general, la velocidad de combustión de la mecha lenta es de aproximadamente de 2 minutos a 2 minutos y medio por metro; dependiendo del fabricante.



● Herramientas utilizadas en el manejo de explosivos

A. PINZA DE MINADOR

La pinza se utiliza para unir los fulminantes con la mecha lenta, mediante presión manual.

El uso de la pinza de minador puede considerarse como ventaja en la preparación rápida del cebo, (explosivo pequeño conectado a la mecha, que iniciará la explosión de la carga del taladro) pero se debe considerar que la manera adecuada de preparación implica unir cada fulminante a la mecha con una igualdad de presión. La pinza se utiliza para unir los fulminantes con la mecha lenta, mediante presión manual.



B. PUNZONES

Los punzones son hechos de bronce y se utilizan para crear un orificio sobre la superficie del explosivo en el que se coloca el fulminante unido, previamente, con la mecha lenta.

El punzón permite crear el espacio y la unión de todo el conjunto (mecha-fulminante-explosivo), es decir la creación del “cebo”.



C. MÁQUINA SELLADORA O ENCAPSULADORA

La máquina selladora es el implemento más seguro que se puede utilizar para generar la presión del fulminante sobre la mecha. Esta máquina proporciona una presión de sellado uniforme en las uniones, ya sea fulminante - mecha y/o conector - mecha.

La máquina selladora realiza la unión del fulminante a la mecha de forma hermética, mediante presión y de manera segura.

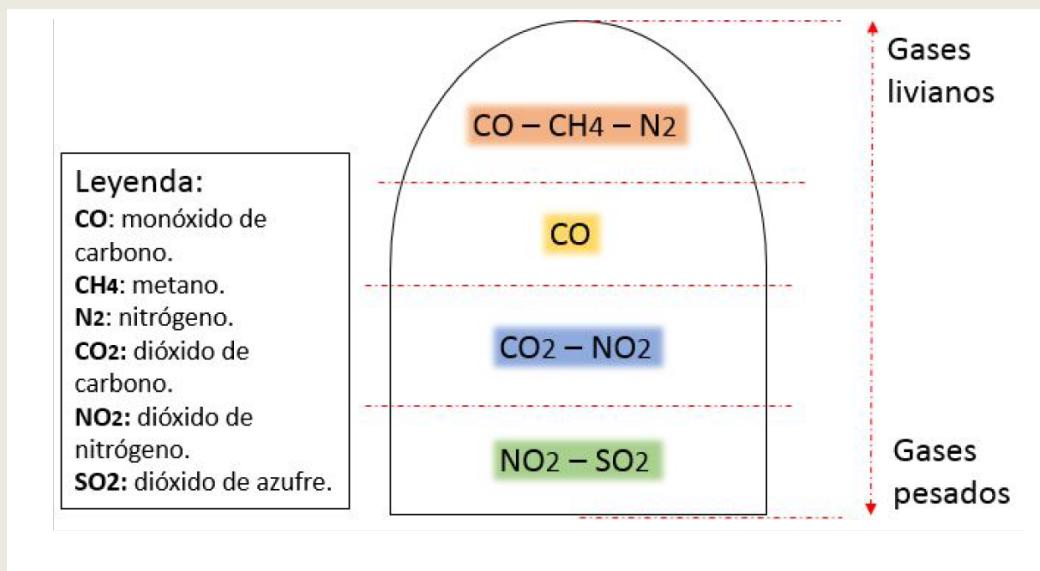


● Gases producidos en la voladura

Durante el proceso de voladura se liberan gases de compuestos químicos contenidos en los explosivos, que son nocivos para la salud. Estos son los siguientes:

- CO (monóxido de carbono):** Los primeros síntomas de intoxicación por CO son similares a los trastornos producidos por una gripe (pero sin fiebre). Incluyen dolor de cabeza, fatiga, falta de aire, náuseas y mareos.
- CO₂ (dióxido de carbono):** Es un gas incombustible, irritante para las mucosas de la nariz y ojos; puede causar la muerte sólo por sofocación.
- NO (dióxido de nitrógeno):** Es un gas tóxico, irritante, afecta principalmente al sistema respiratorio, causa daños en las células pulmonares.
- SO (dióxido de azufre):** Produce opacamiento de la córnea en la vista, dificultad para respirar, inflamación de las vías respiratorias.
- H O (ácido sulfídrico):** Olor a huevo podrido, irritante para la garganta, pulmones y ojos, produce dolor de cabeza, mareos y diarrea.

Disposición de los gases luego de un disparo o voladura de un frente de operación



Fuente:

Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio - frontino, abriaquí y cañasgordas (antioquia) - servicio geológico colombiano.

● Recomendaciones para el almacenamiento y transporte de explosivos

- Todos los explosivos son peligrosos y deben ser manejados por personas competentes, atendiendo a la normativa de seguridad vigente por la ley y recomendaciones del fabricante.
- Los polvorines son los lugares apropiados para el almacenamiento del explosivo, estos deben contar con avisos y letreros de seguridad, estar provistos con extintores, líneas de descarga a tierra, ser construidos con un cerco de protección y operados por personal capacitado, entre otros requerimientos.
- Los explosivos deben almacenarse separados de los accesorios de voladura, es decir en diferentes lugares.
- Para tomar los detonadores del polvorín es necesario que la persona descargue la energía estática, tocando una varilla o plancha de cobre conectada a tierra.
- No transportar al frente de trabajo explosivos junto a fulminantes en el mismo vehículo o medio de carga. Siempre transporte los explosivos en forma separada de los accesorios con una distancia entre ellos, que puede ser de 20m.
- Al llegar al frente de trabajo, poner la carga en un sitio seguro, separándolos de 3 a 5 m de los equipos de perforación, protegidas contra la caída de rocas, barrenas, herramientas e instalaciones eléctricas.

La adquisición de explosivos requiere de los permisos y autorizaciones por parte de las instancias gubernamentales correspondientes, así como cumplir con una serie de requerimientos establecidos para cada país.

● Fallas en la voladura

Se recomienda que los diferentes polvorines se ubiquen al menos a una distancia de 50 m entre ellos.

- No transportar explosivos junto con fulminantes y accesorios de voladura.
- No transportar explosivos en la maquinaria o equipos que se utilizan al interior mina y se estén usando para otras operaciones.
- La cantidad de sustancia explosivo y accesorios de voladura debe ser la cantidad planificada para una voladura en el frente de trabajo.
- El transporte de los explosivos se lo hará en mochilas designadas para ese trabajo y por separado la dinamita y anfo de los accesorios de voladura.

- No golpear los explosivos contra el suelo.
- Al transportar sustancias explosivas y accesorios para voladuras, se recomienda hacer máximo dos viajes.
- Al transportar sustancias explosivas y/o accesorios para voladura, nunca se debe fumar ni llevar elementos que puedan causar chispas.
- Se debe tomar en cuenta que la distribución de la carga en el barreno sea realizada uniformemente, pues la carga explosiva excesiva o muy baja dentro de los taladros/ barrenos, puede generar una mayor o menor rotura de la roca, generando pedazos muy grandes o muy pequeños en la roca volada.
- Realizar una mayor profundidad de los taladros/barrenos centrales controla el avance del frente junto con el desarrollo de la voladura.
- La inspección al frente de trabajo para verificar el resultado de la voladura, se realiza en el cordón detonante y la mecha, puesto que estos pudieron no estar bien armados o las mechas pudieron haber fallado.
- El problema con los taladros/barrenos que no explotan puede deberse a una incorrecta preparación de los cebos, cargado de los taladros/barrenos o el material explosivo en malas condiciones o caducado.
- Fallas comunes en el equipo de perforación
- Cuando el consumo de aceite sea excesivo, indica que el regulador no está bien calibrado, además esto también produce que el escape este seco.
- Cuando la velocidad de operación es variable, el equipo presenta daños de las aletas.
- Cuando hay juego en el barreno/barrena es por desgaste del portabarrenos del equipo de perforación.
- Cuando se produce una niebla de agua, indica que el tubo o aguja están rotas.
- Cuando el aceite de lubricador está sucio provoca un golpeo lento en el barreno.
- Cuando el barreno/barrena no gira, probablemente sea desgaste del bronce, ratchet o tuerca de ajuste.
- Si la presión de agua es baja, revisar mangueras por posibles fugas.
- Si la presión del aire es baja es debido a la obstrucción de las mangueras, fugas, o distancia del compresor o pulmón muy larga.

Manipulación

- Realizar el corte a escuadra del extremo de la mecha o cordón detonante que se va a insertar en la capsula del fulminante.
- Si la mecha ha estado expuesta a la humedad descarte la parte dañada.
- Limpiar la mecha antes de colocarla dentro del fulminante.
- Asegurarse que el extremo de la mecha llegue al fondo del fulminante, labor que se la realizará con mucho cuidado.
- Asegurar el fulminante a la mecha con herramientas específicas para esta labor.
- Se usará longitudes de mecha necesaria para permitir encender toda la malla de perforación.
- Usar las longitudes adecuadas para unir la malla de perforación.
- El encendido se lo efectuará a una hora indicada y sólo deben estar las personas encargadas para eso (explosivista, que en la mayoría de los casos es el perforador y su ayudante).

Ventilación

La ventilación en minería, es el proceso mediante el cual se hace circular aire fresco por el interior de una labor minera, con el fin de controlar la temperatura ambiente y proporcionar un flujo de aire en calidad y cantidad suficiente para diluir gases contaminados a límites seguros, de manera que el personal que labora al interior de la mina no sufra efectos en su salud.

● Tipos de ventilación

En minería artesanal y pequeña minería subterránea, se distinguen los siguientes tipos de ventilación:

- Ventilación natural
- Ventilación mecánica (auxiliar)

Ventilación Natural

Es el flujo natural de aire fresco al interior de una labor, sin necesidad de equipos de ventilación.

La ventilación natural atmosférica, se basa en el principio de que el aire fluye desde una zona de mayor presión a una zona de menor presión. En este método, el aire fresco ingresa naturalmente por la bocamina (lugar con mayor presión atmosférica) y recorre la totalidad de la labor minera, hasta su salida por otro acceso o chimenea de la mina (lugar con menor presión atmosférica).

Dirección del flujo natural de aire limpio en una galería subterránea



Fuente:

Manual de ventilación, saneamiento y fortificación para la minería artesanal y pequeña minería subterránea, proyecto PMYMA, INIGEMM (2015)

Ventilación artificial (auxiliar)

Son aquellos sistemas que hacen uso de ductos y ventiladores auxiliares (equipamiento mecánico), para ventilar áreas restringidas de las minas subterráneas, empleando para ello los circuitos de alimentación de aire fresco y de evacuación de aire contaminado.

Dependiendo del sentido de circulación del aire se distinguen tres tipos de esquemas de ventilación:

- Soplante
- Aspirante
- Mixta (aspirante y soplante)

a. Ventilación Soplante o Impelente

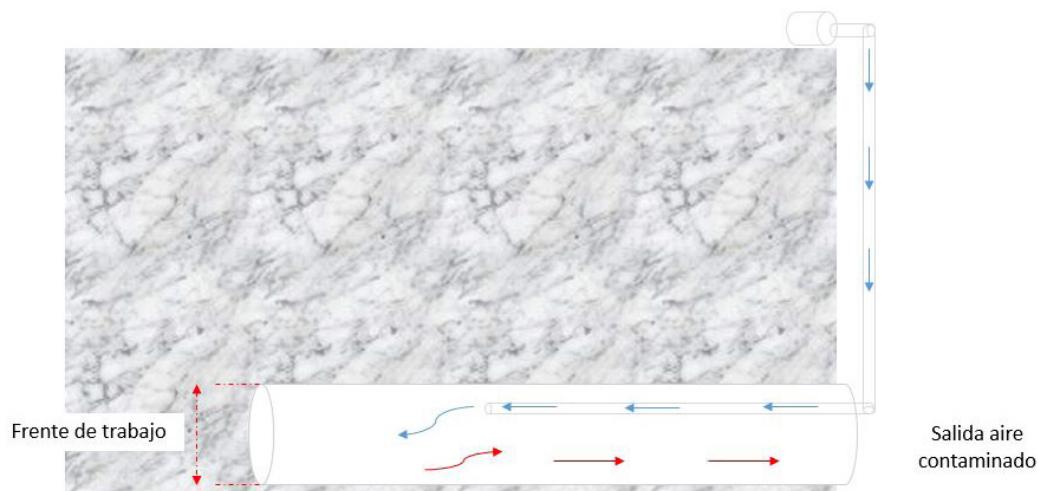
Caudal de aire impulsado por un ventilador hacia el interior de la mina. Para conducir el aire se utilizan mangueras o mangas de plástico o de materiales flexibles.

Un problema que presenta el esquema de ventilación soplante es que el aire contaminado tiene que desplazarse a lo largo de la galería hasta salir al exterior, dificultando la circulación del personal que vuelve al trabajo y tiene que atravesarlo.

Dirección del flujo de aire limpio en una galería subterránea con un esquema soplante

VENTILACIÓN ARTIFICIAL

Ingreso aire fresco



Fuente:

Guía para la PMM y MA, INIGEMM

b. Ventilación Aspirante

El aire fresco ingresa al frente por la galería, y el contaminado es extraído por mangueras de plástico (mangas) o conductos conectados al ventilador aspirante. Las mangueras o mangas deben tener un anillado en espiral rígido para soportar la succión de aire.

La principal ventaja de este sistema es que el aire contaminado es aspirado por la tubería y de esta manera no se disipa por toda la galería, mientras que la desventaja es que genera un espacio sin ventilar entre el frente de excavación y el extremo aspirante de la tubería,

porque el aire limpio que procede del exterior es aspirado rápidamente por la tubería, complicando la limpieza de aire contaminado en ese tramo.

Dirección del aire limpio en una galería subterránea con un esquema aspirante



Fuente:
Guía para la PMM y MA, INIGEMM

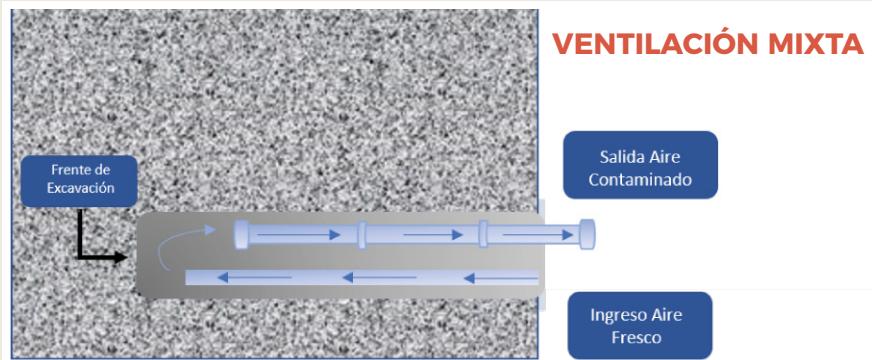
c. Ventilación Mixta

Este esquema de ventilación emplea dos tendidos de tubería, una para extraer el aire contaminado y el segundo para impulsar aire limpio al frente en avance, por lo que, es necesario dos ventiladores.

La ventaja de este sistema es que mantiene la galería y el frente de avance con una constante renovación de aire limpio, mientras que la desventaja es que tiene un mayor costo de instalación y mantenimiento.

Como se muestra en la figura y, la boca de la tubería soplante se la ubica adelante de la aspirante para ayudar a mezclar el aire contaminado y generar el desplazamiento suficiente para que la tubería aspirante realice su trabajo de succión.

Dirección del flujo de aire limpio en una galería subterránea





Requerimientos que debe cumplir la ventilación en mina

El objetivo principal de un estudio de ventilación de mina, es determinar la cantidad y calidad del aire que debe circular dentro de ella.

El caudal de aire necesario, para satisfacer las necesidades tanto del personal como de los equipos que en conjunto laboran al interior de la mina, debe garantizar la dilución de los gases generados tanto por los equipos y maquinarias de combustión interna (diésel), de existir estos, así como los gases provenientes de la voladura y los polvos asociados a las distintas operaciones.



DAÑOS A LA SALUD POR INADECUADA VENTILACIÓN

Respirar el aire viciado con polvo generado por equipos de perforación sin emplear elementos de protección respiratoria apropiados, puede causar enfermedades laborales como: silicosis o neumoconiosis.

La acumulación de partículas de polvo, causa reducción de la capacidad respiratoria y esta genera problemas pulmonares peligrosos y fatales, además respirar los gases de la voladura puede generar pérdida del conocimiento y si la inhalación es en gran cantidad puede causar la muerte.

Los efectos en la salud dependen de la concentración del contaminante en la atmósfera minera.

La tabla muestra los efectos nocivos a la salud por la presencia de gases y agentes contaminantes en las labores mineras subterráneas.

| Contaminantes | Fuente | Efectos en la salud |
|--|--|---|
| Monóxido de Carbono (CO) | Proceso de voladura, incendios en minas, explosiones de gas y polvo, quema de explosivos y generado por los motores de combustión interna. | Intenso dolor de cabeza, mareo, pérdida del control muscular, intoxicación crónica, muerte. |
| Óxidos de nitrógeno (NO, NO ₂) | Proceso de voladura. | Irritación de los ojos, nariz, garganta, causar tos, sensación de ahogo, náusea. |
| Anhídrido sulfuroso (SO ₂) | Trabajos de voladura en rocas que contienen azufre e incendios interior mina. | Irritación de los ojos, nariz, garganta, causar tos, sensación de ahogo, náusea. |
| Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) | Procesos de descomposición de las rocas por acción del agua, Trabajos de voladura. | Dolor de cabeza, mareos y deseos de vomitar; pérdida temporal del sentido del olfato e irritación de los ojos, nariz o garganta, asfixia en espacios poco ventilados o cerrados, afecciones pulmonares. |
| Material Particulado | Perforación en roca, carguío y transporte de material. | Irritación en los ojos, nariz y vías respiratorias; dificultad para respirar, tos, dolor de pecho; daño pulmonar irreversible. |

LIMPIEZA

La limpieza consiste en desalojar el material, producto de la voladura, del frontón de avance o arranque con el fin de continuar el ciclo de excavación o minado. Se lo realiza cargando, con herramientas o maquinaria, la roca fragmentada al medio de transporte (vagones), como se muestra en la figura.

LIMPIEZA EN GALERÍA



DESQUINCHE

La acuñadura, desquinche o amacice es la acción de forzar el desprendimiento de rocas sueltas del techo y paredes de las galerías, con el objetivo de evitar daños producidos por la caída repentina de rocas sobre el personal, maquinaria o servicios. Para tal actividad se utilizan barretas, cuñas y combos.



Desquinche en galerías utilizando el equipo de protección personal y barretillas

Consideraciones a tomar en las actividades de desquinche y limpieza

- Tener conocimiento de las normas y procedimiento en seguridad minera para realizar de manera adecuada la limpieza de la labor, así como la identificación de zonas de riesgo por caída de roca.
- Portar todo el equipo de protección personal (E.P.P.).
- Verificar las condiciones de ventilación y visibilidad del frente de trabajo donde se efectuó la voladura.
- Utilizar agua para despejar y disminuir el polvo, además de mejorar la visibilidad de la roca en general.
- Se debe permanecer en una zona segura ya saneada, reforzada o fortificada, para luego iniciar con la remoción de roca en la zona afectada por el disparo.
- Primero se desquincha el techo, luego las paredes y el piso de las galerías; el desquinche en los piques/tiros se lo realiza de manera descendente.

- Golpear con la barretilla el macizo rocoso, para detectar rocas sueltas o planchones que podrían desprenderse.
- Si el planchón (grandes bloques tabulares) está agrietado y es difícil desprenderlo, se considerará trabajar en su sostenimiento (anclaje).
- Los sonidos de crujidos y goteos constantes de agua, son señales de zonas de posible caída de rocas.

Peligros existentes por un inadecuado desquinche

Un inadecuado desquinche resulta en el desprendimiento de rocas que pueden ocasionar:

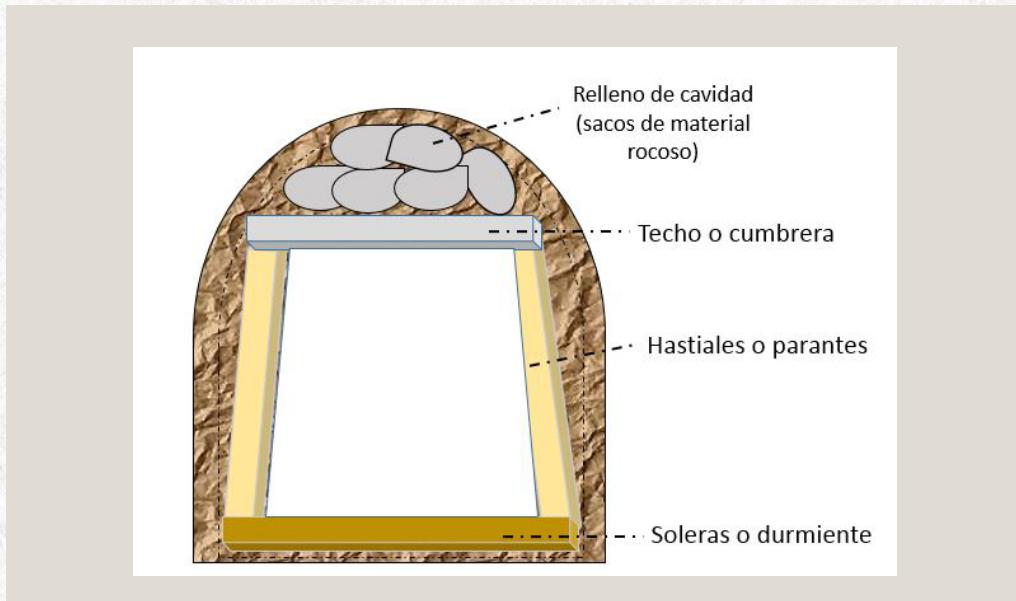
- Accidentes que pueden provocar lesiones personales y/o la muerte.
- Daños a maquinaria y equipos de trabajo.
- Daños a estructuras de fortificación o sostenimiento.
- Daños a tuberías de servicio (agua, aire comprimido y electricidad).
- Daños a sistemas de desagüe (cunetas).
- Daños a vías de transporte (rieles).
- Obstrucción de las vías de acceso y salidas a las labores de trabajo minero.
- Demora en la ejecución del ciclo minero.

SOSTENIMIENTO

El sostenimiento en las labores mineras consiste en construir estructuras resistentes que ayuden a soportar las presiones ejercidas por el macizo rocoso alrededor de las galerías excavadas.

El sostenimiento tiene por objeto mantener abiertas las labores mineras durante la explotación, compensando el equilibrio inestable de las masas de roca que soporta.

Para el minero es importante tener en cuenta los siguientes aspectos referentes al sostenimiento:



- El sostenimiento de las obras subterráneas es necesario para controlar la estabilidad de las excavaciones y para aumentar la seguridad del personal que trabaja o circula por ellas.
- El buen sostenimiento es básico para garantizar el tránsito de personal y equipos, y para el desarrollo, preparación y operación de la explotación.
- Un buen sostenimiento permite el desarrollo y operación segura de la explotación.
- Cuando el sostenimiento es natural se deben realizar inspecciones diarias del comportamiento de la roca para identificar zonas de debilidad o fractura, en cuyo caso es necesario instalar reforzamiento con sostenimiento artificial.
- Contar con un buen sostenimiento minero es básico para la seguridad del personal y de la operación minera.
- Según las condiciones del terreno y la fracturación de la roca, se determina qué tipo de sostenimiento se utilizará para garantizar que se conserven las labores mineras.
- Un tajo o poste de madera rolliza sirve para soportar presiones en los techos de las minas.
- Después de las voladuras queda material suelto en el techo o paredes, cuya remoción se realiza con posterioridad o se acumula, lo que aumenta la posibilidad de desplomes, accidentes y obstrucción de los frentes de explotación. Por eso es necesario realizar diariamente el proceso de "desabombar" el techo de material suelto.

A continuación, se enumeran las características técnicas del sostenimiento:

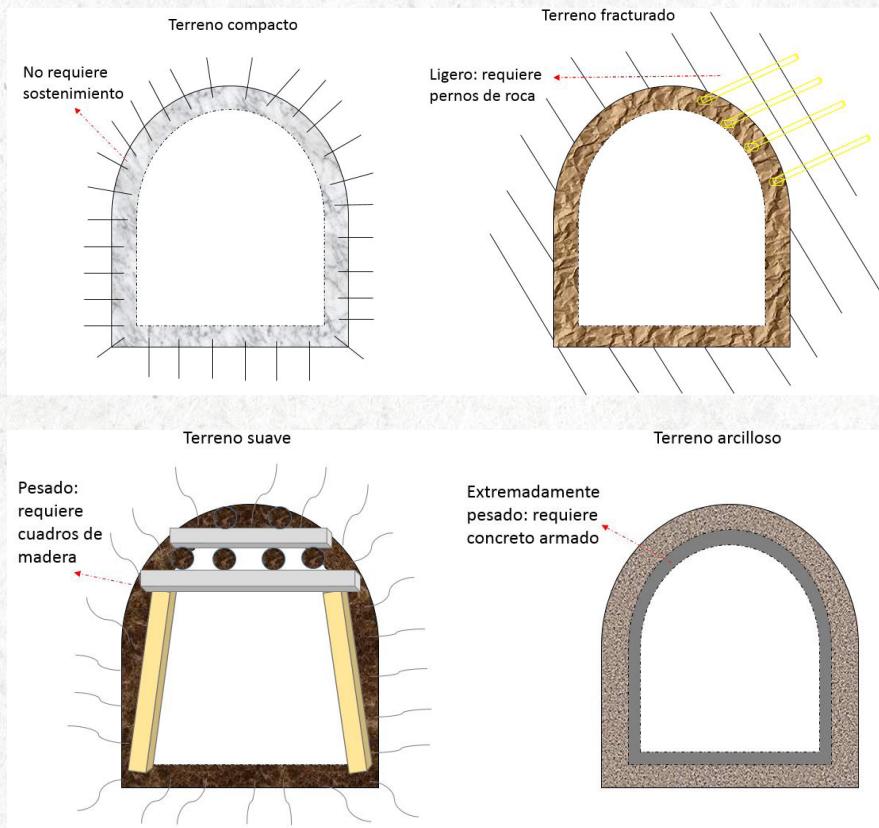
- Ser resistente a las cargas y presiones del macizo rocoso circundante.
- Ser estable. La fortificación debe conservar la forma que se le proyecta, aún bajo la acción de las cargas.
- Ser duradera: su vida útil debe ser acorde con las labores de la explotación.
- Ocupar el menor espacio posible, para permitir que se conserve la sección mínima de 3 m².
- Las galerías serán construidas con áreas que permitan la libre circulación de personal, máquinas y herramientas.
- Se recomienda mantener limpios los frentes de avance y asegurados los frentes de las labores subterráneas.
- Supervisar y mantener en buenas condiciones las puertas de madera del sostenimiento de la mina.
- Generalmente el sostenimiento en las minas se realiza con puertas alemanas, conformadas por tres maderos resistentes que conforman un trapecio.

Sostenimiento con madera

La madera es el material más utilizado en la pequeña minería y minería artesanal, ya que posee una buena capacidad de resistencia.

Las características que debe tener la madera para ser usada son:

- Debe ser madura y tener una humedad relativa entre 10 y 15% (humedad suficiente para que la madera no sea propensa a incendios; y la necesaria para que no se descomponga).
- Debe ser resistente y estar sin corteza.
- Debe ser “curada”, es decir tratada con derivados de petróleo o productos químicos para evitar su descomposición.
- La madera tiene una vida media entre 2 y 3 años; sin embargo, con el mantenimiento apropiado la madera tiende a alargar su vida útil.



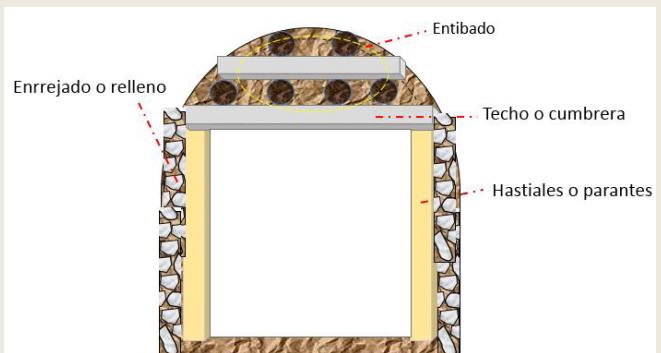
Cuadros de madera

Son armazones cuyos elementos están unidos entre sí por medio de elementos auxiliares formando una estructura sólida y resistente como se muestra en la figura. Se utiliza en labores horizontales inclinadas y sus dimensiones están de acuerdo a la sección de la galería.

Tipos de cuadros

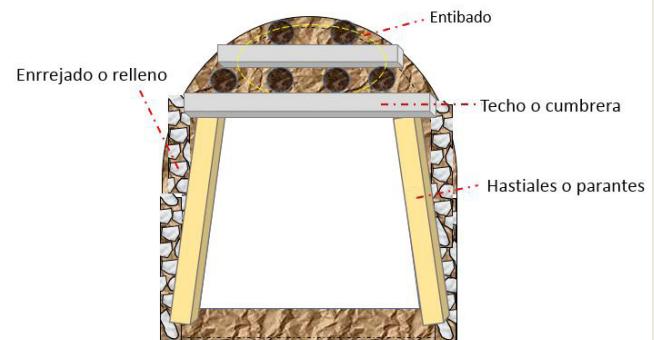
Cuadros Rectos

Son armazones cuyos elementos están unidos entre sí por medio de elementos auxiliares formando una estructura sólida y resistente como se muestra en la figura. Se utiliza en labores horizontales inclinadas y sus dimensiones están de acuerdo a la sección de la galería.



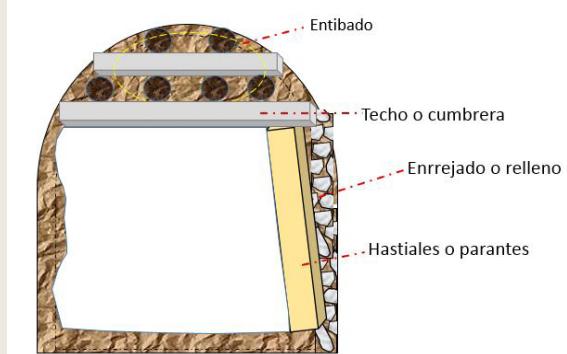
Cuadros Cónicos

Son usados cuando la mayor presión procede de los hastiales o paredes, la diferencia con los cuadros rectos, solo radica en el hecho de que los cuadros cónicos se reduce la longitud del sombrero, inclinando los postes, del tal manera de formar un ángulo de 78° a 82°, respecto al piso, quedando el cuadrado de forma trapezoidal.

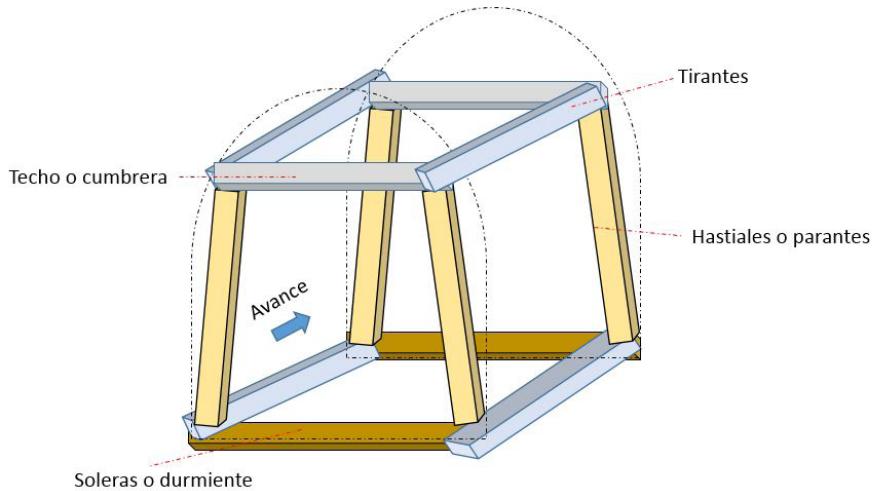


Cuadros Cojos

Están compuestos por solo un poste y un sombrero, se utilizan en vetas angostas, su uso permite ganar espacio de trabajo pueden; ser verticales o inclinados, según el buzamiento de la estructura mineralizada, estos cuadros deben adecuarse a la forma de la excavación para que cada elemento trabaje de acuerdo a las presiones ejercidas por el terreno.



ELEMENTOS DE UN CUADRO



Sombrero o Cumbrero

Es el elemento del cuadro colocado horizontalmente en la parte superior de la estructura armada de la fortificación, el cual se encarga de soportar las presiones del techo.

Postes

Son los elementos colocados de manera vertical o inclinada en las estructuras de fortificación, que ayudan a controlar las presiones de las paredes producidas en una excavación minera.

Tirantes

Son elementos colocados de forma horizontal como fortificación, generalmente no soporta esfuerzos de gran magnitud; sin embargo, son de gran aporte de sujeción en los cuadros de sostenimiento.

Soleras

Son elementos colocados horizontalmente a nivel de suelo que soportan esfuerzos provenientes directamente del piso; se los utiliza cuando los terrenos excavados son suaves y/o expansivos y requieren soportar el tránsito de maquinaria y equipos; también como base de soporte de los rieles para los vagones.

Acarreo y transporte de mineral y roca estéril

Después de haber arrancado el mineral y el material estéril se requiere cargarlo a un medio de transporte por medios manuales con palas y carretillas, katangas/capachos (amarre para cargar en la espalda del minero el mineral en baldes o costales), o por medios mecanizados, con palas neumáticas o mecánicas, cargadores para minería subterránea, winche minero o malacate, bandas transportadores, malacates o locomotoras con vagones, para trasladarlo hasta la superficie, bien sea al patio de acopio o a la planta de beneficio.

El carguío del mineral desde el frente de operaciones se realiza en baldes, o latas con sistemas mecánicos de izaje hasta la bocamina. Si fuera el caso también se extrae mineral no envasado a través de carretillas. El mineral, es transportado hasta la zona de disposición de mineral donde es ensacado y dispuesto en lotes de 5 a 10 toneladas, para su transporte en vehículos, hasta su trasbordo definitivo para su posterior entrega a las instalaciones de beneficio. Las tarifas de transporte están definidas, por lo que no es muy susceptible a optimizar los costos.







CAPÍTULO IV

**BENEFICIO
DE MINERALES**



CAPÍTULO IV

BENEFICIO DE MINERALES

El proceso metalúrgico es la combinación de operaciones industriales que se necesitan para la preparación, tratamiento, concentración y recuperación de metales a partir de un mineral, sus etapas se pueden clasificar en:

Conminución o Reducción de tamaño

- Trituración o chancado
- Molienda o pulverizado

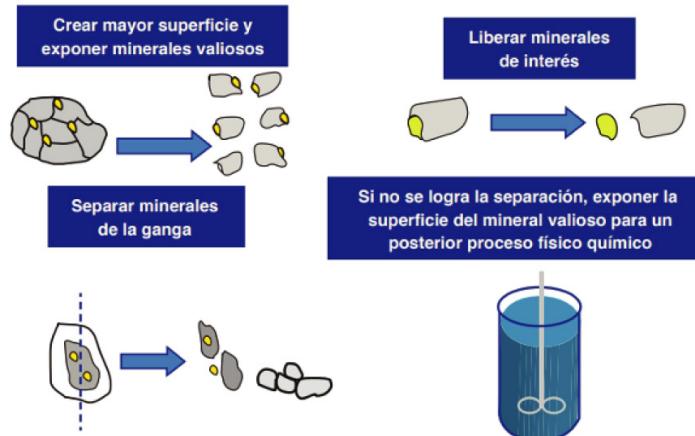
Concentración de minerales

- Concentración gravimétrica
- Concentración por flotación

Metalurgia Extractiva

- Lixiviación
- Cementación con Zinc
- Adsorción en carbón activado
- Electrorrecuperación

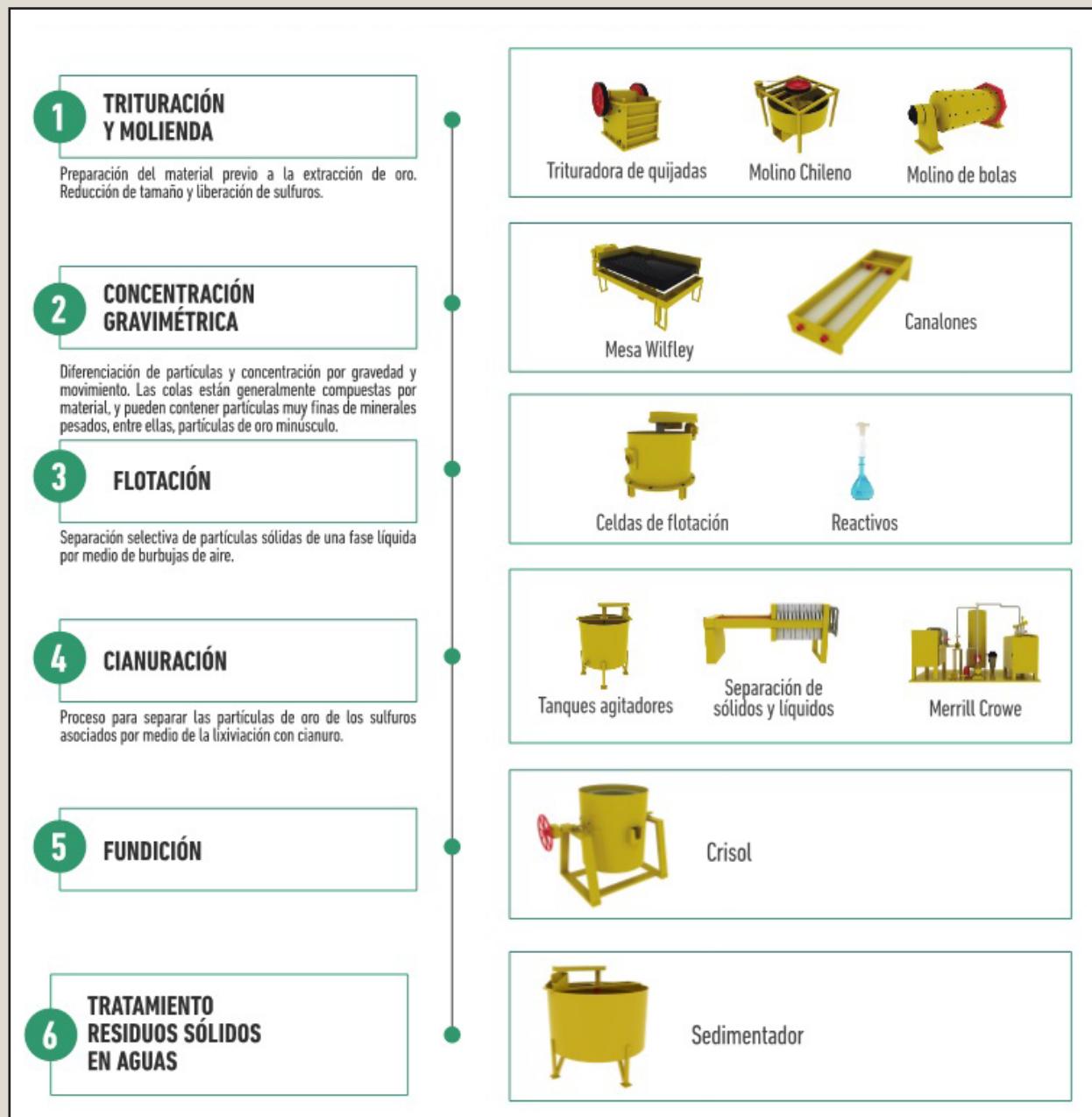
► Figura 5.1.
Objetivos de la reducción de tamaño



Fuente: IIGE 2018

Fundamentos teóricos: Proceso beneficio metalúrgico

Beneficio de minerales en planta



CONMINUCIÓN O REDUCCIÓN DE TAMAÑO (TRITURACIÓN Y MOLIENDA)

La conminución, o reducción de tamaño de un material, es una etapa importante y normalmente la primera en el procesamiento de minerales. Los objetivos de la conminución pueden ser:

- Producir partículas de tamaño y forma adecuadas para su utilización directa.
- Liberar los materiales valiosos de la ganga, de modo que puedan ser concentrados.
- Aumentar el área superficial disponible para reacción química.

Trituración o Chancado

El mineral proveniente de la mina presenta un tamaño variado desde partículas menores a 1 mm hasta fragmentos mayores de 30 cm de diámetro. La trituración permite obtener un tamaño uniforme, máximo de $\frac{1}{2}$ pulgada.

La trituradora, usualmente de mandíbulas, se escoge en base al tamaño de alimentación de las partículas, a las características del mineral como dureza, humedad, abrasividad y producción deseada.

Fuente: Ingemmet



Trituradora de quijadas

VARIABLES DEL EQUIPO

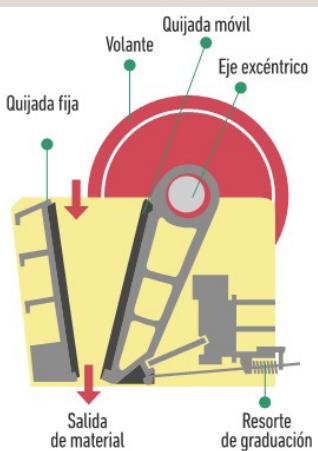
- Geometría de la cámara
- Ancho y largo de la abertura de entrada
- Capacidad nominal
- Potencia nominal
- Velocidad de rotación del excéntrico

VARIABLES DEL MINERAL

- Densidad del mineral
- Diámetro máximo de la alimentación
- Distribución granulométrica de la alimentación
- Índice de Bond de trituración

VARIABLES DE OPERACIÓN

- Ángulo de captura
- Porcentaje de llenado de la cámara
- Abertura de salida
- Consumo energético
- Tasa de reducción
- Distribución granulométrica del producto

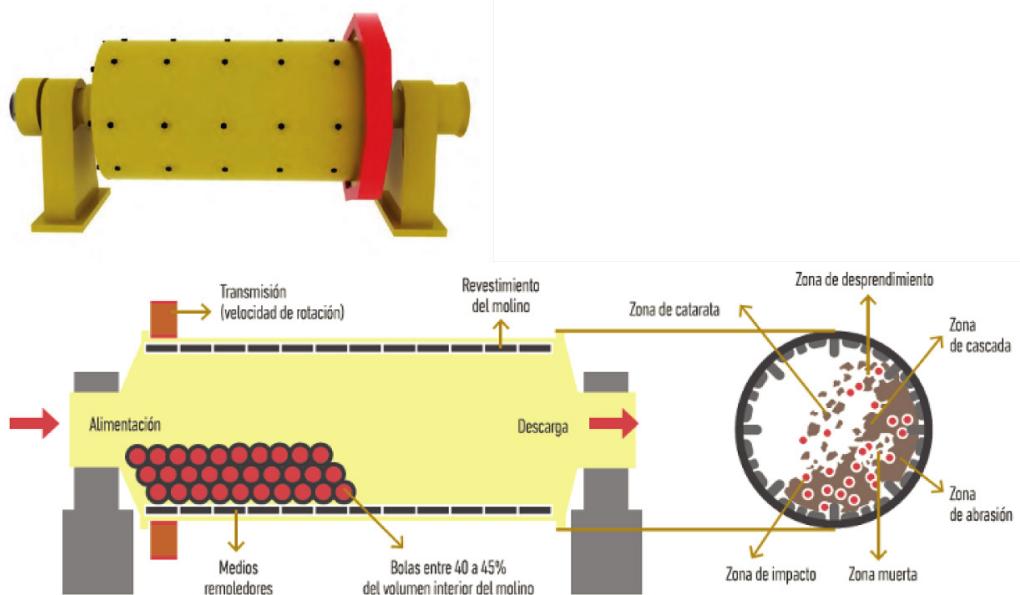


MOLIENDA O PULVERIZADO

La molienda es la siguiente operación de reducción de tamaño, los productos obtenidos son más pequeños y de forma más regular que los obtenidos por trituración. La molienda se puede realizar en seco (sin añadir agua) o en húmedo (con adición de agua). Para el procesamiento de minerales portadores de oro generalmente se utiliza molienda en húmedo.



Modelo de un



| DIÁMETRO X LONGITUD (m) | ROTACIÓN APROXIMADA (rpm) | VOLUMEN DE CARGA DE BOLAS (t) | CAPACIDAD (t/h) | POTENCIA DEL MOTOR (kW) | PESO DEL MOLINO (t) |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|
| 0,9 x 1,8 | 37 | 1,5 | 0,65 - 2 | 18,5 | 4,6 |
| 0,9 x 3 | 36 | 2,7 | 1,1 - 3,5 | 22 | 5,6 |
| 1,2 x 2,4 | 36 | 3 | 1,5 - 4,8 | 30 | 12 |
| 1,2 x 3 | 36 | 3,5 | 1,6 - 5 | 37 | 12,8 |
| 1,2 x 4,5 | 32 | 5 | 1,6 - 5,8 | 55 | 13,8 |
| 1,5 x 3 | 30 | 7,5 | 2 - 5 | 75 | 15,6 |
| 1,5 x 4,5 | 27 | 11 | 3 - 6 | 110 | 21 |
| 1,5 x 5,7 | 28 | 12 | 2,5 - 6 | 130 | 24,7 |
| 1,83 x 3 | 25 | 11 | 4 - 10 | 130 | 28 |
| 1,83 x 4,5 | 25 | 15 | 4,5 - 12 | 155 | 32 |
| 2,1 x 3 | 24 | 15 | 6,5 - 36 | 155 | 34 |
| 2,1 x 4,5 | 24 | 24 | 8 - 43 | 245 | 42 |

Molino Chileno o Trapiche

El molino chileno o trapiche, es la versión moderna del antiguo molino de arrastre (Simonin, 1867). Es una herramienta versátil, pues cumple la función de triturador secundario y molienda.

Por ser de fácil limpieza, no retiene material dentro, como sucede con el molino de bolas; además, cumple funciones de concentrador de partículas gruesas y pesadas, como el oro.

El molino consiste esencialmente en discos pesados de acero que giran alrededor de un eje vertical y sobre un anillo con una superficie cóncava. Debido al peso de los discos, estos muelen el material cargado al mismo tiempo que crean corrientes que transportan el producto molido hacia las mallas de descarga. Este diseño (cóncavo y convexo) pretende mantener el mineral siempre dentro del área de molienda, evitando así la dispersión o derrame.

Esta operación contempla bajos costos de operación y mantenimiento, debido a la larga vida útil de sus componentes y la simplicidad de su funcionamiento (Velásquez, Veiga y Hall, 2010).

(Tomado de Servicio Geológico Colombiano).



| MODELO | CAPACIDAD (t/h) | DIÁMETRO DEL MOLINO (m) | POTENCIA DEL MOTOR (HP) | PESO APROX. DE DISCOS DE MOLIENDA (kg) |
|--------|-----------------|-------------------------|-------------------------|--|
| 1 | 12-30 | 1,5 | 6 | 500 |
| 2 | 30-60 | 1,8 | 12 | 1000 |
| 3 | 70-120 | 2,5 | 18 | 1750 |

La velocidad crítica es la velocidad en la cual la fuerza centrífuga, por efecto de giro del molino hace que los cuerpos moledores se mantengan adheridos a la pared del molino y no caigan antes de dar un giro completo

| VARIABLES DEL EQUIPO | VARIABLES DEL MINERAL | VARIABLES DE OPERACIÓN |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> · Diámetro x longitud · Fracción de llenado · Porcentaje de la velocidad crítica · Tamaño máximo de cuerpos moledores · Porcentaje de sólidos · Capacidad nominal | <ul style="list-style-type: none"> · Densidad del mineral · Diámetro máximo de la alimentación · Distribución granulométrica de la alimentación · Índice de Bond molienda | <ul style="list-style-type: none"> · Flujo de alimentación · Densidad de pulpa · Consumo energético · D80 del producto · Distribución granulométrica del producto |

Ecuación de velocidad crítica fuente (Austin y Concha, 1994):

siendo V_c la velocidad crítica del molino en rpm, D_m el diámetro del molino en m y D_b el diámetro mayor de los cuerpos moledores en m.

$$V_c = \frac{42.3}{\sqrt{D_m - D_b}}$$

Fuente: Fuente: Guía Metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio – Andes (Antioquia) – Servicio Geológico de Colombia

CONCENTRACIÓN POR GRAVIMETRÍA

El objetivo principal de la concentración es enriquecer el mineral valioso, eliminando la ganga y minimizando la pérdida de mineral en cuanto sea posible. El concepto de tenor o ley es importante en el desarrollo de los objetivos que se pretenden alcanzar en la concentración de minerales.

Se puede definir el tenor o ley de un mineral como la relación que existe entre la cantidad másica o volumétrica de mineral de interés o útil (oro) con respecto a la cantidad o volumen en la mena. Por tanto, el tenor se puede expresar en gramos de mineral útil por tonelada de material total (g/t, g/m³).

Gravimetría

La concentración gravimétrica puede definirse como la separación de dos o más especies de minerales con diferente peso específico (diferente densidad), causada por el movimiento relativo bien sea en un medio acuoso o aire, debido a la respuesta de los sólidos a las fuerzas gravitacionales de arrastre y empuje. Para que exista una buena separación debe tenerse en cuenta no alimentar las máquinas de concentración con distribuciones granulométricas muy amplias; es decir, donde haya desde partículas muy finas a partículas muy gruesas.

| VALOR DE CC | SEPARACIÓN | TAMAÑO (mm) |
|-------------|-------------|-------------|
| > 2,5 | Fácil | Hasta 0,075 |
| 1,75 – 2,50 | Posible | Hasta 0,150 |
| 1,50 – 1,75 | Difícil | Hasta 1,7 |
| 1,25 – 1,50 | Muy difícil | |
| < 1,25 | No posible | |

$$CC = \frac{D_h - D_f}{D_l - D_f}$$

D_h : Densidad del mineral pesado
 D_f : Densidad del medio fluido
 D_l : Densidad del mineral liviano
 CC: Criterio de concentración

Equipos utilizados

Canalones

Los canalones son medios concentradores sencillos que constan de canales rectangulares ligeramente inclinados de fondo plano, cubiertos por bayetas (láminas de tejidos que retienen las partículas pesadas), o canales trasversales denominados rifles.

Por estos canales pasa una corriente con un flujo de pulpa (25 %-30 % de sólidos) descendente.

Las partículas de minerales más gruesas son atrapadas en el fondo de la bayeta o entre los rifles, y las partículas más finas siguen su curso descendente sin ser recolectadas por el canalón.

Posteriormente el material retenido es recolectado en tanques para su tratamiento. Para este tipo de minería, los canalones son generalmente construidos con concreto, aunque también se encuentran fabricados de madera, aceros convencionales o aceros inoxidables.

Las partículas en el fondo de la película de agua se ven afectadas por los siguientes factores:

- Pendiente del canalón
- Espesor de la película de agua (caudal)
- Los coeficientes de fricción entre las partículas y la superficie
- La gravedad específica de las partículas
- La forma de las partículas
- La rugosidad de la cubierta

Mesas de concentración (Mesa Wilfley)

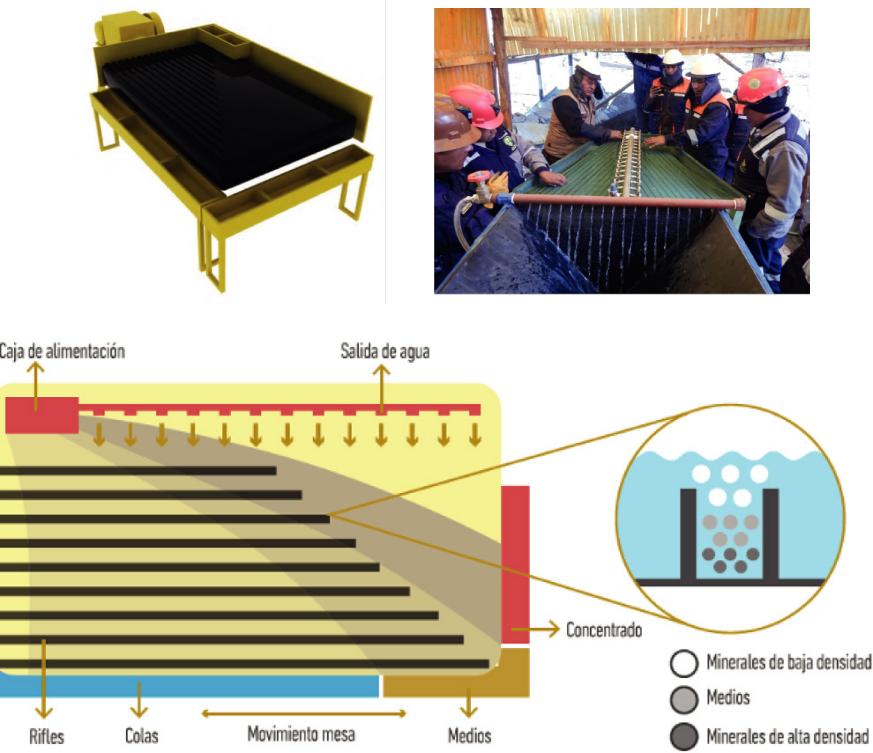
Este concentrador consiste en una mesa ligeramente inclinada con canales o rifles transversales. Se alimenta con una pulpa cuyo peso está constituido en un 25 % por sólidos. La pulpa se introduce en la caja de alimentación y se distribuye por medio del agua de lavado que entra a lo largo de la superficie por el lado de la alimentación. La mesa vibra longitudinalmente por medio del mecanismo, lo que produce un desplazamiento lento hacia la izquierda y un retorno rápido hacia la derecha. Esto hace que las partículas minerales se arrastren lentamente a lo largo de la cubierta paralela en dirección del movimiento más lento.

Utilizada en la minería aurífera, para la recuperación de oro entre 3 mm a 100 μm y de piritas auríferas como subproducto comercial. Permite obtener tres fracciones: concentrado, mixtos y colas.

Se utilizan también para enriquecer preconcentrado gravimétricos obtenidos por otros equipos como canales, espirales, etc. y para producir concentrados de alta ley.

Las partículas se mueven diagonalmente a través de la cubierta desde el extremo de alimentación. Las más pequeñas y pesadas viajan con mayor velocidad hacia el punto de recolección, en el extremo distante, mientras que las partículas más ligeras y grandes son conducidas al lugar de recolección de colas. Se usan colectores con separadores ajustables para recibir el producto concentrado, medios (mezcla de concentrado y ganga) y colas (ganga liberada).

Por lo general, al final de los procesos gravimétricos se obtienen dos fracciones, el concentrado que generalmente es llevado a fundición si tiene una concentración mínima del 3% de oro y las colas que son enviadas a cianuración o flotación. En algunos procesos como en el concentrador en espiral y la mesa concentradora se obtiene la fracción de mixtos que ingresa nuevamente al proceso.



| VARIABLES DE DISEÑO | VARIABLES DE OPERACIÓN | TAMAÑO EN MICRONES | CAPACIDAD (t/h) |
|---|--|--------------------|-----------------|
| <ul style="list-style-type: none"> Geometría de la mesa Material de la superficie Rifles (forma y distribución) Aceleración de sacudidas Velocidad del motor | <ul style="list-style-type: none"> Inclinación en la mesa Densidad de la pulpa alimentada Caudal de agua de lavado Ubicación del punto de alimentación | 750-250 | 1.5-3 |
| | | 400-150 | 1-2 |
| | | 200-75 | 0.5-1 |
| | | 100-40 | 0.2-0.5 |

Trommel

Es un clasificador cilíndrico de alta eficiencia que va ligeramente inclinado, y que es utilizado en minería aluvial en procesos de altos volúmenes de producción para el lavado de sedimentos sueltos y material poco compactado.

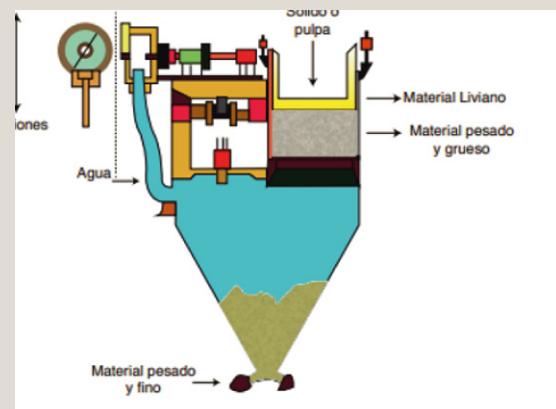
Consta de un cilindro con sus paredes perforadas a una o varias aberturas determinadas, lo que permite que el mineral más pequeño pase a través de las mallas mientras que el más grueso se descarga por el extremo opuesto.



Jig

Permite que un mineral desagregado sea separado de acuerdo a su peso específico, en un medio acuoso, las partículas se quedan suspendidas y gracias a su densidad las partículas más pesadas se depositan más rápido, obteniéndose un concentrado.

A pesar de que se puede adecuar a todo tipo de material y recupera oro y sulfuros auríferos, requiere de personal experimentado para su operación. No recupera oro fino.



El Jig es muy utilizado para separar oro grueso luego de un proceso de molienda. Generalmente es eficiente con partículas que se encuentran entre 150 y 850 μm .

Concentradores Centrífugos (tipo Knelson o Falcon)

Los concentradores centrífugos son un tipo de concentrador gravimétrico que hace uso de la fuerza centrífuga. Tienen la ventaja de recuperar partículas finas. La capacidad de dichos equipos para cambiar el campo gravitatorio aparente es una alternativa valiosa en la recuperación de minerales finos como el oro.

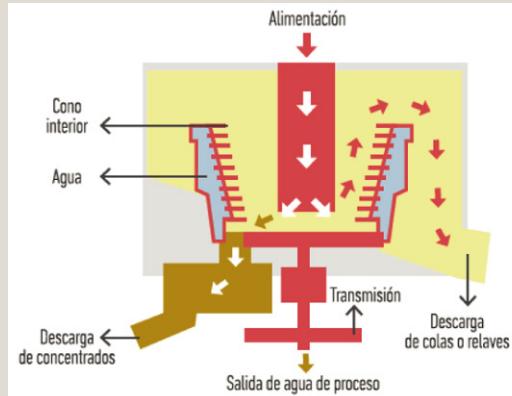
Los concentradores centrífugos más utilizados en la industria mineral son los de tipo Knelson y tipo Falcon.

Estos equipos tienen la ventaja de ser compactos.



Su funcionamiento consiste en la formación de un lecho fluidizado de interior activo, útil para capturar minerales pesados (Knelson y Jones, 1994). Una fuerza centrífuga de hasta sesenta veces la de la gravedad actúa sobre las partículas y atrapa las más densas en una serie de anillos (rifles) ubicados en el compartimiento interior del equipo, mientras que las partículas de baja densidad son descargadas al producto de cola. Las capacidades de las unidades van desde la escala de laboratorio (0,03 t/h) hasta la escala industrial (150 t/h) para partículas que varían en tamaño desde 10 µm hasta un máximo de 6 mm. Generalmente se usa para alimentos en los que el componente denso que interesa recuperar es una fracción muy pequeña del material total: menos de 0,05 % en peso.

Con el uso de estos equipos se pueden lograr altos enriquecimientos para la posibilidad de fundición directa, pero a menudo se necesita incorporar otro equipo para incrementar la recuperación (por ejemplo, una mesa concentradora, concentrador centrífugo extra).



HIDROMETALURGIA O METALURGIA EXTRACTIVA DEL ORO

Procesos Hidrometalúrgicos

Son procesos físicos y químicos utilizados para una extracción de metales por solventes en medios acuosos. No contaminan el aire, pero requieren de medidas de control para disminuir impactos en agua y suelo.

Los procesos hidrometalúrgicos constan de tres etapas:

1. Disolución del metal de interés (de la fase sólida a la fase líquida).
2. Concentración de la solución (Ejemplo: adsorción en carbón activado); esta etapa no siempre se la aplica. Muchos procesos pasan directamente a la siguiente etapa.
3. Recuperación del metal de interés a partir de la solución, en una fase sólida.

Lixiviación

Es un proceso hidrometalúrgico que permite recuperar el metal de interés; consiste en disolver total o parcialmente un sólido para extraer los elementos de valor. Se aplica una solución selectiva para el metal de interés.

El disolvente líquido puede ser agua, solución acuosa o un líquido de naturaleza orgánica, la sustancia que disuelve al mineral de interés se conoce como lixiviante y se debe considerar que sea una especie que cumpla con estas condiciones:

- Factible de recuperar y regenerar.
- Solución selectiva que disuelva el metal de interés y no las impurezas del mineral.
- Disolución completa y rápida del metal de interés.

Para que el proceso de lixiviación se lleve a cabo es necesario que se encuentren en un íntimo contacto la fase sólida y líquida, de esta manera el metal de interés se disuelve y cambia de fase separándose de la fase mineral.

Un proceso de lixiviación tiene como resultado la generación de dos productos:

- Solución rica en el metal de interés, que se le conoce como solución preñada.
- Residuo, generalmente la concentración del metal de interés es mínima por lo que puede ser descartado, se le conoce como colas o relaves.

El proceso de lixiviación de oro con cianuro es el principal método desarrollado para extraer el metal y es utilizado en prácticamente todas las grandes operaciones mineras del mundo.

Las razones que justifican su gran aceptación son tanto económicas como metalúrgicas. En general, con este método se recupera más metal que con el proceso de amalgamación. Además, es más seguro y simple de operar que procesos con cloro o bromo. La barra de oro final resultante de la operación es prácticamente pura.

El proceso de cianuración se basa en que las soluciones de cianuro de potasio o sodio tienen una disolución preferencial hacia las partículas de oro metálico que hacia otros materiales.

La siguiente ecuación global de la reacción de la cianuración y el compuesto que se analiza según Elsner.



Lixiviación con Cianuro De Sodio

El cianuro de sodio (NaCN) es utilizado como agente formador de complejos por su alta solubilidad y por presentar iones cianuros que capturan al oro, separándose de la parte sólida del material original. Debido a que el cianuro de sodio es el más utilizado industrialmente, a este proceso se le conoce como cianuración.

La lixiviación del oro con cianuro combina la oxidación de la especie de interés y la acción de un agente formador de complejos que es el que permite mantener la especie oxidada en disolución.

Es necesario el uso de un agente oxidante y un agente formador de complejos.

El oxígeno es el agente oxidante más empleado porque su costo es mínimo por la facilidad de obtenerlo a partir del aire.

Adicionalmente se puede emplear otros tipos de agentes oxidantes, reductores, formadores de complejos que se seleccionan de acuerdo al metal a disolver.

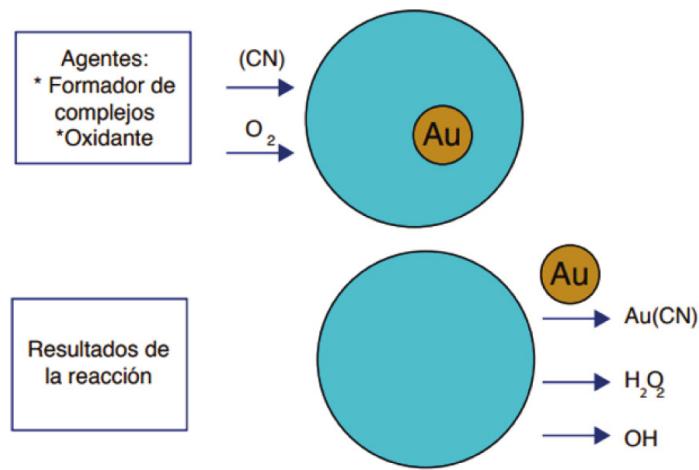
El proceso de cianuración inicia con la regulación del pH (10 a 11,5), con la adición de cal. El pH se controla para evitar la formación del ácido cianhídrico, que es una sustancia tóxica que se desprende en forma de gas a determinados valores de pH, posteriormente se agrega el cianuro.

Resulta práctico agregar el cianuro en la molienda para aprovechar el proceso de mezcla y la adherencia a la superficie fresca del mineral molido.

Diagrama del proceso de Cianuración



Mecanismo de Cianuración



Tipos de Cianuración

La cianuración puede ser de varios tipos:

Cianuración en pilas

Se utiliza para metales de baja ley, pero se maneja con altos tonelajes, se debe trabajar a un pH entre 10 y 11. Existen zonas muertas en donde no llega una cantidad adecuada de cianuro para formar los complejos.

Cianuración en piscinas de fondo falso

Favorece la formación de complejos de oro, porque hay un mayor contacto entre el cianuro y el mineral.

Cianuración con agitación

Generalmente se realizan en tanques con agitadores mecánicos que favorecen a la velocidad de disolución del metal, el tiempo de recuperación disminuye notablemente y aumenta el porcentaje de recuperación. Los costos son más altos que los anteriores pero los tiempos de recuperación menores.

Factores que Influyen en la Cianuración

Concentración de cianuro

La concentración de cianuro empleada favorece la lixiviación debido al contacto que presenta la solución con la superficie del metal. Un incremento en la concentración del cianuro en la solución no aumenta la recuperación únicamente favorece la velocidad de la reacción y permite que otras especies formen complejos cianurados.

Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno afecta la disolución del oro, ya que mientras mayor sea la cantidad de oxígeno disuelto, la disolución del metal precioso será también mayor. Es importante la cantidad de cianuro/oxígeno en la reacción para optimizar la recuperación.

pH

La disolución del oro se maximiza cuando la solución está en un pH entre 9 y 9,5, pero el pH de operación es mayor a 10 para evitar la liberación del ácido cianhídrico y menor a 11,5 para no provocar otras reacciones. De esta forma se evitan considerables pérdidas económicas y peligros para la salud debido a la eliminación de este compuesto en forma de gas.

Temperatura

Un aumento en la temperatura favorece a la disolución del oro, pero su excesivo incremento disminuirá la solubilidad del oxígeno, factor que no es conveniente para el proceso.

Agitación

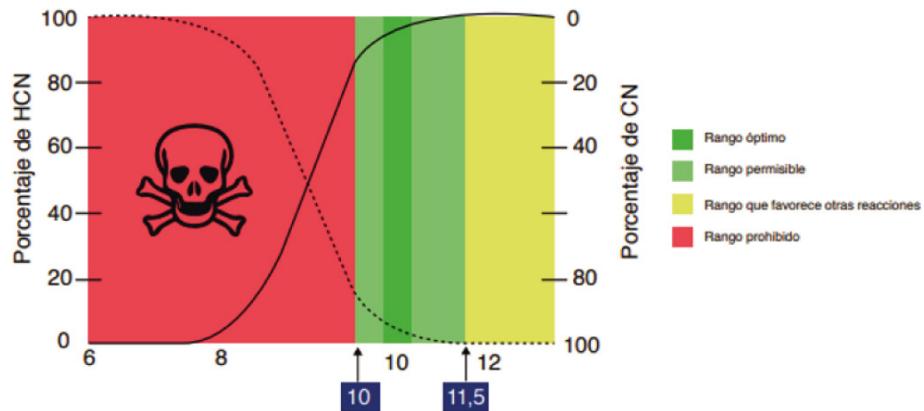
La agitación favorece la disolución del oro; el incremento de la agitación aumenta la velocidad de disolución del oro, pero tiene un límite, pasado el cuál lo único que se tiene es un consumo extra de energía y un desgaste de los agitadores.

Características del mineral

El porcentaje de recuperación depende del tipo de mineral a tratar, especialmente la presencia del oro dentro del mineral.

Área de oro expuesta

Para mejorar el área de oro expuesta es importante una molienda y trituración previa del material, porque el tener mayor área de contacto favorece a la interacción entre la solución y el oro.



CEMENTACIÓN CON ZINC

La cementación con zinc es un proceso complementario de la cianuración que consiste en la precipitación del oro en forma metálica sobre el zinc. El zinc tiene más afinidad por el cianuro que el oro, por este motivo se forman complejos entre el cianuro y el zinc, que hace que el oro se deposite como oro metálico.



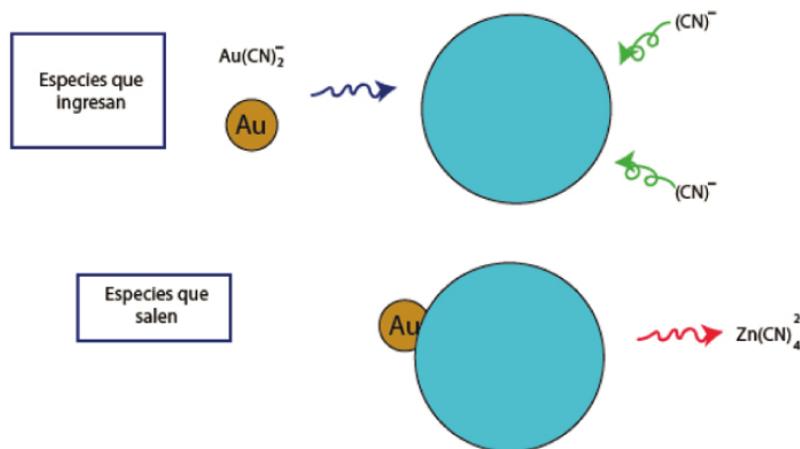
La cementación con zinc sigue siendo una de las mejores alternativas dependiendo de las características del material y condiciones de operación. Es utilizado en minerales con alto contenido de plata, materiales muy arcillosos. Aproximadamente entre el 25 y 30 % del oro del mundo es recuperado por este proceso. Se debe trabajar con soluciones clarificadas (libres de impurezas).

Existen modificaciones para favorecer el proceso de cementación con zinc, así, adicionar sales de plomo, para limpiar la superficie del zinc y aumentar el área de depósito del oro.

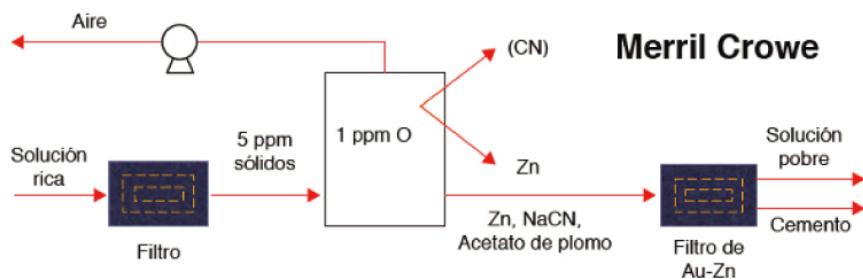
Se utilizan láminas de Zn en lugar de viruta, para aumentar el área de contacto y no realizar ningún tipo de pretratamiento para la eliminación del oxígeno disuelto, pero aumenta el consumo de zinc.

Hay veces que se utiliza la desaireación de la solución, para reducir la cantidad de oxígeno disuelto a valores menores a 0.5 mg/L. El proceso más ampliamente utilizado en instalaciones industriales tecnificadas, se conoce como Merril-Crowe.

Mecanismo de la cementación con Zinc



Proceso Merrill - Crowe



ADSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado adsorbe oro y plata, aunque también puede adsorber otras sustancias dependiendo de su concentración y pH y presenta la ventaja de que se adsorbe aun cuando la solución tiene una baja concentración de oro.

Existen tres tipos de tratamientos con carbón activado:

Carbón en pulpa (CIP): A la solución obtenida a partir de cianuración, se le agrega carbón activado.
 Carbón en columna (CIC): Se construye una columna empacada de carbón activado, es aplicable para soluciones claras que se deben alimentar a un banco de tanques en contracorriente.

Carbón en lixiviación (CIL): Consiste en agregar carbón activado mientras se da la cianuración. Se debe contar con una agitación, pero esto ocasiona que el carbón se desgaste y que el tamaño de partícula disminuya.

Condiciones Operativas para un Proceso de Adsorción en Carbón Activado

Se debe tener en cuenta los factores que afectan al proceso.

Tipo y tamaño de carbón

Del tipo de carbón depende la capacidad de adsorción y la resistencia al desgaste que presenta, mientras que el tamaño de partículas influye en la velocidad de adsorción, si disminuye el tamaño de partícula, aumenta la velocidad de adsorción.

Temperatura

Este es un proceso exotérmico, al aumentar la temperatura disminuye la capacidad de adsorción, y puede ocasionar el proceso inverso de desorción.

Oro en solución

A mayor concentración de oro, la capacidad de carga y adsorción aumentan.

Concentración de cianuro libre

La presencia de cianuro libre provoca una disminución en la velocidad de adsorción y la capacidad de carga del carbón, porque genera una competencia con el proceso de cianuración.

pH

Un pH bajo permite velocidades de adsorción y capacidades de carga altas, pero por la presencia de cianuro se debe trabajar con el pH no menor a 10 para evitar liberación de ácido cianhídrico.

Concentración de plata

Si el mineral presenta una alta concentración de plata, disminuye la eficiencia de recuperación de oro, porque se produce una competencia entre la plata y el oro por los sitios activados del carbón.

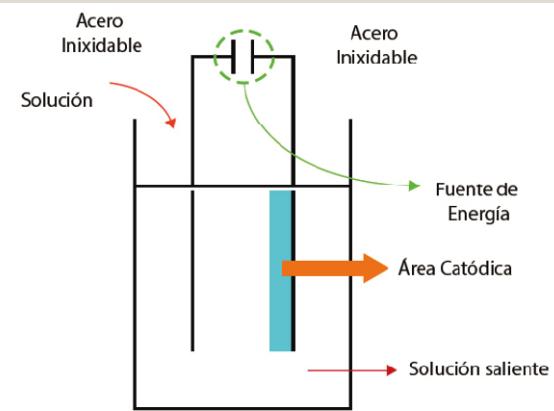
ELECTRORECUPERACIÓN

Es un proceso en el que se requiere aplicar energía eléctrica para que se produzca la deposición del oro.

El sistema consta de electrodos y una celda, que para el caso de la recuperación de oro es de acero inoxidable. La solución preñada se coloca en la celda, expuesta a una fuente de corriente continua.

Una buena deposición consiste en la formación de capas sobre el cátodo.

Se pueden emplear varios electrodos dentro de una misma celda para tener una mayor deposición, pero siempre se debe adicionar un ánodo extra para aprovechar al máximo el área catódica.



Condiciones Operativas para la Electrodepositación

Las variables que se deben considerar son:

- Potencial**, permite verificar qué material se va a depositar.
- Densidad de corriente**, en función de la intensidad de corriente determina la velocidad de recuperación.

PIROMETALURGIA

Fundición de oro

Es una operación que se usa para la recuperación o extracción de oro, para lo cual se deben añadir otros reactivos que permitan manejar las altas temperaturas con las que se debe trabajar.

Las fases que se aprecian en el proceso de fundición son:

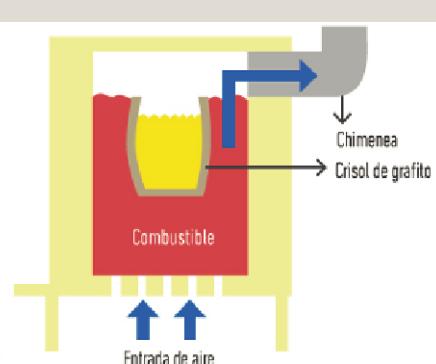
- Fase Metálica**: Se caracteriza por ser altamente densa, contiene los metales preciosos.
- Fase Escoria**: Es una solución de óxidos, silicatos y boratos, favorece la extracción de metales preciosos.

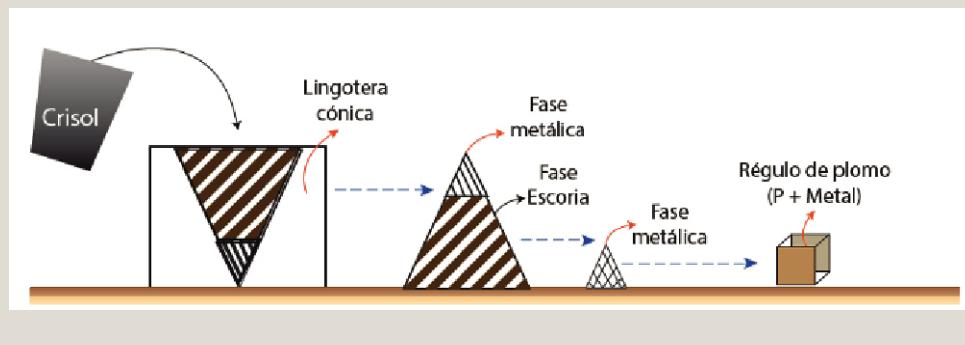
El mineral se mezcla con la carga fundente, compuesto de:

- Carbonato de sodio (Na_2CO_3)**: Ayuda a disminuir la temperatura de fusión y a la homogenización de la mezcla.
- Óxido de silicio o Sílice (SiO_2)**: Este reactivo se mezcla con los óxidos metálicos y forma silicatos que pasan a conformar la escoria y favorecen la separación.
- Tetraborato de sodio o bórax**: Da lugar a la formación de la escoria pues genera boratos, además disminuye la viscosidad de la escoria.

Luego de la fundición, en el crisol se tiene el fundido, que se vierte rápidamente en una lingotera cónica de modo que la mezcla se enfría y decantan los metales pesados.

| RIESGOS | MEDIDAS DE SEGURIDAD |
|---|--|
| Inhalación de polvos de calcinas y fundentes. | Uso de mascarillas para polvo. |
| Quemaduras con herramientas calientes, moldes y salpicaduras con escoria fundida. | En general se usan delantales y guantes de asbesto, botas y caretas. |
| Astillas de escoria sólida y pedazos fluidos de escoria. | Caretas y guantes de asbesto |
| Quemaduras con ácido | Debe usarse guantes de caucho, ropa a prueba de ácido, caretas y respiradores. |





REFINACIÓN DE ORO

El objetivo de la refinación es eliminar los metales que contaminan el oro y lograr una barra con una pureza del 99,9 %.

Refinación por Ácido Nítrico

Mediante copelación se obtiene el doré que contiene la plata y el oro, luego se ataca con ácido nítrico si el doré tiene mayor cantidad de plata (Ag) que Oro (Au).

Si el doré tiene más de 25 % de Oro (Au) se debe realizar un encuarte, que consiste en la adición de plata al doré en una proporción de 3 a 1, para luego volver a proceder con la fusión y se prepara nuevamente la carga fundente (Bórax , Na_2CO_3 , SiO_2) y se vuelve a copelar. Con esto se obtiene un nuevo doré con más plata, al final se añade ácido nítrico (HNO_3) para disolver la plata.

La recuperación del Au se realiza en una celda electrolítica, donde se usa una solución de cloruro de oro (AuCl_4^-) para recuperar el oro (Au) que se depositará en el cátodo. Mediante este proceso se obtiene un oro con 99,99 % de pureza.

Por agua regia

Se conoce como agua regia a la mezcla de ácido clorhídrico y ácido nítrico, esta mezcla disuelve todos los metales, a partir de sulfuros y óxidos, a excepción del SiO_2 .

El procedimiento que se debe seguir es el siguiente:

- Se pesa 50 g de muestra de oro.
- Se añade 100 cm³ de solución de $\text{HNO}_3(\text{c})$ y 300 cm³ de solución de $\text{HCl}(\text{c})$.
- Se calienta a 40-60 °C hasta completar la disolución de la muestra metálica. (La presencia de vapores de color rojo-marrón es indicativo de la acción oxidante del agua regia).
- Si todavía hay presencia de muestra metálica en el vaso, agregar los dos ácidos concentrados, en la proporción antes indicada (1:3) (v:v).
- Proseguir con la disolución de la muestra metálica hasta que esta desaparezca por completo.
- El único residuo permitido es un sólido insoluble blanco (SiO_2).
- Generalmente, el oro es precipitado con FeSO_4





CAPÍTULO V

**SEGURIDAD Y
SALUD
OCUPACIONAL**

CAPÍTULO V

SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Está referido a la gestión de los riesgos laborales con el fin de evitar accidentes y enfermedades relacionadas con el trabajo en general. Por lo que es necesario identificar y evaluar los peligros evidentes en los lugares de trabajo, así como la implementación de las medidas de prevención y control, y la difusión de buenas prácticas en los procesos.

La seguridad y salud ocupacional impacta en la calidad de vida de los trabajadores, así como en la productividad de las operaciones, por lo que la implementación de un sistema de seguridad y salud ocupacional se puede traducir en beneficios relacionados a la protección de los trabajadores, cumplimiento de la ley, mejora de la productividad y la reducción de costos.

Los elementos a considerar en la implementación de un sistema de seguridad y salud ocupacional son:

1. Determinación de los riesgos

Es importante identificar y evaluar los peligros presentes en el lugar de trabajo, como el primer paso hacia la implementación efectiva de la seguridad y salud ocupacional. Esto implica realizar inspecciones regulares, evaluar los riesgos y documentarlos adecuadamente.

2. Ejerce una planificación y control

Un plan de acción para controlar los riesgos identificados es esencial. Esto puede incluir la implementación de medidas de control, como el uso de equipos de protección personal, la modificación de procesos de trabajo peligrosos y la capacitación adecuada para los empleados.

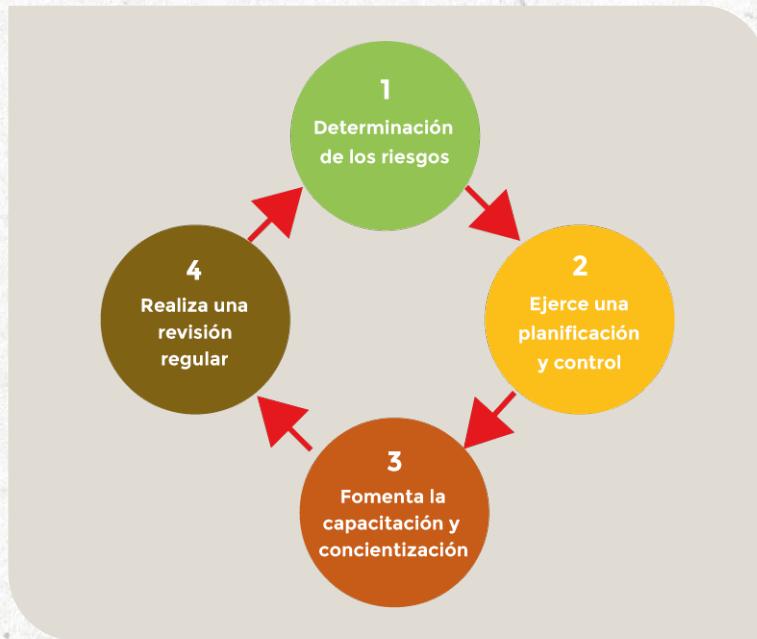
3. Fomenta la capacitación y concientización

La capacitación y concienciación de los empleados es clave para garantizar la seguridad y salud ocupacional. Los trabajadores deben estar informados sobre los riesgos presentes en su entorno de trabajo, así como las medidas de prevención y los procedimientos de emergencia.

4. Realiza una revisión regular

El monitoreo regular de las medidas de seguridad y salud ocupacional es fundamental para garantizar su efectividad. Se deben realizar inspecciones periódicas, investigar incidentes y revisar y actualizar las políticas y procedimientos según sea necesario.

Tomado: Universidad Autónoma del Perú, <https://www.autonoma.pe/blog/seguridad-y-salud-ocupacional/>



Conceptos básicos en seguridad

- Seguridad minera:** Es un conjunto de técnicas y conocimientos utilizados para prevenir lesiones y afecciones a la salud de las personas que trabajan en la actividad minera.
- Salud minera:** Es el completo estado de bienestar físico, mental y social de la persona que trabaja en la actividad minera.
- Peligro:** Fuente o situación con cierto potencial de causar lesiones y daños a la salud.
- Incidente:** Suceso o sucesos relacionados con el trabajo que involucran un daño o deterioro de la salud, sin tener en cuenta la gravedad o la fatalidad.
- Riesgo:** Combinación de la probabilidad de que ocurra un suceso o exposición peligrosa y la severidad del daño o deterioro de la salud que puede causar el suceso o exposición.
- Factores de riesgo:** Se les denomina factores de riesgo a las condiciones del trabajo o acciones de los trabajadores que pueden generar un accidente o enfermedad laboral.
- Severidad:** Indica el grado del daño que se puede producir al trabajador si el riesgo se materializa.
- Probabilidad:** Posibilidad de que el riesgo se materialice en las condiciones existentes.
- Accidente de trabajo:** Todo suceso inesperado que ocasiona al trabajador una lesión corporal, mental o la muerte, al realizar su trabajo. La característica del accidente es que sucede en forma rápida.

Enfermedades laborales: Es una enfermedad que se genera por el trabajo que se realiza o que se ha realizado. La característica de la enfermedad es que sucede de forma lenta.

Tomado de Aspectos Generales de Seguridad y Salud de los Trabajadores en actividades mineras subterráneas, Instituto de Investigación Geológico y Energético de Ecuador.

Factores de Riesgo:

Los riesgos identificados en las actividades mineras son:

1. Riesgo mecánico

Es el conjunto de factores físicos que pueden desencadenar en una lesión por la acción mecánica de maquinaria, herramientas o materiales proyectados, tales como el atrapamiento, aplastamiento, golpes y quemaduras durante el trabajo con maquinaria (martillo perforador, winches, carritos mineros, locomotora) y herramientas.

Medidas preventivas

- Coloque protección en las partes móviles de la maquinaria (Ejemplo, engranajes, tambor de cables, cabrestantes, poleas, etc.).
- No manipule maquinaria sin conocer cómo operarla debidamente.
- No ingrese a la maquinaria si la misma está en funcionamiento.
- Utilice su equipo de protección personal (casco, linterna, guantes, ropa de trabajo, chaleco visible, protección de los pies).



2. Riesgo físico

Son todos aquellos factores ambientales que dependen de las propiedades físicas de los cuerpos, que actúan sobre el trabajador y que pueden producir efectos nocivos, de acuerdo con la intensidad y tiempo de exposición.

Los riesgos físicos pueden ser:

Caída de rocas o planchones

Ocurren por inestabilidad del macizo rocoso debido a que las características de las rocas del contexto de la excavación, originan el colapso o falla del macizo por la acción de la gravedad.

También influye la forma y dimensiones de la excavación, aspectos operacionales como sobrexcaevación debido a voladuras mal diseñadas.

Medidas preventivas

- Construir galerías con ancho y altura adecuados.
- Fortificar en forma correcta las galerías.
- Acuñar en forma exhaustiva.
- Inspeccionar siempre la fortificación y acuñadura.
- Utilizar el equipo de protección personal (casco, botas, gafas, guantes, chaleco visible y linterna

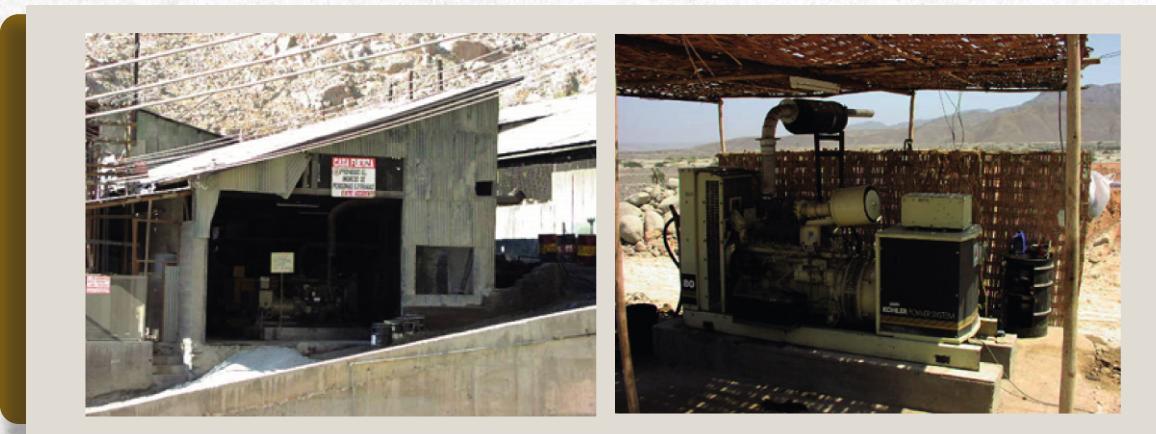


3. Riesgo eléctrico

Es la exposición a la electricidad o la probabilidad de que se electrocute y la consecuencia de que sufra quemaduras o la muerte.

Medidas preventivas

- Antes de trabajar en toda instalación, conductor o cable eléctrico, comprobar la ausencia de voltaje con aparato adecuado (multímetro).
- No realizar trabajos eléctricos sin estar capacitado y autorizado para ello. La reparación y modificación de instalaciones y equipos eléctricos es única y exclusivamente competencia del personal de mantenimiento o electricista.
- Preste atención a los calentamientos anormales en motores, cables, paneles de control y equipos y, notifíquelos para revisión inmediata.
- Si trabaja con máquinas o herramientas alimentadas por tensión eléctrica debe aislarse utilizando equipos y medios de protección individual certificados (guantes dieléctricos, casco, gafas o pantallas, botas dieléctricas).



El ruido

Es un sonido no deseado y molesto que llega a nuestro oído; y puede ser generado por el funcionamiento de maquinaria, aglomeración de personas, entre otros.

En una jornada de trabajo de 8 horas, el ruido no debe sobrepasar los 85 decibeles (dB). El ruido se lo mide con un equipo sencillo llamado sonómetro (Decreto Ejecutivo 2393, 1986).

Cuando el ruido es excesivo, es capaz de hacer que se pierda la audición, al lesionar para siempre los nervios del oído.

Además, si hay ruido excesivo no se puede escuchar a las otras personas, ni tampoco se puede estar alerta si hay un peligro cerca.

En las actividades mineras subterráneas el ruido excesivo está presente en la perforación de barrenos.

Medidas preventivas

- Utilizar equipos que funcionen a electricidad y no a diésel o técnicas que disminuyan el ruido; como ubicarlos en sitios cerrados.
- Realizar un examen audiométrico periódico a las personas que se exponen al ruido.
- Tener un adecuado sistema de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.
- Realizar audiometrías a los trabajadores expuestos, ya que con ello sabremos el nivel de sensibilidad de los oídos de cada uno, algunas personas son más sensibles al ruido que otras.
- Medir de forma periódica el nivel de ruido en las labores mineras a fin de comprobar que se mantengan los niveles de ruido bajo control.
- Utilizar equipos de protección auditiva (orejeras), que reduzcan un mínimo de 20 decibeles (dB) el nivel de ruido.

Vibraciones

Son las producidas por equipos que transmiten a alguna parte del cuerpo el movimiento oscilante, por esta razón se debe cumplir con los valores que se indican a continuación.

a. Para exposición a vibración en Cuerpo Completo: el valor máximo de la aceleración en 8 horas de trabajo es 0,5 m/ s². (ISO 2631-2, 2011).

Límites permisibles para vibraciones mano-brazo

| Duración total diaria de la exposición | Valores a no exceder por el componente de la aceleración oscilante m/s ² |
|--|---|
| 4 horas a menos de 8 horas | 4 |
| 2 horas a menos de 4 horas | 4 |
| 2 horas a menos de 4 horas | 4 |
| Menos de 1 hora | 4 |

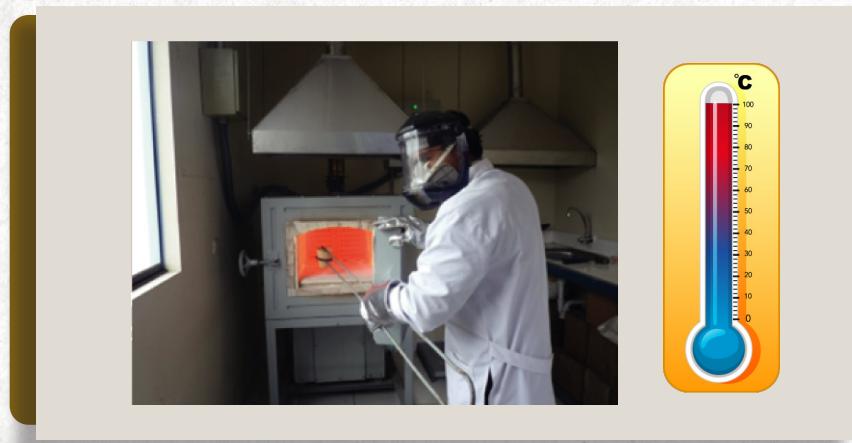
b. Para exposición a vibración en Mano-Brazo, los valores máximos se muestran en la Tabla de límites permisibles para vibraciones mano-brazo.

Temperatura

Los principales riesgos debido a temperatura son:

- a. Por contacto directo de fuentes calientes o frías.
- b. Por estrés térmico (ambientes calurosos o fríos).

En lugares de trabajo donde se supere las temperaturas inferiores a -29.4°C y superior a 32.5°C debe tomarse medidas preventivas como: periodos de descanso dentro del turno de trabajo, suministros de agua para beber no menos de 600 ml por hora de trabajo, aclimatación, tabletas de sal, a fin de controlar la fatiga, deshidratación y otros efectos sobre el personal.



Iluminación

Una iluminación adecuada es esencial para realizar un trabajo con eficiencia y precisión, lo que resulta en una mejora tanto en la cantidad como en la calidad del trabajo, al mismo tiempo que reduce la carga y la fatiga visual. La ausencia de una iluminación adecuada, especialmente en entornos subterráneos, requiere una atención especial para prevenir posibles incidentes o accidentes.

Iluminación mínima requerida en trabajos mineros subterráneos

| Iluminación | Actividades |
|--|---|
| Mínima 20 Luxes Focos de 40 W en adelante para iluminar 1 m ² | Cruceros, socavones y galerías principales |

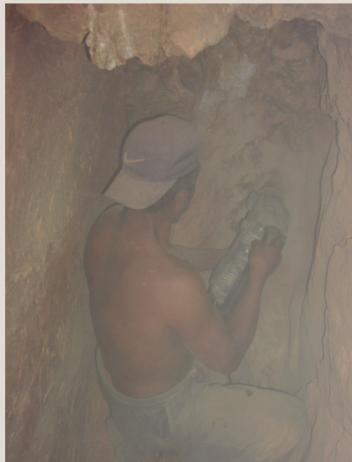
3. Riesgo químico

El riesgo químico es ocasionado por materia inerte (no viva) que se presenta en forma de polvos minerales y gases.

Polvos minerales

La exposición a polvos minerales se da en la mayoría de actividades que se desarrollan en una mina, a los que están expuestos los trabajadores que intervienen en la perforación, voladura, el transporte entre otros.

La enfermedad que surge de la inhalación repetida de polvo se denomina neumoconiosis que es una afección del aparato respiratorio; cuando el trabajador está expuesto un tiempo prolongado a aire con partículas de sílice puede desarrollar una enfermedad conocida como silicosis.



Medidas preventivas

- Aislar o disminuir la producción de polvo en la extracción del mineral mediante la aspersión con agua.
- Utilizar técnicas de perforación con inyección de agua.
- Proveer de una adecuada ventilación de las labores mineras.
- Utilizar mascarillas de protección personal.

Gases

Son elementos o compuestos químicos que en condiciones normales de presión y temperatura se encuentran en ese estado.

Los principales gases presentes en las explotaciones mineras son:

- Gases de escape de los motores a diesel:

Contienen sustancias químicas nocivas, incluyendo partículas tóxicas muy pequeñas y gases peligrosos como el monóxido de carbono, el monóxido de nitrógeno, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre; el componente principal de los gases de diésel es el hollín.

- Gases de voladura:

Se forman por la detonación de la sustancia explosiva, los gases que se forman son el monóxido de carbono, dióxido de carbono, gases nitrosos, anhídrido sulfuroso. En la siguiente tabla se presenta los límites máximos permisibles de estos gases.

Valores máximos de concentración admisible para una jornada de 8 horas de trabajo

| Gases | Valor máximo de concentración admisible |
|-----------------------|---|
| Monóxido de carbono | CO |
| Dióxido de carbono | CO ₂ |
| Monóxido de nitrógeno | NO |
| Dióxido de nitrógeno | NO ₂ |
| Anhídrido sulfuroso | SO ₂ |

En minas subterráneas se debe contar con un plan de control que indique los gases a monitorear, el sistema de monitoreo (continuo, periódico) y frecuencia de las mediciones en función del tipo de gas.

El sistema de ventilación de la mina debe diluir la concentración de los gases por debajo de las concentraciones máximas permisibles.

4. Riesgo biológico

Es la posible exposición a microorganismos que provocan enfermedades, motivadas por la actividad laboral. Su transmisión puede ser por vía respiratoria, digestiva, sanguínea, piel o mucosa.

Vía dérmica y vía respiratoria:

A través de la inhalación y a la exposición de ambientes que presentan agentes biológicos tales como: mohos, hongos, bacterias.

Vía digestiva:

Se realiza cuando el riesgo biológico ingresa por la boca, continúa por el esófago, estómago, hasta llegar a los intestinos, como por ejemplo al ingerir alimentos que no se encuentran bien preparados o con las condiciones de aseo necesarias, bebidas o fumar en el puesto de trabajo.

Vía parenteral:

Cuando el ingreso de bacterias y más elementos contaminantes ingresan por contacto con heridas que no han sido protegidas debidamente.

La falta de aseo e higiene alrededor de una labor minera subterránea puede favorecer la presencia de parásitos y animales portadores de enfermedades como por ejemplo las ratas.

Medidas preventivas

- Controlar adecuadamente y permanentemente la limpieza y aseo de las instalaciones y lugares de trabajo.
- Realizar campañas de vacunación preventiva acorde a los lugares donde se desarrollan los trabajos.
- Efectuar exámenes periódicos de la salud de los trabajadores.
- Ubicar sanitarios en los diferentes niveles de la mina, que cuenten con un sistema de tratamiento de los efluentes cloacales.
- Tratamiento inmediato de pequeñas heridas y rasguños, para evitar infecciones.

5. Riesgo Ergonómico

Son las características de la tarea o del puesto de trabajo que aumentan la probabilidad de que una persona expuesta a estas pueda desarrollar una lesión en su trabajo.

La ergonomía estudia:

- Los esfuerzos físicos
- Las posturas de trabajo
- La manipulación de cargas
- Los movimientos repetitivos



La posición de pie (parado-erguido) implica una sobrecarga de los músculos de las piernas, espalda y hombros, que no solo hace que el trabajo sea más pesado y desagradable, adelantando la aparición del cansancio; sino que puede desencadenar en afecciones serias de la columna, hombros y rodillas.

Cuando se realiza esfuerzo físico, se desarrolla actividad muscular, consumiendo energía y aumentando el ritmo cardiaco. Existen dos tipos de trabajo muscular el dinámico y el estático.

Trabajo muscular estático:

Cuando los músculos se encuentran contraídos por un determinado tiempo. Por ejemplo, la perforación de rocas.

Trabajo muscular dinámico:

Cuando los músculos se tensionan y relajan en forma frecuente. Por ejemplo, cuando se carga, se descarga o transporta mineral en carritos mineros.

Medidas preventivas

- No realice trabajos en posiciones forzadas e incómodas.
- Si tiene que realizar un trabajo que implique alzar los brazos, es mejor que usted se coloque a la misma altura o un poco más arriba, de esta forma tendrá que hacer un esfuerzo menor.
- En todo caso entre menos altura tenga que levantar los brazos es mejor.
- Para que no se canse muy rápido, alterne la posición de su cuerpo con otras posturas como la de sentado.
- Combinar dos tipos de trabajo muscular es la mejor manera de prevenir lesiones.



6. Riesgo psicosocial

Son todas las situaciones y condiciones del trabajo que se relacionan con el tipo de organización, el contenido del trabajo y la ejecución de la tarea, los mismos que inciden en forma negativa en el bienestar como el estrés, acoso y malestar físico que sufren los trabajadores.

Las características nocivas del trabajo, las podemos identificar a través de cinco dimensiones:

- Exceso de exigencias psicológicas:** Cuando hay que trabajar rápido o de forma irregular, cuando el trabajo requiere que escondamos los sentimientos, callarse la opinión, tomar decisiones difíciles y de forma rápida.
- Falta de influencia y de desarrollo:** Cuando no tenemos margen de autonomía en la forma de realizar nuestras tareas, cuando el trabajo no da posibilidades para aplicar nuestras habilidades y conocimientos o carece de sentido para nosotros, cuando no podemos adaptar el horario a las necesidades familiares, o no podemos decidir cuándo se hace un descanso.
- Falta de apoyo y de calidad de liderazgo:** Cuando hay que trabajar aislado, sin apoyo de los superiores o compañeros y compañeras en la realización del trabajo; con las tareas mal definidas o sin la información adecuada y a tiempo.
- Escasas compensaciones:** Cuando se falta al respeto, se provoca la inseguridad contractual, se dan cambios de puesto o servicio contra nuestra voluntad, se da un trato injusto, o no se reconoce el trabajo, el salario es muy bajo, etc.
- Doble jornada:** Jornadas de campo muy largas y descansos muy cortos.

Equipos de Protección Personal

Un equipo de protección personal (EPP) es aquel elemento que se usa para protección del trabajador ante los distintos riesgos que pueden afectar su salud y seguridad. Los EPP deben cumplir con especificaciones técnicas que garanticen su eficiencia.

Un equipo básico de protección personal está constituido por:

- Casco de seguridad:** Para evitar daños por riesgo de caída de rocas y materiales.
- Guantes protectores:** Se seleccionan de acuerdo al tipo de trabajo a realizar, como el manejo de herramientas, productos químicos, riesgo eléctrico, entre otros.
- Calzado de seguridad:** Botas de goma (caucho) o botines con puntera reforzada.
- Protección auditiva:** Los más aconsejables son los protectores de copa por su nivel de atenuación e higiene, aunque en algunos casos es necesario adicionar los protectores tipo tapón.

- Protección ocular:** Emplear gafas o lentes adecuados al riesgo al que estará expuesto el trabajador, como proyección de partículas y salpicaduras de productos químicos.
- Protección respiratoria:** Utilizar semi máscara con filtro eficaz para retener polvo.
- Iluminación:** Usar lámpara o linterna para fijar en el casco.

(Tomado de Aspectos Generales de Seguridad y Salud de los Trabajadores en actividades mineras subterráneas, Instituto de Investigación Geológico y Energético de Ecuador).



Equipos de Protección Personal







CAPÍTULO VI

**GESTIÓN DE
RESIDUOS**

CAPÍTULO VI

GESTIÓN DE RESIDUOS

Los residuos sólidos son sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido que se generan posterior a una actividad y que deberán ser dispuestos de manera que no generen riesgos para la salud o al ambiente y deben ser manejados a través de un sistema que incluya los siguientes procesos:

- Recolección
- Segregación
- Valorización
- Aprovechamiento

En la actividad minera se tienen diversos tipos de residuos que deben ser gestionados, tales como:

Residuos orgánicos

Que pueden ser tratados para su posterior uso como abono orgánico para huertos y programas de revegetación.

Residuos de cartón, papel y botellas de plástico (PET)

Programas de reciclaje de colegios o municipalidades, lo cual permitiría fortalecer la imagen de la empresa como agente participativo en el cuidado del ambiente.

Residuos de chatarra, llantas, tuberías de polietileno y jebes

La chatarra es un recurso que puede ser muy bien utilizado por los comercializadores, por lo que puede significar un buen ingreso, respecto a las llantas y plásticos, pueden ser entregados a los recicladores o para programas que se dedican al segundo uso de este tipo de productos. Los productos con menos valor comercial pueden ser dispuestos en los botaderos lo cual también fortalecerá la imagen de la empresa como correcto agente participativo en la gestión de los desechos.

Los aceites usados y baterías

Son productos muy contaminantes; no obstante, pueden ser comercializados luego de un buen almacenamiento o entregados a organizaciones que estén interesadas en la gestión de este tipo de residuos.

Es importante tomar en cuenta a las 3R que consisten en Reducir , Reutilizar y Reciclar.



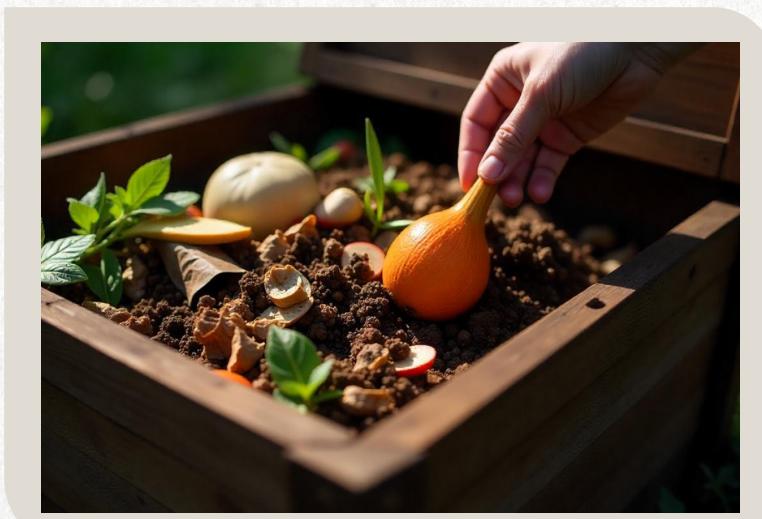
Reducir

A través de la reducción del consumo de bienes o de la energía que se emplea para fabricarlos, se reduce el impacto del ser humano en el medioambiente.

Reutilizar

Consiste en generar nuevas oportunidades para los productos, de forma que permitan ahorrar recursos al planeta y posibilitar la generación de redes de comercio sostenibles.

Es decir, si aprovechamos productos al acabar su vida útil, dándole otra función, no tendrán impacto en el medio o este será lo más reducido posible.



Convertir desechos de comida y del jardín en compost casero, es una forma de reducir residuos.

Reciclar

Si se recicla el vidrio, el papel o el plástico, se ahorran recursos naturales puesto que, al usar esos productos como parte de la materia prima, se evitará una mayor explotación de las mismas.



Escombrera

Se denomina escombrera o terrero a toda aquella acumulación técnica de materiales sólidos de granulometría variable procedentes de procesos mineros (estériles rocosos), considerados como residuos.

En la minería se produce material que al no tener valor económico se puede disponer en áreas de acopio, los que serán destinados para la acumulación de los materiales estériles.

Consideraciones para el cierre de una escombrera o botadero de estériles:

- El botadero debe diseñarse de manera técnica, tomando consideraciones de espacio, en función del material que se va a extraer, además de considerar medidas complementarias para su cierre.

- Construcción de zanjas interceptoras y canales evacuadores de aguas lluvia para el manejo de las escorrentías superficiales para evitar infiltraciones y el transporte de contaminantes, cuando se justifique, así como la formación de drenaje ácido de roca (ADR).
- Estabilización de taludes para evitar la ocurrencia de fallas locales, que puedan afectar pequeñas áreas al pie de los botaderos (p.ej., construcción de un muro al pie del talud); corregir o modificar pendientes de taludes que sean deficientes o inestables; construir zanjas en corona para evitar erosión hídrica.
- Cobertura superficial en zonas lluviosas y cuando se justifique, para evitar desestabilizaciones o drenajes que pudieran ser perjudiciales, aplicar recubrimiento con suelos y/o arcillas para evitar infiltración de aguas.
- Compactación y definición de pendientes de superficie en zonas lluviosas y cuando sea necesario, nivelar la superficie expuesta, compactar y adecuar pendientes para permitir el escurrimiento de aguas hacia uno o más costados y de esta forma evitar desestabilizaciones.
- Tras la estabilización de los taludes, es necesario cubrir y extender con suelo y revegetar, ya que es un método protector e integrador de estos en el medio ambiente, además permite estabilizar los materiales más superficiales, pues produce una desecación por efecto de la evapotranspiración, reduce la filtración del agua y refuerza el terreno con las raíces.
- Previo al extendido de la tierra vegetal, es necesario proceder al escarificado de las superficies por donde ha circulado algún tipo de maquinaria, ya que el peso de esta habrá dado lugar a una compactación de los materiales que impedirá en muchos casos la penetración y desarrollo de las raíces de las plantas.

Generación de drenaje ácido

Los drenajes ácidos de antiguos minados de minería metálica son una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo. Debido a que este problema puede persistir durante décadas e incluso cientos de años una vez finalizado el ciclo productivo, existe la necesidad de prevenir su formación y aplicar el tratamiento más adecuado cuando se ha formado (Aduvire, 2006). En actividades mineras las principales fuentes de generación de drenajes son:

- Labores subterráneas
- Minas a cielo abierto
- Vertientes naturales
- Acopio de estériles
- Pilas de lixiviación
- Depósitos de relaves

Drenaje ácido de origen natural

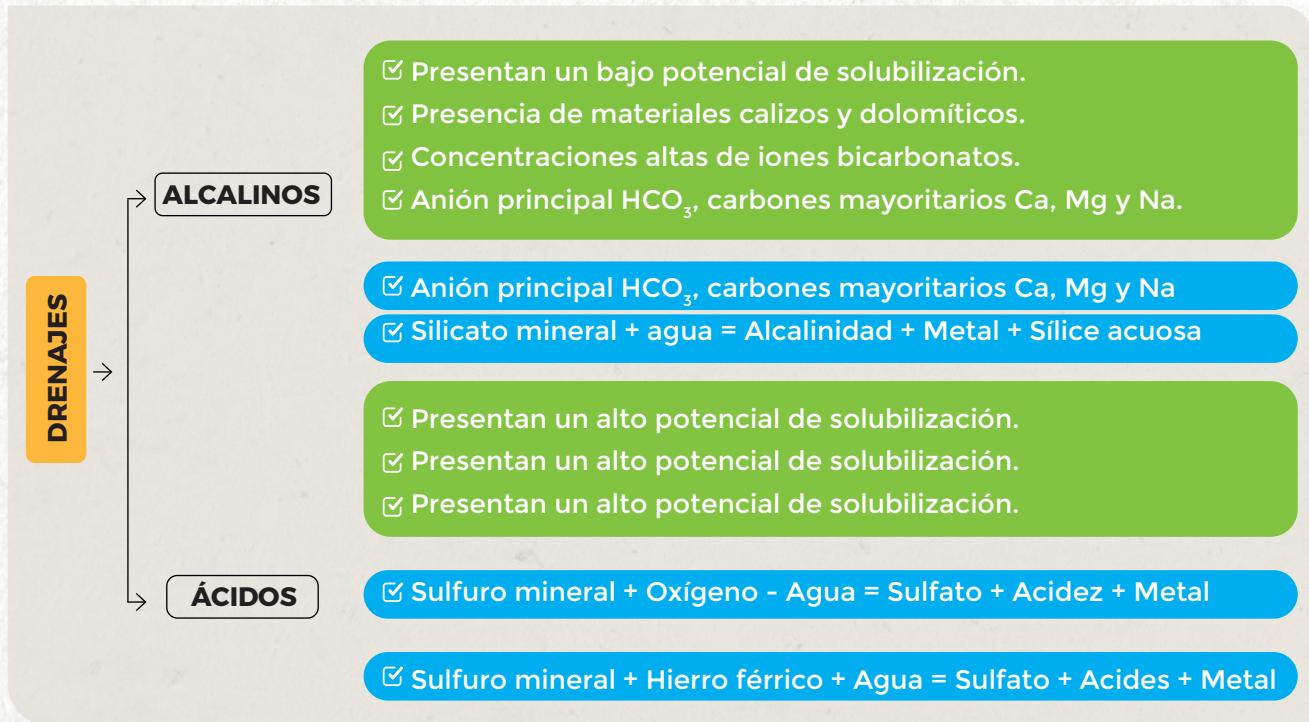
El drenaje de roca ácida (DRA) es un proceso natural a través del cual el ácido sulfúrico se produce cuando los sulfuros metálicos de las rocas son expuestos al oxígeno presente en el aire y al agua, generando un medio ácido, en el cual se encuentran presentes metales disueltos. Este medio lixivia la roca (descompone y remueve algunos componentes), mientras que la roca fuente esté expuesta al aire y al agua. Este proceso continúa hasta que los sulfatos sean extraídos completamente; este es un proceso que puede durar cientos, o quizás miles de años.

Drenaje ácido generado en actividades mineras

El drenaje ácido de mina (DAM) es la consecuencia de la oxidación de algunos sulfuros minerales (pirita, pirrotita, marcasita, etc.) en contacto con el oxígeno del aire y agua.

En el caso de las labores subterráneas, el agua superficial oxigenada accede al macizo rocoso a través de infiltraciones favorecidas por su permeabilidad primaria, pero especialmente por estructuras como diaclasas, fallas o fracturas de subsidencia, exponiendo minerales sulfurosos al aire, agua, procesos microbianos y oxidación, lo cual produce drenaje ácido de mina.

TIPOS DE DRENAJES



Para determinar el tipo de drenaje es necesario hacer un estudio detallado de las condiciones físicas del medio, el clima del lugar y una caracterización de los efluentes de mina, para ello, se realizan muestreos de agua y sedimentos para su análisis en laboratorio y determinar las concentraciones metálicas presentes, también se recurre a la medición in-situ de parámetros como: pH, contenido de oxígeno, potencial redox, conductividad eléctrica, temperatura, Fe, acidez/alcalinidad, turbidez y otros.

Características de un DAM

Presencia de minerales sulfurosos: pirita, pirrotita, marcasita, galena, calcopirita, entre otros.

- Bacterias y temperatura: thiobacillus, ferroxidans, metallogenium.
- Agua o humedad de la atmósfera y presencia de hierro.
- Oxidante, oxígeno proveniente del aire.

Características físico-químicas

- pH bajo (valores de pH entre 5 y 1,5); asociado a una acidez creciente en el tiempo y una alcalinidad decreciente.
- Concentraciones elevadas de: Fe, As, Co, Cd, Cu, Cr, Pb, Zn; y sulfatos
- Distintos colores (suspensión productos de reacciones de precipitación asociadas a los iones disueltos).
- Color café rojizo (ión Fe (III))
- Color azul verdoso (Fe(II))



Problemática ambiental del DAM

- Disminución de la calidad del agua, haciéndola inadecuada para el consumo humano y otros usos.
- Alteración o eliminación de las comunidades biológicas naturales existentes en los cursos de agua.
- Alteración a la calidad del suelo por acumulación de metales.
- Pérdida de fauna acuática.
- Riesgos de bioacumulación

Tratamiento de DAM

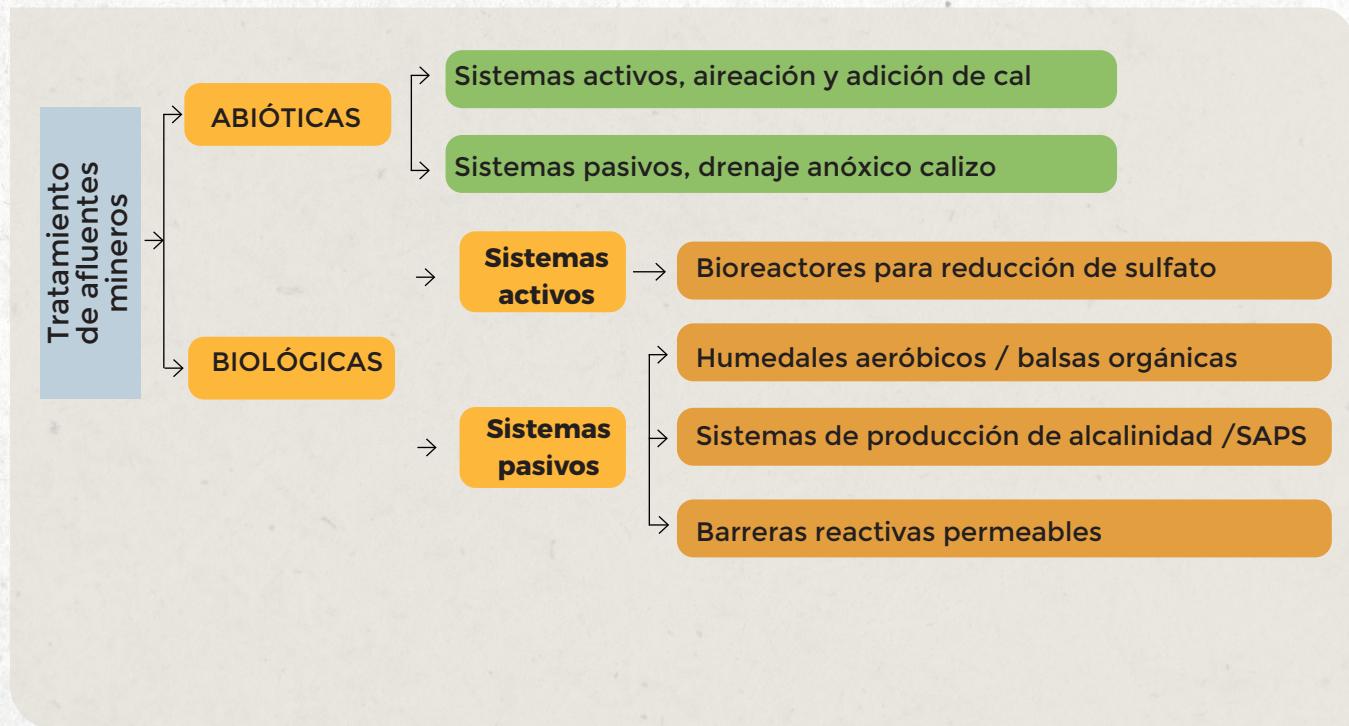
El control de los drenajes ácidos comprende dos conjuntos de actuaciones, unas de tipo preventivo y otras de carácter correctivo. Las preventivas se refieren a la adopción de medidas antes del comienzo de las labores extractivas y que son programadas en función al conocimiento del potencial contaminante que poseen los materiales a tratar.

Las medidas correctoras son todas aquellas actuaciones que se llevan a cabo en el momento en que se comprueba que las medidas preventivas no han tenido el efecto deseado y existe la posibilidad de que se generen aguas ácidas, como las que se pueden apreciar en la siguiente figura.

Una forma efectiva de evitar la generación ácida es mediante el control y la eliminación de los parámetros y las condiciones que favorecen la formación de aguas ácidas, mediante la aplicación de las siguientes medidas:

- Restringiendo el ingreso del agua en los residuos expuestos a la meteorización.
- Minimizando la penetración de oxígeno a través del aire o del agua, mediante el empleo de materiales impermeabilizantes vertido.
- Controlando el pH del medio, mediante la adición de materiales alcalinos.
- Empleando bactericidas para inhibir la acción bacteriana a los minerales sulfurosos.

TIPOS DE DRENAJES





REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camprubí A., Albinson T., (2006) – Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo LVIII, núm. 1, 2006, P. 27-81.
- Chaparro, E. (2000) – La llamada pequeña minería: un renovado enfoque empresarial, CEPAL, Santiago de Chile, Serie Recursos Naturales e Infraestructura, 9, 82 p.
- De la Torre, E. (2005) – Operaciones unitarias básicas: apuntes de clase. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 260 p., t.2.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético (2018) - Guía para pequeña minería y minería artesanal. Quito: IIIGE, 215 p. (consulta: enero de 2025) <http://bit.ly/2Jmo5gV>
- Instituto de Investigación Geológico y Energético (2015) – Manual de ventilación, saneamiento y fortificación para la minería artesanal y pequeña minería subterránea, proyecto PMYMA, INIGEMM – Ecuador.
- Loaiza, E. & Calderón, C. (2021) – Actividad minera artesanal en la región Puno. INGEMMET, Boletín, Serie E: Minería, 16, 107 p, 6 mapas.
- Loaiza, E. & Arcos, F. (2024) – Actividad minera artesanal en la zona central del Perú, regiones Pasco, Junín y Huancavelica. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 167 p. INGEMMET, Boletín Serie E: Minería, 18.
- Loaiza, E.; Zárate, H.; Galoso, A. (2008) – Mineralización y Explotación Minera Artesanal en la Costa Sur Media del Perú. INGEMMET, Serie E. Minería, N° 4, 79p., 3 mapas escala 1:500 000
- Londoño, J.; Mojica, J.; Duarte, P.; Abueta, F.; Ramírez, F.; Pantoja, G.; Ruiz, V.; Pérez, V.; González, O.; Franco, L. & Marentes, Y. (2020) - Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio: Frontino, Abriaquí y Cañasgordas (Antioquia). Bogotá: Servicio Geológico Colombiano, 275 p. <https://doi.org/10.32685/9789585295902>
- Marsden, J., & House, I. (2006) – Chemistry of Gold Extraction (2da ed.). Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration.
- Minera Andina y Sociedad, volumen XIX N° 64, Agosto – Setiembre 2023.
- Rodriguez, I., Acosta, J., Tumialán, P., Sempere, T., Bustamante, C., Huanacuni, D.; Villareal, E., Trelles, G. & Torre, J. (2023) – Compendio minería y yacimientos minerales del Perú. INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica, 86, 489 p.
- Rojas, C. & Zúñiga, C. (2021) - Guía de seguridad en actividades mineras subterráneas para pequeña minería y minería artesanal. Quito: Instituto de Investigación Geológico y Energético, 109 p.
- Servicio Geológico Colombiano, Ministerio de Minas y Energía (2020) - Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio: Puerto Libertador (Córdoba). Bogotá: Servicio Geológico Colombiano, 275 p. <https://doi.org/10.32685/9789585295902>
- Servicio Geológico Colombiano (2013) – Guía Metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio del oro sin el uso de mercurio, Andes (Antioquia) – Colombia, 162 p.

Servicio Geológico Colombiano, Ministerio de Minas y Energía (2018) - Guía metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio: Marmato, Riosucio, Quinchía y Caramanta. Bogotá: SGC, 155 p.

Priester, M., Hentschl, T., & Benthin, B. (1993) – Tools for Mining: Techniques and Processes for Small Scale Mining. Lengerich, Germany: Teubner Verlag.

Sitios Web consultados:

Universidad Autónoma del Perú, <https://www.autonoma.pe/blog/seguridad-y-salud-ocupacional/>

Areaciencias, <https://www.areaciencias.com/geologia/el-origen-de-la-tierra/>

EXSA, <https://exsa.net/es/productos/examon-s>

EXSA, <https://exsa.net/es/productos/semexsa>



