

# MANUAL DE MINERIA

## INDICE

### 1. LA INDUSTRIA MINERA Y LOS PROCESOS DE PRODUCCION

- 1.1 Características de la Industria Minera
- 1.2 Tipos de Yacimientos
- 1.3 Características de los principales metales que produce el Perú
- 1.4 Clasificación de las minas

### 2. CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO MINERO

- 2.1 Prospección
- 2.2 Solicitud de Petitorio
- 2.3 Exploración
- 2.4 Evaluación del proyecto (técnica y económica) e impacto ambiental
- 2.5 Desarrollo y Preparación
- 2.6 Construcción
- 2.7 Producción o Explotación
  - 2.7.1 Extracción: minería a cielo abierto
  - 2.7.2 Extracción: minería subterránea
  - 2.7.3 Concentración o Procesamiento metalúrgico
  - 2.7.4 Fundición y Refinación
- 2.8 Cierre y abandono

### **3. MINERIA A CIELO ABIERTO**

#### 3.1 Análisis del Proceso de Perforación

- 3.1.1 Introducción
- 3.1.2 Perforación

#### 3.2 Análisis de los Procesos de Voladura y Carguío

- 3.2.1 Voladura
- 3.2.2 Carguío

#### 3.3 Relaciones Insumo – Producto relevantes

- 3.3.1 Perforación y Voladura
- 3.3.2 Carguío y Transporte

### **4. MINERIA SUBTERRANEA**

#### 4.1 Principales métodos de explotación subterránea

- 4.1.1 Cámaras y Pilares
- 4.1.2 Tajeo por subniveles
- 4.1.3 Cráteres Invertidos
- 4.1.4 Corte y Relleno Ascendente
- 4.1.5 Minado por Almacenamiento Provisional
- 4.1.6 Método de Entibacion con Cuadros
- 4.1.7 Tajeos Largos
- 4.1.8 Hundimiento por Subniveles
- 4.1.9 Hundimiento por Bloques

#### 4.2 Análisis de los procesos de perforación, voladura y carguío

#### 4.3 Relaciones insumo-productos relevantes

- 4.3.1 Perforación y Explosivos
- 4.3.2 Combustible y Fuerza

### 5. CONCENTRACION

#### 5.1 Análisis de los procesos de chancado, molienda y flotación

- 5.1.1 Los tratamientos mineralurgicos
- 5.1.2 Preparación mecánica de los minerales
- 5.1.3 Separación de componentes
- 5.1.4 Tratamiento de la pulpa

#### 5.2 Descripción del Proceso Merrill Crowe para el Oro

- 5.2.1 Método de minado
- 5.2.2 Equipo
- 5.2.3 Almacenamiento de minerales
- 5.2.4 Roca de desmonte
- 5.2.5 Sistema de lixiviación en pilas
- 5.2.6 Chancado
- 5.2.7 lixiviación
- 5.2.8 Manejo de la solución
- 5.2.9 Recuperación del oro
- 5.2.10 Fundición
- 5.2.11 Reactivos

#### 5.3 Relaciones insumo-producto en la Fase de Concentración

- 5.3.1 Relación de consumo de energía y chancado
- 5.3.2 Relación de consumo de energía y molienda
- 5.3.3 Relación entre consumo de electricidad y capacidad de la planta
- 5.3.4 Consumo de fuerza por tonelada de mineral triturado

- 5.3.5 Relación entre consumo de medios de molienda (bolas) y el tonelaje seco tratado
- 5.3.6 Proporción de consumos de energía ene. Proceso de concentración
- 5.3.7 Reactivos de flotación: parte general
- 5.3.8 Reactivos de flotación de los minerales sulfurados de Cobre
- 5.3.9 Reactivos de flotación de los minerales oxidados de Cobre
- 5.3.10 Reactivos de flotación de los minerales sulfurados de Plomo
- 5.3.11 Reactivos de flotación de los minerales de Plomo Oxidado
- 5.3.12 Reactivos de flotación de los minerales sulfurados de Zinc
- 5.3.13 flotación de minerales de Plomo y Zinc
- 5.3.14 Separación de sulfuros de Cobre, Plomo y Zinc
- 5.3.15 Flotación del oro y sus minerales
- 5.3.16 Flotación de minerales de plata
- 5.3.17 Lixiviación de Óxidos de Cobre: el caso Minerales S.A.
- 5.3.18 Datos de consumos relativos a algunas empresas mineras del Perú

## **6. FUNDICION Y REFINACION**

### 6.1 Análisis de los procesos de fundición y refinación

- 6.1.1 Fundición
- 6.1.2 Refinación

### 6.2 Relaciones insumo-producto en las fases de Fundición y Refinación

- 6.2.1 En la Fase de Fundición
- 6.2.2 En la Fase de Refinación

## **7. PERDIDAS Y RECUPERACIONES DEL MINERAL EN CADA FASE DEL CICLO MINERO**

### 7.1 Recuperación – Valoración – Concentrados

- 7.1.1 Factores Técnicos que influyen en la producción
- 7.1.2 Manipulación y Transporte

## 7.2 Relación de concentración

## 7.3 Ejemplos de recuperación de plantas concentradoras

- 7.3.1 Compañía Minera Poli metálica 1
- 7.3.2 Metales S.A.
- 7.3.3 Compañía Minera Poli metálica 2
- 7.3.4 Minas de Plata 1
- 7.3.5 Compañía Minera Exploradora S.A. – Unidad Poli metálica 3
- 7.3.6 Poliminas S.A. Perú – Unidad Cobre 2
- 7.3.7 Sociedad Minera El Poli metálica 4

## 8. TRATAMIENTO DE LOS MINERALES DE ORO

### 8.1 Introducción

### 8.2 Mineralogía: Propiedades de los minerales del Oro

- 8.2.1 Principales minerales portadores
- 8.2.2 Bases del tratamiento de los minerales de Oro

### 8.3 Clasificación mineralurgica de los minerales de Oro

- 8.3.1 Minerales de Oro en los asientos
- 8.3.2 Minerales que tienen oro natural exonerable
- 8.3.3 Minerales con sulfuros de Hierro
- 8.3.4 Minerales con sulfuros de Arsénico o Antimonio
- 8.3.5 Minerales con Telururos de Oro
- 8.3.6 Minerales con Ganga carbonacea
- 8.3.7 Minerales de Oro asociado con los metales de base

### 8.4 Las Técnicas de Base

- 8.4.1 Amalgamación
- 8.4.2 La Gravimetría

8.4.3 La flotación

8.4.4 La Cianuración

## 8.5 Métodos de Recuperación del Oro

8.5.1 Precipitación con Zinc o Aluminio

8.5.2 Absorción con Carbón activado

## 8.6 Tratamiento de Minerales Refractarios a la Cianuración

8.6.1 Oxidación a Presión

8.6.2 Cianuración a Presión

8.6.3 Oxidación Bacterial

## 8.7 Lixiviación con reactivos diferentes al Cianuro

8.7.1 Tiourea – CS

8.7.2 Tiosulfato

8.7.3 Halógenos

## 9. BIBLIOGRAFIA

## 10. ANEXO

## 11. GLOSARIO DE TERMINOLOGIA MINERA

## INTRODUCCION

El presente trabajo pretende ser un instrumento al servicio de la auditoría fiscal practicada por los servicios de la SUNAT sobre el conjunto de empresas mineras.

Si en general es conveniente el conocimiento del negocio por parte del auditor, en el caso de la industria minera, ello deviene imprescindible, por cuanto las peculiaridades del sector son de tal grado que exigen el conocimiento previo de la terminología especial y propia de la minería, así como de sus procesos productivos. Ello es fundamental no solo para las comprobaciones sobre base presunta (que de otro modo serían imposibles de realizar) sino también para las comprobaciones ordinarias sobre base cierta, debido a las peculiaridades fiscales y contables del sector.

El primer capítulo, sirve para tener una idea global de la industria minera y los procesos de producción.

El segundo capítulo introduce al lector en las etapas del ciclo de vida de un proyecto minero, familiarizándolo con la terminología del sector.

A partir del tercer capítulo y hasta el sexto, se realiza un estudio de mayor profundidad, de los procesos productivos implicados en cada etapa relaciones insumo producto relevantes en dicho auditor pueda disponer de un material de consulta (sin perjuicio de que siempre es posible ampliar con bibliografía especializada) cuando se encuentre con problemas técnico-económicos ubicados en alguna de estas fases. Las relaciones insumo producto solo pueden comprenderse si se conoce la finalidad de cada insumo en el proceso productivo.

En el séptimo capítulo, se dan criterios para comprobar las mermas, y analizar los problemas típicos del sector, es decir las pérdidas y recuperaciones de cada fase del ciclo minero.

En el octavo capítulo, se realiza un estudio especial de los minerales de oro, de creciente importancia en Perú y caracterizados por ser objeto de explotación tanto por la gran minería de alta tecnología como por la existencia de pequeña minería, integrada fundamentalmente por pequeñas empresas informales.

Como anexo, se ha incluido un diccionario básico de terminología minera, donde se ha procurado que consten los términos utilizados en el presente manual.

El Manual de Minería se ha centrado fundamentalmente en la minería metálica, que es la que aporta el mayor valor añadido del sector.

## 1. LA INDUSTRIA MINERA Y LOS PROCESOS DE PRODUCCION

### 1.1 CARACTERISTICAS DE LA INDUSTRIA MINERA

- **INDUSTRIA EXTRACTIVA (de recursos naturales no renovables):** Cuando se extraen los recursos minerales estos no se renuevan, por esta razón la minería es una actividad que se maneja con responsabilidad y tecnología para lograr el mayor aprovechamiento de estos recursos escasos. Para lograr este mayor aprovechamiento las empresas mineras tienen como objetivo conseguir la óptima extracción de las reservas minerales con el mayor beneficio económico y con la máxima seguridad de las operaciones.
- **ALTO RIESGO:** El desarrollo de una actividad minera tiene dos etapas importantes previas a la explotación, la primera es la **búsqueda del recurso mineral** que depende de factores técnicos, económicos y de la naturaleza, por esa razón las evaluaciones preliminares muchas veces conducen a evaluar zonas no importantes como para desarrollar un proyecto minero. Además, el negocio minero no solamente consiste en ubicar un depósito mineral sino llegar a determinar en una segunda etapa **que éste sea económicamente explotable**, esta evaluación es función de factores endógenos: calidad del mineral, cantidad del mineral, capital disponible, tecnología a emplear, etc., así como de factores exógenos: precios de los metales, política tributaria, marco legal, etc.
- **CICLO DE VIDA MERCADO POR ETAPAS:** El proceso minero tiene diversas etapas de desarrollo que tendrán un periodo de maduración variable y que depende del capital con el que se cuenta, la magnitud del proyecto, el tipo de mineral, etc. Generalmente la actividad minera es de mediana a larga maduración.
- **LOCALIZACION DETERMINADA** (se ubica donde se encuentra el depósito mineral): Una de las características importantes de la minería y que la diferencia de las demás actividades económicas, es que se desarrolla en donde se encuentra el recurso mineral. Cualquier otra actividad económica se desarrolla en el lugar en donde se escoja ubicarla, en la minería hay que ir al lugar donde se encuentra ubicado el depósito mineral. Esta característica hace que la minería se convierta en un factor importante de **descentralización** y generador de polos de desarrollo al interior del país, muchas de ellas en zonas o poblaciones rurales que no han tenido la oportunidad de lograr tener desarrollo de ningún tipo.

- **ALTA RELACION ENTRE PRODUCTO Y DESPERDICIO:** La extracción de recursos minerales implica extraer recursos valiosos de la corteza terrestre, los cuales están en contenidos muy bajos, esto implica el desarrollar todo un proceso de separación de contenidos valiosos y no valiosos, en los que lógicamente la cantidad de material no valioso superar en cantidad a los valiosos, dando en consecuencia una alta relación de desperdicio/producto, lo que origina diseñar todo un proceso de disposición de estos materiales no valiosos, dependiente con el proceso tecnológico seguido.
- **IMPACTO ECOLOGICO:** Dada la característica del proceso minero que el de remover grandes cantidades de materiales, ello afecta al entorno al impactar sobre la geografía de la zona, por otro lado, la disposición de dichos materiales y la tecnología empleada muchas veces puede ocasionar un gran impacto en la zona, lo que se controla con planes de monitoreo, evaluación constante y restauración paralela al proceso productivo.

## 1.2 TIPOS DE YACIMIENTOS

Los yacimientos en general, se pueden clasificar en cuatro grupos principales:

- **VETAS:** Yacimiento compuesto por un cuerpo mineral de forma alargada, limitado por planos irregulares de rocas denominadas “**encajonantes**”. Generalmente la veta es vertical. Cuando el cuerpo mineral aparece tendido o echado se le llama “**manto**”. Las vetas constituyen el tipo de yacimiento más común en nuestro medio.
- **DISEMINADO:** Se llama así al cuerpo mineral que **aparece en forma de hilos que atraviesan la roca en todas direcciones**, o bien como **puntos o motas** de mineral que cubren grandes extensiones, ejemplo yacimientos auríferos de Cajamarca.
- **ALUVIAL:** Es un yacimiento formado por el transporte de gravas, limo y minerales pesados de diferentes formas y tamaños, que están depositados en las arenas o lechos de los ríos o mares. Generalmente son de oro, tungsteno y titanio. Como ejemplos de estos yacimientos se tienen los lavaderos de Sandia en Puno, de Pallasca en Ancash y los de Madre de Dios.
- **CONTACTO:** Es un depósito mineral formado a lo largo del encuentro entre dos rocas de distinto origen, usualmente una de ellas es caliza.

En el caso del Perú, los principales tipos de yacimientos son, con referencia a sus características geológicas:

- Epitermales de oro
- Sulfuros masivos
- Pórfidos de cobre (molibdeno, oro, plata)
- Skarn o metasomático de contacto
- Cordilleranos (complejos)
- Valle del Missisipi
- Placeres fluviales y glaciares

Analizaremos cada uno de ellos de acuerdo a sus características geológicas, es decir a la forma como fueron formados, así mismo relacionaremos cada uno de estos con ejemplos de minas peruanas que poseen las características típicas de dicho yacimiento.

EPITERMALES DE ORO:

a. ALTA SULFURACION

Características: Masas irregulares de roca con diseminación de oro relacionados a cuarzo y óxidos de hierro. Pueden gradar a porfidos de cobre en algunos casos

b. BAJA SULFURACION

Características: Vetas con oro y sulfuros de plata, zinc, plomo, cobre y hierro en masas de cuarzo, calcita, rodocrosita, óxidos de hierro y manganeso.

SULFUROS MASIVOS:

Características: Estratos volcánicos y sedimentarios con áreas de metasomatismo. Sulfuros de cobre, zinc, plomo, hierro y barita.

PORFIDOS DE COBRE (MOLIBDENO, ORO, PLATA):

Características: Diseminación de sulfuros de cobre y hierro en grandes volúmenes, usualmente con pequeños contenidos de oro y sulfuros de molibdeno, plata arsénico y antimonio. Brechas ígneas y alteración hidrotermal.

SKARN O METASOMATICO DE CONTACTO:

Características: Calizas y metasomaticos con calco silicatos y óxidos de hierro, asociados a rocas ígneas (rocas formadas de procesos de vulcanismo). Sulfuros de cobre, zinc, plata y hierro, con eventual presencia de oro, en masas irregulares.

#### CORDILLERANOS (COMPLEJOS):

Características: Definidos típicamente en el Perú central, consisten en rocas carbonatadas comunes con vetas y mantos, de sulfuros de cobre, plomo, zinc o wolframatos y óxidos de estaño. A veces con zonas metasomáticas y de porfidos de cobre.

#### VALLE DEL MISSISSIPI

Características: Calizas y dolomias, con mantos potentes de escalerita (sulfuro de zinc) y menor proporción de galena (sulfuro de plomo) y pirita (sulfuro de hierro).

#### PLACERES FLUVIALES Y GLACIARES:

Características: Material transportado compuesto por gravas y rocas de diferente tamaño con presencia de oro y minerales pesados como circón, ilmenita, magnetita y silicatos de hierro también asociados a cuarzo, limos y arcillas.

### 1.3 CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES METALES QUE PRODUCE PERU

#### ○ EL COBRE (Cu)

- **PRINCIPALES MINERALES DE COBRE:** Fue uno de los primeros metales empleados por el hombre por encontrarse en su estado nativo. Actualmente la producción de cobre se obtiene de minerales en forma de sulfuros: Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), Chalcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), Covelita ( $\text{CuS}$ ), y minerales oxidados, como la cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), la tenorita ( $\text{CuO}$ ), etc.
- **OBTENCION DEL COBRE A PARTIR DE SUS OXIDOS:** Si se trata de una mena oxidada, la cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) o la Tenorita ( $\text{CuO}$ ) se le acondiciona en una pila (montículo de mineral) donde se le rocía con una solución de ácido sulfúrico, en el proceso denominado de lixiviación, obteniéndose en esta etapa la llamada solución rica o preñada que consiste en agua, sulfato de cobre e impurezas. En la siguiente etapa, denominada de purificación, se somete, la solución rica, a la acción de solventes orgánicos, dejando en la solución ácido sulfúrico regenerado e impurezas, los que son retornados a las pilas. El electrolito cargado pasa a las celdas de electro deposición, den donde el electrolito se descompone por acción de la corriente eléctrica, depositándose el cobre en el cátodo de la celda, y obteniéndose un cobre de alta pureza (99.999%). El electrolito estéril vuelve a unirse al solvente cargado para tomar el cobre y renovar el ciclo.
- **OBTENCION DE COBRE A PARTIR DE LOS SULFUROS:** Se realizan múltiples etapas con los minerales como chancado, molienda y flotación obteniendo concentrados de cobre que luego ingresan a procesos de tostacion, fundición y refinación hasta obtener un cobre de pureza 99.99%.
- **USOS DEL COBRE Y SUS ALEACIONES**
  - **Tubería de cobre:** En la industria automotriz, refrigeración, agroindustria, industria de la construcción, etc.
  - **Las sales de cobre** como el sulfato y oxiclورو de cobre se emplean como fungicida en agricultura y el oxido cuproso como base de ciertas pinturas.

- **Las aleaciones de cobre:** Los latones son aleaciones de cobre con zinc, se utilizan para cartuchos de municiones, en la industria automotriz (en los radiadores), ferretería, accesorios para plomería, joyería de fantasía, intercambiadores de calor, estuches para lápiz labial, polveras, etc.
  - **En la industria de las comunicaciones y manufacturera:** Por su elevada conductividad eléctrica se utiliza mayormente en la fabricación de conductores eléctricos (cables eléctricos).
  - **Los bronce son aleaciones de cobre con estaño** fundamentalmente, con adiciones de otros elementos en menor proporción tales como plomo, níquel, etc., así tenemos:
    - **Los bronce al estaño**, se utilizan en la fabricación de bocinas, engranajes, partes y mecanismos de bombas, etc.
    - **Bronce al silicio**, se utilizan en recipientes a presión, construcción marina de conductos hidráulicos a presión, etc.
    - **Los bronce al aluminio**, se utilizan en engranajes, ejes motrices, piezas de bombas, etc.
    - **La Plata alemana** (5 a 30% níquel, y 5 a 40% zinc), se utiliza en resortes y contactos en equipos para teléfonos, equipo quirúrgico y dental.
    - **Maillechort** o metal para resistencias eléctricas con aleación cobre-níquel.
- **EL ORO (Au) Y LA PLATA (Ag)**
- **MINERALES DE ORO:** El oro, metal conocido desde la antigüedad en el Perú, generalmente se encuentra asociado a minerales polimetálicos, minerales de plata, y porfidos de cobre en yacimientos primarios, en forma de vetas y diseminados, en yacimientos poli metálicos de plomo y zinc, en yacimientos aluviales (secundarios) en la zona norte y sur oriental del país y en yacimientos diseminados de origen volcánico de baja ley.
  - **OBTENCION DEL ORO Y LA PLATA DE SUS MINERALES:** El proceso de obtención de oro y plata a partir de minerales puede ser efectuado de acuerdo a la naturaleza de las menas por alguno de los siguientes procesos:

#### **Procesos Metalúrgicos cuando el oro presente esta libre**

- Cianuración y precipitación con polvo de zinc (Merril Crowe), fusión y refinación
- Cianuración y absorción con carbón activado, desorción, electro deposición y refinación
- Gravimetría, amalgamación, refinación

#### **Procesos Metalúrgicos cuando el oro esta asociado a sulfuros**

- Flotación, fusión, refinación
- Flotación, biolixiviación (con bacterias), absorción con carbón activados, desorción, electro deposición.

- **USOS DEL ORO:** Por sus propiedades de resistencia a la corrosión, conductividad, maleabilidad, ductilidad y reflectividad es empleado principalmente en joyería, medicina (odontología), en electrónica (circuitos), en computadoras, y por el valor intrínseco que el hombre le ha asignado, en el sistema financiero es utilizado como respaldo de bancos y constituye la reserva de los países.

<b>USOS PRINCIPALES DEL ORO</b>	
Joyería	44.1%
Electrónica	15.0%
Odontología	14.6%
Reservas	10.2%
Otros Usos	16.1%

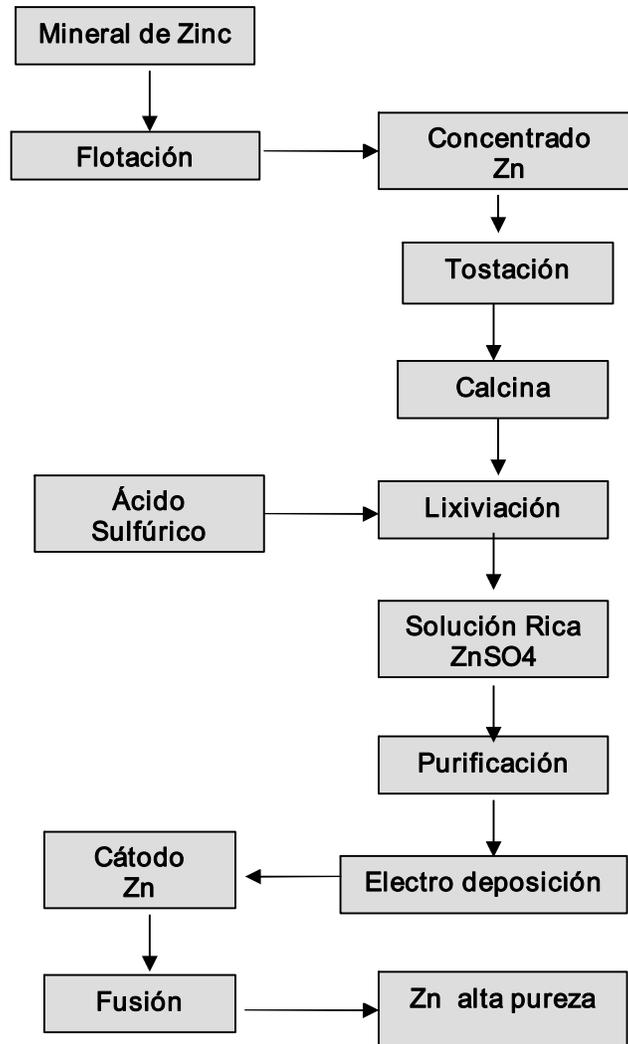
- **USOS DE LA PLATA:** La plata es un buen conductor eléctrico y es utilizada para este propósito en componentes electrónicos. También es la base de la industria fotográfica en forma de sales para películas fotosensitivas. Al igual que otros metales nobles, tiene buena resistencia a la corrosión y es usada en la industria de la refrigeración. También en aparatos domésticos, aleaciones para soldaduras, joyería, entre otros usos.

USOS PRINCIPALES DE LA PLATA	
Fotografía	34.1%
Electrónica	15.0%
Joyería	14.6%
Acuñación	5.2%
Otros Usos	15.8%

○ **EL ZINC (Zn)**

- **MINERALES DE ZINC:** El zinc se encuentra en la naturaleza en su mayor parte en forma de sulfuro ( $ZnS$ ), a veces  $(Zn,Cd)S$  mineral denominado blenda o esfalerita, de color caramelo y marmatita  $(Zn, Fe)S$  de color negruzco por la presencia de hierro, el proceso de obtención es el siguiente:

## Proceso de obtención del Zinc



- **EXTRACCION DEL ZINC:** El proceso se inicia con la concentración por flotación del mineral de zinc, luego este concentrado es transportado a una fundición y refinería. El concentrado es oxidado a la forma de (ZnO) en hornos de tostación y el producto se denomina calcina. La calcina es luego lixiviada o disuelta mediante ácido sulfúrico para formar una solución de sulfato de zinc (ZnSO<sub>4</sub>), esta solución pasa a la etapa de purificación donde el sulfato de zinc en solución es separado de otros elementos no deseables precipitándolos como sulfatos insolubles.

La solución purificada se somete a una electro deposición, en que al suministrarse corriente directa los iones zinc se adhieren al cátodo, que es una plancha de acero inoxidable formando una lamina de zinc de alta pureza. Estas láminas se retiran, funden y moldean en lingote para su comercialización.

- **USOS DEL ZINC:** Este metal se emplea principalmente para recubrir el acero mediante el proceso de galvanización para protegerlo de la corrosión atmosférica. El producto galvanizado puede ser utilizado en diferentes formas, calaminas para techos, alambres galvanizados para cables, tuberías y conexiones.

**El óxido de zinc** se emplea en la fabricación de cemento dental, pasta dental, esmaltes, vidrio, pinturas, objetos cerámicos y productos de goma como llantas y cámaras y en medicina como antiséptico combinado con talco.

**Aleaciones de zinc:** con pequeñas adiciones plomo y cadmio se utiliza como envoltura de las pilas eléctricas y forma el polo negativo. Con la adición de pequeñas cantidades de aluminio, magnesio y cobre se obtiene una aleación importante denominada ZAMAK, el cual se utiliza en la piezas de automóviles, utensilios domésticos, productos de ferretería, candados, juguetes, etc.

USOS DEL ZINC	IMPORTANCIA
Galvanización	46.30%
Latón y Bronce	19.90%
Aleaciones	14.70%
Químicos	7.90%
Semi manufacturados	6.80%
Polvo de Zinc	1.50%
Varios	2.90%

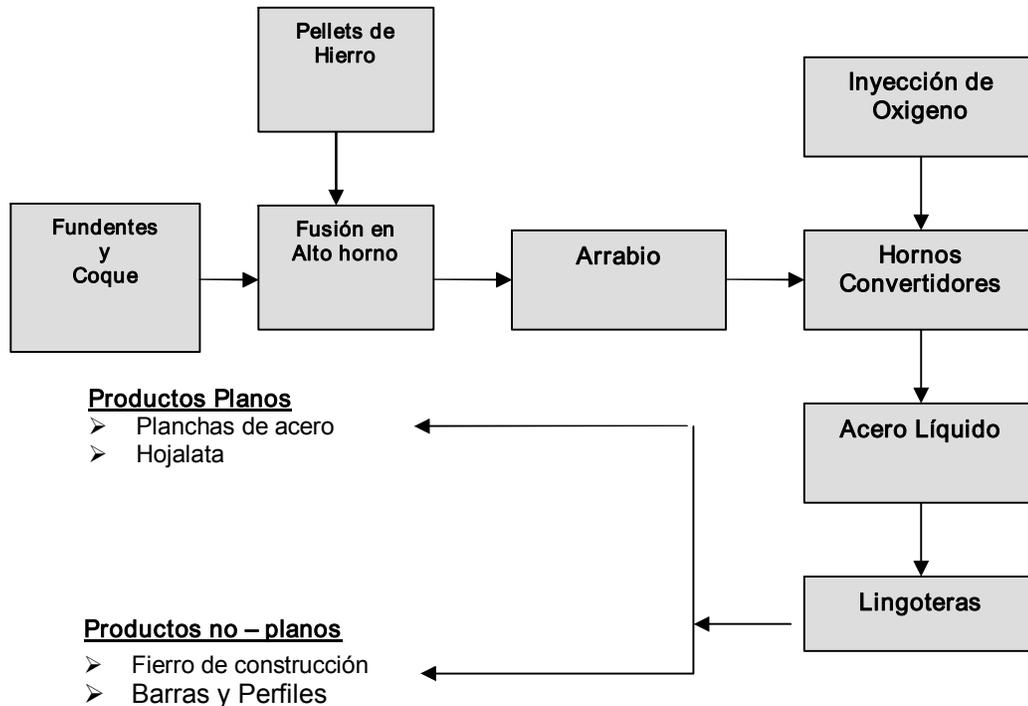
○ **EL PLOMO (Pb)**

- **MINERALES DE PLOMO:** Los principales minerales de plomo son los siguientes en orden de importancia: Galena (PbS), Cerusita (PbCO<sub>3</sub>), Anglesita (PbSO<sub>4</sub>)
- **EXTRACCION DEL PLOMO:** Luego de extraído el mineral o mena de la mina se le somete a una operación de flotación diferencial para separar la mena del plomo (PbS). El concentrado se lleva luego a la fundición en donde se realiza una operación de tostado aglomerante (sintering) que sirve para agrupar las partículas finas. Posteriormente en el horno de fundición se mezclan los trozos aglomerados o sinter con una cantidad de coque, que sirve como reductor a la vez como combustible, y de fundentes como sílice y carbonato de calcio. El plomo corre hacia abajo y los fundentes forman la escoria con las impurezas que flotan sobre el plomo líquido. El plomo es luego moldeado formando los ánodos de plomo impuro listo a ser refinado. En la etapa de refinación, el plomo se separa electrolíticamente del cobre, zinc, arsénico y otros elementos, que quedan en la celda como lodos anódicos. Estos se refinan luego, puesto que pueden contener otros metales importantes como oro, plata, selenio y telurio.
- **USOS DEL PLOMO:** Una parte considerable del plomo producido se dedica a la fabricación de baterías, otra aplicación importante es la fabricación de plomo tetraetilico que se adiciona a las gasolinas de alto octanaje. Su gran densidad permite obtener una protección eficaz contra radiación de los rayos alfa y gamma.

○ **EL HIERRO (Fe)**

- **MINERALES DE HIERRO:** El Perú es solamente un menor productor de este fundamental insumo industrial.

## Proceso de obtención del Acero



- **EXTRACCION DEL HIERRO:** Los minerales de hierro principales son la Magnetita ( $Fe_3O_4$ ) y la Hematita ( $Fe_2O_3$ ). La magnetita presenta gran susceptibilidad magnética y la hematita no, por lo que se utiliza el proceso de separación magnética para obtener concentrados de Fe, dichos concentrados son aglomerados en bolas de 1" o menos denominados pellets, los cuales constituyen la materia prima para la fabricación del acero.
- **USOS DEL ACERO:** El acero, que es una aleación de hierro y carbono, es una de las de mayor consumo en el mundo comparable al de los alimentos. Sus proporciones varían desde 0.01% de carbono hasta 1.2% y de 98.5 a 99.9% de hierro.

**Aleaciones:** En la fabricación del acero es común adicionar otros elementos como manganeso, cromo, níquel, los cuales le confieren propiedades especiales. Así el acero con contenido considerable de cromo y níquel forma los aceros inoxidables y los aceros con contenidos de manganeso se utilizan en maquinaria para trabajos en la minería.

- Cuando el acero contiene Titanio, o Niobio, se utiliza en la industria aeronáutica para los alabes de los aviones. La industria automotriz es la que consume la mayor cantidad de acero, especialmente en la estructura de los automóviles. También se utiliza en la estructura de los barcos y en los tanques de depósitos de diversas industrias.
- **EL MOLIBDENO (Mo)**
    - **OBTENCION DEL MOLIBDENO:** Se obtiene principalmente como subproducto asociado a minas de cobre, también se presenta en yacimientos como producto principal a partir de la molibdenita, que es un sulfuro de molibdeno (MoS<sub>2</sub>)
    - **USOS DEL MOLIBDENO:** Aditivo en siderurgia: otorga dureza, resistencia, tenacidad y propiedades anticorrosivos a los aceros, hierro fundido y metales no ferrosos, herramientas de corte, fabricación de calderas y filamentos, equipos eléctricos y electrónicos, reactivos de laboratorio.
  
  - **EL TUNGSTENO (W)**
    - **OBTENCION DEL TUNGSTENO:** Se obtiene principalmente a partir de dos minerales, la Wolframita, Tungstato de hierro y manganeso y de la Scheelita, Tungstato de calcio
    - **USOS DEL TUNGSTENO:** Aditivo en siderurgia, en forma de polvo metálico, polvo de carburo, Ferro tungsteno o compuesto químico para la manufactura de carburos cementados. Aleaciones no ferrosas. Productos químicos y cerámicas. Filamentos de lámparas eléctricas.
  
  - **EL ARSENICO (As)**
    - **OBTENCION DEL ARSENICO:** Se obtiene como subproducto ya que esta asociado a otros minerales de cobre y plomo con contenidos de Enargita; depósitos de cobre con piritas arsenicales; depósitos de níquel, cobalto, arsénico y plata nativa; depósitos de oro arsenical; depósitos de sulfuro arsenical con oro y sulfuro de arsénico y depósito de estaño arsenical.

- **USOS DEL ARSENICO:** Productos químicos, usados en agricultura como pesticidas, industria del vidrio y cristal. Reactivos inorgánicos industriales, empleados como catalizadores y reactivos aleaciones no ferrosas con cobre y plomo.
  
- **EL ANTIMONIO (Sb)**
  - **OBTENCION DEL ANTIMONIO:** Se obtiene a partir de sulfuros minerales, fundiendo el mineral en el horno reverbero para separar impurezas.
  
  - **USOS DEL ANTIMONIO:** Industria automotriz: baterías de plomo-ácido. Industria química: como oxido para retardantes de llama en pinturas tejidos y plásticos. Otros: en soldaduras electrónicas, producción de pigmentos blancos, en forma de sal y para diversas aplicaciones en medicina.
  
- **EL ESTAÑO (Sn)**
  - **OBTENCION DEL ESTAÑO:** Se obtiene principalmente a partir de la Casiterita, o dióxido de estaño ( $\text{SnO}_2$ ), también se obtiene como subproducto a partir de minerales de cobre.
  
  - **USOS DEL ESTAÑO:** Fabricación de hojalata, lamina de hierro o acero que es bañada con estaño por las dos caras para otorgarle resistencia ala corrosión. Soldadura: aleada con plomo. Productos químicos, bronces, aleado con cobre. Polvo de estaño etc.
  
- **EL BISMUTO (Bi)**
  - **OBTENCION DEL BISMUTO:** Se obtiene principalmente en los procesos de refinación del plomo y del zinc y en menor grado en la refinación de cobre, plata, y estaño.
  
  - **USOS DEL BISMUTO:**
    - Aleaciones: hay un amplio rango de aleaciones para fundición, especialmente de bajo punto de fusión y bajo índice de dilatación.
    - Aditivos metalúrgicos: agente aleante para la mejora de la maquinabilidad y maleabilidad de los aceros.

- Industria química – farmacéutica: sales, pigmentos de pinturas y plásticos, en cosméticos para lápices labiales y polvos faciales y en la industria farmacéutica.
- Otros: en electricidad y electrónica para la prevención de sobrecargas eléctricas en equipo para la fabricación de capacitores cerámicos y en dispositivos de seguridad contra incendios.

PRINCIPALES USOS DEL BISMUTO	
USOS	IMPORTANCIA
Aleaciones	23.3%
Aditivos metalúrgicos	32.6%
Industria química	39.0%
Otros	5.0%

○ **EL CADMIO (Cd)**

- **OBTENCION DEL CADMIO:** Se obtiene principalmente en los procesos de refinación del zinc y menor grado en la refinación del plomo, también se obtiene como sub-producto a partir de la tierra o chatarra de baterías.
- **USOS DEL CADMIO:** Se utiliza principalmente en la fabricación de baterías: la mayor aplicación es en baterías de níquel-cadmio. Pigmentos: las sales de cadmio se utilizan como pigmentos en plásticos y cerámicos. Estabilizadores: en la manufactura de PVC. Recubrimiento: como cubierta galvanizada para proteger equipos contra la corrosión marina. Otros: en la industria nuclear como retardador de las reacciones involucradas.

PRINCIPALES USOS DEL CADMIO	
USOS	IMPORTANCIA
Baterías	59.0%
Pigmentos	16.0%
Estabilizadores	10.0%
Recubrimientos	8.0%
Aleaciones	3.0%
Otros	4.0%

○ **EL INDIO (In)**

• **OBTENCION DEL INDIO:** Se obtiene principalmente en los procesos de refinación del zinc, también a partir de concentrados de cobre, plomo, estaño y del sinter dust de las refinerías de zinc.

• **USOS DEL INDIO:**

- Aleaciones: aleado con cobre y plomo para la fabricación de rodamientos de motores de auto
- Pantallas de cristal liquido: en forma de oxido de indio-estaño para pantallas de computadoras lap top (LCD), Fluorescentes, semiconductores, lámparas de sodio.
- Otros, en la industria del pulido de lentes.

PRINCIPALES USOS DEL INDIO	
USOS	IMPORTANCIA
Aleaciones	42.0%
Pantallas LCD	32.0%
Fluorescentes	8.0%
Semiconductores	5.0%
Lámparas de sodio	5.0%
Otros	8.0%

○ **EL SELENIO (Se)**

• **OBTENCION DEL SELENIO:** Es recolectado a partir de los lodos anódicos que se acumulan en las celdas electrolíticas durante la refinación del cobre.

• **USOS DEL SELENIO:**

En la industria del vidrio como decolorante:

- Electrónica: en células fotoeléctricas, semiconductores y rectificadores.
- Pigmentos: como aditivo en plásticos y cerámicos.

- Química: como alimentos para animales y vulcanización del caucho
- Metalurgia: en aleaciones
- Otros usos: como recubrimiento para tamboras foto sensitivas de fotocopiadoras, en baterías especiales.

PRINCIPALES USOS DEL SELENIO	
USOS	IMPORTANCIA
Metalurgia	13.7%
Ind. química	18.8%
Electrónica	16.4%
Vidrios	27.7%
Pigmentos	9.5%
Otros	13.9%

○ **EL TELURIO (Te)**

- **OBTENCION DEL TELURIO:** se obtiene al igual que el selenio a partir de los lodos anódicos que se acumulan en las celdas durante la refinación electrolítica del cobre.
- **USOS DEL TELURIO:** Metalurgia: para mejorar la maquinabilidad de los aceros. electrónica: en células fotoeléctricas y semiconductores. Industria química: pesticidas, explosivos y caucho vulcanizado. Otros: en maquinas fotocopiadoras combinadas con selenio.

PRINCIPALES USOS DEL TELURIO	
USOS	IMPORTANCIA
Metalurgia	59.7%
Ind. química	37.6%
Electrónica	1.2%
Otros	1.6%

#### **1.4 CLASIFICACION DE LAS MINAS**

- **POR TAMAÑO**
  - Gran minería
  - Mediana minería
  - Pequeña minería
  
- **POR METAL PRODUCIDO**
  - Minas de cobre (cobre principalmente)
  - Minas Auríferas (oro básicamente y plata como subproducto eventualmente)
  - Minas Polimetálicas (zinc, plomo, cobre y plata principalmente)
  - Minas de Estaño (estaño como producto principal)
  
- **POR GRADO DE TRANSFORMACION AL QUE SE LLEGA, DE ACUERDO A LOS PLANES Y OBJETIVOS DE LA EMPRESA**
  - Productoras de concentrados
  - Fundidoras.
  - Refinadoras.

## 2. CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO MINERO

En líneas generales los pasos que se siguen comúnmente consisten en: Prospección; Solicitud de petitorio; Exploración; Evaluación técnica del Proyecto; Estudio de Impacto Ambiental; Desarrollo y preparación del Proyecto; Producción o explotación; Procesamiento metalúrgico (Beneficio e hidrometalurgia); fundición/Refinación; comercialización y Cierre o Abandono.

### 2.1 PROSPECCION (O ESTUDIO DE LAS ANOMALIAS GEOLOGICAS)

Los yacimientos minerales son depósitos o acumulaciones de especies con contenido valioso, estas acumulaciones han sido formadas, sobre la tierra durante millones de años solo bajo condiciones especiales, por tal motivo los yacimientos minerales formados son escasos y están generalmente ligados a estructuras geológicas anómalas, denominadas “anomalías geológicas”.

Una de las etapas más importantes de la actividad minera es la que se refiere a la búsqueda y evaluación de nuevos recursos minerales. Las indicaciones del yacimiento mineral son muchas veces pequeñas y difíciles de reconocer. Para localizar esos yacimientos necesitamos la experiencia y el conocimiento del geólogo.

La búsqueda permanente de nuevos depósitos permite que las operaciones mineras puedan tener una vida sostenida mediante el incremento de las reservas (reserva: ubicación, estudio y cubicación depósitos minerales rentables). Por otro lado, la ubicación de nuevos depósitos genera una serie de expectativas económicas y financieras de consecuencias trascendentales en la vida de un país. Este trabajo implica contar con los más recientes conocimientos científicos y tecnológicos para reducir el alto riesgo económico característico de esta etapa de la minería.

**Prospección es la actividad consistente en ubicar las anomalías geológicas en la corteza terrestre, en donde posiblemente puedan existir depósitos o yacimientos minerales.** El artículo del TUO de la LGM la define como “la investigación conducente a determinar áreas de posible mineralización, por medio de indicaciones químicas y físicas, medidas con instrumentos y técnicas de precisión”.

Tradicionalmente esta labor era realizada por los llamados cateadores, los cuales buscaban justamente estas anomalías mediante la simple observación de la variación de la geografía de alguna zona. (El artículo 1 del TUO de la ley de minas define el cateo como la acción conducente a poner en

evidencia indicios de mineralización por medio de labores mineras elementales).

La tecnología actual nos provee de diversas herramientas para ubicar estos posibles depósitos minerales mediante fotos aéreas, interpretación de datos de satélites y la prospección geoquímica y geofísica.

Es errónea la idea popular de que el descubrimiento de una mina constituye una casualidad, muy al contrario, **el hallazgo es debido a una búsqueda metódica por aproximación científica**, que precisa del empleo de la más sofisticada tecnología, los técnicos más calificados y los instrumentos más avanzados. Esto indudablemente demanda que el empresario minero arriesgue considerables recursos económicos para obtener adecuada rentabilidad de la operación

Para la detección de los recursos minerales se recurre en la actualidad, a la interpretación de la imágenes creadas por energía radiante y captadas por percepción remota de satélites; a la aerofotografía, para ubicar las estructuras favorables; y a la geoquímica, que permite detectar la presencia o no de minerales deseables al comparar el análisis de la corteza terrestre de zonas seleccionadas y referirlos al promedio general que presenta la zona escogida de estudio.

La geofísica es otro gran auxiliar. Apoyados en ella y en las diferentes propiedades físicas de los materiales se han desarrollado sofisticados procesos para la detección de minerales. Se emplean las siguientes técnicas:

- a) **MAGNETICAS:** La distorsión del campo magnético de la tierra por la presencia de rocas con propiedades electromagnéticas es medida por magnetómetros que registran la variación de la intensidad magnética.
- b) **ELECTRICAS:** El diferente comportamiento de los metales frente al paso de la corriente eléctrica es conocido como conductividad. La forma variable en que es efectuada tal transmisión por los diferentes tipos de rocas, puede ser medida si aplicamos a las rocas una fuente controlada de energía eléctrica.
- c) **SISMICAS:** La diferencia de velocidad de propagación de las ondas sísmicas depende de los distintos materiales presentes en el terreno.

- La generación de cortos impulsos de energía sísmica por el impacto de cargas explosivas son registradas por sismógrafos que miden el intervalo entre el momento de la explosión y la llegada de las ondas a distancias preestablecidas.
- d) **GRAVIMETRICAS:** Se determina la distribución desigual de la fuerza de gravedad entre las rocas y minerales mas pesados.
  - e) **RADIOMETRICAS:** Se detectan y miden los rayos gamma emitidos por elementos radioactivos.

**Todas estas técnicas permiten reducir el área de estudio a las zonas anómalas**, dicho de otro modo, a aquellas zonas que no presentan las mismas características de la región en general, razón por la cual es de presuponer la existencia de minerales en ella.

En este punto se torna necesario saber que se encuentra en esta zona anómala. Para ello, se emplean dos procedimientos: **los sondajes o las labores mineras**. Si los resultados son positivos se pasa a delimitar parcialmente la dimensión del yacimiento.

Es importante conocer si existe o no un volumen tal que garantice la recuperación de las inversiones, además de un excedente significativo que lo haga atractivo para los inversionistas.

**Para definir el yacimiento** tanto en extensión lateral como longitudinal y en profundidad, es necesario un programa de **sondajes sistemáticos o de labores subterráneas**: túneles y piques (labores verticales a profundidad).

En esta etapa o solo se ubica y determina la cantidad aproximada de los cuerpos mineralizados sino que también se establecen los **valores promedios de mineralización** y sus características físicas, así como la **viabilidad** de su recuperación metalúrgica.

Sin embargo, la ejecución de toda esta diversidad de labores, requeridas para demostrar la rentabilidad de un proyecto, no necesariamente culmina con la instalación de una unidad productiva. Como ejemplo, basta citar los proyectos, que estuvieron en posesión del Estado, que permanecen inactivos sin conseguir financiación; no obstante en otros países se han desarrollado yacimientos con menores leyes y potenciales. Entre otros proyectos inactivos contamos a Tambo Grande, Cerro Verde, Quellaveco, San Antonio de Poto, Coroccohuayco, Las Bambas y otros.

El inicio de la actividad productiva no supone la paralización de la exploración minera, ya que uno de los objetivos fundamentales de esta última es el de **asegurar la continuidad de la empresa**, vale decir, restituir o ampliar la capacidad productiva de la mina, dado que los minerales son recursos no renovables y que la explotación lleva a su agotamiento. Es en ese sentido que el crecimiento supervivencia de una mina depende, en gran medida, de la política de exploración de la empresa.

## 2.2 SOLICITUD DE PETITORIO

Antes de efectuar trabajos mas profundos hay que asegurar la propiedad minera, para lo cual se efectúa un “petitorio” en el Registro Publico de minería.

Este petitorio no significa propiedad del terreno superficial ni de los recursos del subsuelo, cuyo propietario es el Estado, el minero solo será propietario de los recursos minerales que extraiga de dicho yacimiento.

Para conservar este derecho las empresas abonan al estado anualmente el Derecho de Vigencia que es de US\$2/ha/año (es decir 2 dólares por cada hectárea al año), los pequeños mineros calificados por el Ministerio de energía y Minas abonan US\$1/ha/año, el 40% del monto del derecho de vigencia se revierte a la región a través de los municipios provinciales y distritales en donde se encuentran ubicados las zonas peticionadas.

## 2.3 EXPLORACION

Es la etapa en donde se realizan estudios **más profundos** de la zona, estos estudios incluyen muestreo y análisis químico de las rocas mediante una serie de trabajos superficiales, canales, trincheras, etc.

También se realizan operaciones de perforación diamantina, que consiste en realizar perforaciones en el subsuelo a fin de analizar el contenido mineral, así como algunas labores subterráneas (galerías, cruceros y chimeneas de exploración). Muchas veces las exploraciones determinan si es económicamente explotable un yacimiento o no, de acuerdo al contenido y calidad del mineral encontrado.

La exploración es la actividad que consiste en la determinación de la cantidad (reservas) y de la calidad (ley promedio) del mineral de un depósito. Pero también es necesario en esta actividad saber si el mineral es tratable, es decir si es posible recuperar económicamente su contenido metálico, para lo cual se realiza pruebas metalúrgicas de laboratorio y planta piloto de tratamiento de minerales. El artículo 8 del TUO LGM define la exploración como la actividad minera tendente a demostrar las dimensiones, posición, características mineralógicas, reservas y valores de los yacimientos minerales.

La exploración constituye la primera etapa de un proceso productivo propiamente minero, cabe resaltar que esta actividad implica un alto riesgo, debido a que muchas veces no se encuentran depósitos minerales económicamente explotables.

Hay dos tipos de exploraciones, la de ampliación de reservas, que se realiza en zonas interesantes desde el punto de vista minero y que no han sido exploradas antes o lo han sido muy superficialmente, y la de reposición de reservas, que se realiza en la zona de operación con el fin de seguir cubriendo más mineral para reponer las reservas extraídas el año anterior, es decir, para no acortar la vida de la mina.

En cuanto a las empresas involucradas en esta actividad, cabe señalar que en Perú hay dos tipos de exploradoras mineras:

- **Empresas exploradoras con operaciones mineras:** Son las que tienen operaciones mineras y se centran en seguir las exploraciones en su yacimiento mineral que permiten

alargar la vida de la mina. Otras que exploran su yacimiento pero invierten en buscar otras zonas que permiten la continuidad de la vida de mina y de la empresa.

- **Empresas mineras sin operaciones mineras:** Generalmente extranjeras, que se centran en buscar yacimientos potenciales. Hay que distinguir entre multinacionales, que buscan mega yacimientos (que posteriormente van a ser cedidos a otras empresas del grupo o vinculadas) y empresas mineras pequeñas denominadas comúnmente “Juniors” que buscan encontrar yacimientos potenciales para poder venderlas a empresas de nivel mundial cuando han realizado exploraciones que indiquen que es un yacimiento con gran potencial.

No es posible, pues, establecer estándares o ratios de exploración, e incluso el nivel de inversión en esta actividad es muy variable, ya que cuando los precios de los metales son altos se suele producir un auge en la exploración por parte de las empresas, pero cuando los precios se deprimen ocurre lo mismo con las exploraciones, ya que las empresas mineras ya no tienen excedentes de capital que puedan invertir en esta actividad. No obstante lo anterior, se muestran a continuación los costos habituales y la estructura de los mismos:

### **ESTRUCTURA DE COSTOS TIPICA DE PROSPECCION Y EXPLORACION EN EMPRESAS MINERAS:**

#### **ACTIVIDAD**

Administración y servicios

Oficina de campo

- Salarios
- Personal contratado
- Generador de electricidad
- Alimentación y servicios generales
- Combustible
- Seguridad
- Seguros

- Comunicaciones
- Misceláneos

#### Oficina Lima

- Salarios
- Telecomunicaciones
- Gastos Legales
- Seguros
- Gastos de oficina
- Servicios generales
- Auditores / consultores
- Gastos de viaje
- Misceláneo

#### Mantenimiento

- Salarios
- Mantenimiento en oficina de campo
- Servicios de vehículos
- Geología, exploración & ingeniería
- Ingeniería
- Plan general
- Análisis metalúrgicos
- Estudio en planta piloto
- Estudios geotécnicos diseño preliminar de minado
- Estudio hidrológico
- Estudio de abastecimiento de agua
- Estudio de abastecimiento de energía
- Estudio de vías de acceso
- Revisión de sistemas de comunicación
- Estudio de infraestructura
- Disponibilidad de recursos humanos
- Reporte de factibilidad

#### Medio ambiente

- Salarios
- Contrato de personal
- Análisis y monitoreo
- Reservas arqueológicas
- Estudio de línea base

#### Geología

- Salarios
- Contrato de personal
- Análisis de laboratorio
- Misceláneo
- Geofísica
- Salarios
- Contrato de personal
- Contrato de perforación
- Contrato de perforación superficial
- Contrato de perforación subterránea
- Construcción de túnel
- Movimiento de tierra
- Ensayes
- Estudios mineragráficos.
- Misceláneo

#### Propiedad

- Salarios
- Gastos notariales y legales
- Contratos de opción
- Contratos de transferencia
- Pago de opciones
- Pago de derecho de vigencia
- Otros gastos

#### Delimitación

- Salarios
- Delimitación topográfica
- Contrato de personal
- Gastos Varios

#### Infraestructura

- Trabajos en campo
- Salarios
- Contrato de personal
- Derechos de paso
- Proyección a la comunidad

Los costos asociados a la prospección y exploración dependen del número de áreas con que cuentan las empresas, dado que todas estas áreas están sujetas al pago por Derecho de Vigencia que es de US\$3.0/ha/año, ello resulta oneroso cuando se tienen muchas propiedades mineras y no se las explora adecuadamente. Las empresas mineras suelen disponer de estimaciones del costo total anual que destinan a explorar.

Aproximadamente los costos oscilan entre US\$8.0/ha a US\$15.0/ha, la variación se debe a la mayor o menor proximidad de la zona explorada a un centro poblado que cuenta con facilidades (carretera, energía eléctrica, provisiones, población, etc.), en caso contrario el costo aumenta cuando la zona se encuentra alejada de cualquier centro poblado y no cuenta con vías de comunicación, pudiendo existir grados intermedios en los cuales se interpolara aproximadamente.

Por ejemplo si se dispone de 100,000 hectáreas peticionadas de las cuales 20,000 se encuentran muy próximas a un centro poblado y las restantes 80,000 completamente alejadas de centros poblados el coste total de exploración para el siguiente año será (aproximadamente) de:

20,000 ha x US\$8/ha	=	US\$ 160,000
80,000 ha x US\$15/ha	=	US\$ 1'200,000
Costo total de exploración	=	US\$ 1'360,000

Las empresas que cuentan con los recursos necesarios, programan sus gastos de acuerdo a esta aproximación, las que no cuentan con dicho capital, procederán a reducir sus derechos mineros para quedarse con las zonas mas interesantes y prospectivas.

### **PERFORACION DE EXPLORACION:**

En cuanto a costos de perforación el promedio del costo esta en el orden de US\$75/metro a US\$80/metro, en perforación Diamantina (DD), incluyendo costos de análisis químicos, en el caso de perforación con circulación de aire reversa el costo esta por el orden de 40 \$ / metro, incluido el análisis químico. El numero de análisis se realiza también de acuerdo al tipo de yacimiento que se estudia, así por ejemplo cuando se trata de un diseminado los análisis en los testigos de perforación se realizan usualmente cada metro de perforación, cuando el yacimiento es tipo vetas el análisis se realiza con muestras longitudinales, transversales, o cada metro (muestreo sistemático).

### **TRINCHERAS:**

Cuando se explora por trincheras (zanjas), estas generalmente se realizan cuando se encuentran zonas de alteración, el recojo de muestras generalmente se hace cada 2 o 3 metros cuando se trata de un diseminado, cuando se trata de una veta la trinchera se realiza a lo largo de la veta y se toma muestras cada 10 a 15 m generalmente aunque esto varia de acuerdo al parecer del geólogo y las características del mineral.

### **GALERIAS DE EXPLORACION:**

Asimismo, en muchas exploraciones también se realizan galerías exploratorias las que generalmente son de 7` x 8` = 7 pies x 8 pies, el costo actual es de US\$ 450/metro a US\$ 600/metro, la longitud depende de cada empresa en particular y el precio de acuerdo al contratista que realiza la obra.

### **ANALISIS:**

Por ejemplo una muestra para análisis ( 50 gr. de muestra por vía seca) cuesta US\$ 24 + IGV el precio incluye Au + 9 elementos (Cu, Pb, Zn, Ag, Mo, Bi, As, Hg, Sb) a este tipo de ensayo se le denomina Análisis Geoquímico.

En los siguientes cuadros se muestran las proyecciones de las perforaciones diamantinas en las principales minas y proyectos peruanos en los próximos años:

YACIMIENTO	Metros anuales de perforación	Costo por metro de perforación (US\$)	Tiempo de vida del yacimiento	Total perforación en la vida del yacimiento (metros)	costo anual perforación (US\$ /año)
MINA PERUANA	279,000	5.5	20	5,580,000	1,534,500
MINA DEL SUR	324,000	5	10	3,240,000	1,620,000
COBRE 1	720,000	4.8	5	3,600,000	3,456,000
CERRO DE PASCO	330,000	11	10	3,300,000	3,630,000
COBRE 3	682,000	7	20	13,640,000	4,774,000
COBRE 4	560,000	4	15	8,400,000	2,240,000
PERU ORO S.A	1,800,000	5	15	27,000,000	9,000,000
CEMENTERA	340,000	9	5	1,700,000	3,060,000
MINA GRANDE	370,000	3.8	20	7,400,000	1,406,000
POLIMETALICA 4	140,000	6	10	1,400,000	840,000
MINERA ROCAS	400,000	8	15	6,000,000	3,200,000
MINERA AZUL	200,000	10	5	1,000,000	2,000,000
	6,145,000			82,260,000	36,760,500

Promedio de vida de los yacimientos (años)	13.4
Costo promedio de perforación (US\$ /metro)	5.98
Gasto total en perforaciones /año (US\$ /año)	36,760,500
Metros totales de perforaciones (metros)	6,145,000

PROYECTO	Metros anuales de perforación Projectado	Tiempo de vida del yacimiento (años)	Total perforación en la vida del proyecto (metros)
MINA PERUANA	300,000	10	3,000,000
MINA DEL SUR	200,000	8	1,600,000
COBRE 1	100,000	5	600,000
CERRO DE PASCO	300,000	5	1,500,000
COBRE 3	1,000,000	20	20,000,000
COBRE 4	150,000	5	750,000
PERU ORO S.A	100,000	3	300,000
CEMENTERA	800,000	20	16,000,000
MINA GRANDE	100,000	2	200,000
POLIMETALICA 4	800,000	20	16,000,000
MINERA ROCAS	200,000	1	200,000
MINERA AZUL	600,000	20	12,000,000
TOTALES	4,650,000		72,150,000
Promedio de vida de los proyectos (años)		15.5	
Metros totales de perforaciones (metros)		4,650,000	

## 2.4 EVALUACION DEL PROYECTO (TECNICA Y ECONOMICA) E IMPACTO AMBIENTAL

- **ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD:**

Si los datos previos proporcionados por la exploración (tonelaje estimado y las leyes de los minerales encontrados) son positivos, se realizara el Estudio Técnico económico o Estudio de Factibilidad del proyecto, el cual determinara si este es factible o no.

El estudio deberá pues contener los siguientes capítulos: tonelaje (probado y probable); leyes y medias (y ley mínima de corte); plan de desarrollo y método de minado (subterráneo o a tajo abierto); transporte (medios, sistemas, etc.); costos de mano de obra; materiales e insumos en general; inversiones; regalías, seguros; impuestos; gastos legales; etc. Tanto en términos totales, como referidos a una tonelada de mena.

Con estos datos se compara la producción y su valor con los costos necesarios para obtenerla, tanto respecto de la vida de la mina, como a lo largo de cada ejercicio: se estima también el flujo de caja esperado y la rentabilidad del proyecto.

- **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA):**

Las empresas Mineras que desean iniciar un nuevo proyecto minero, deberán previamente elaborar un estudio de factibilidad siendo además imprescindible de acuerdo a ley efectuar un estudio de impacto ambiental (EIA) sobre todas las actividades ha desarrollar durante la vida y abandono del proyecto, a las empresas extranjeras usualmente las entidades financieras internacionales exigen un exhaustivo EIA como garantía de una adecuada operación.

En Perú, desde 1993, el Ministerio de energía y Minas, exige a los titulares de operaciones mineras que quieran establecer algún tipo de operación la presentación y la sustentación en audiencia publica de este Estudio de Impacto Ambiental como requisito para obtener la autorización para iniciar las operaciones, pues es preciso que esta no perjudiquen el medio ambiente.

Este estudio debe demostrar que las operaciones que se realicen no alteren el entorno y que los efluentes que se produzcan no contengan elementos nocivos más allá de los límites máximos permisibles establecidos por ley.

El estudio es exigido a los titulares de concesiones mineras que proyectan iniciar alguna etapa de explotación, y evalúa y describe aspectos físico-naturales, biológicos, socio-económicos y culturales en el área de influencia del proyecto y prevé los efectos y consecuencias de su realización.

o **SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACION:**

El estudio de factibilidad debe pues describir el método de explotación que se ha considerado como el más económico y eficiente. Para ello, se utilizan los siguientes criterios básicos.

1. Forma, tamaño y posición espacial del cuerpo mineralizado.
2. Contenido y distribución de los valores metálicos.
3. Propiedades físicas y químicas del mineral y las rocas adyacentes o encajonantes.
4. Factores económicos y facilidad de transporte.
5. Condiciones de seguridad, de medio ambiente y disposiciones gubernamentales
6. Efectos de las operaciones subsidiarias.
7. Consideraciones especiales.

El objetivo en la determinación del método es la óptima extracción de reservas con el mayor beneficio económico y la máxima seguridad en la operación. El método elegido puede ser subterráneo o a cielo abierto (cuando la capa de estéril que cubre el mineral es poco profunda o el volumen del yacimiento es muy grande, como ocurre con los yacimientos diseminados, skarn y porfidos) o subterráneo (cuando el mineral se encuentra a mucha profundidad, como ocurre en los yacimientos poli metálicos tipo veta, o tipo sedimentario), dependiendo de la forma y posición del yacimiento y de la disponibilidad de capital para la inversión en equipos.

En cuanto a las leyes de corte, tanto en el Perú como fuera de el, los avances tecnológicos permiten explotar los yacimientos son menores leyes. En nuestro país los promedios normales son:

- Minerales de cobre: 0.4 a 3% de Cu
- Minerales de plata: 6 a 12 onzas de Ag/TM
- Minerales de plomo: 2 a 5% de Pb
- Minerales de zinc: 5 a 12% de Zn
- Minerales de oro: 0.1 a 10 gr. Au /TM

## **2.5 DESARROLLO Y PREPARACION**

De acuerdo con el artículo 8 del TUO de la LGM, el desarrollo es la operación que se realiza para hacer posible la explotación del mineral contenido en un yacimiento.

Consiste en los trabajos previos que se realizan para llegar al mineral desde la superficie, en otras palabras significa establecer los accesos a las reservas minerales y prepararlas para su producción comercial.

Si el proyecto es una mina subterránea se realizan trabajos de desarrollo para llegar hasta el mineral mediante galerías (túneles horizontales), chimeneas (túneles verticales o inclinados que no se comunican a superficie), piques (túneles verticales que salen a la superficie), rampas (túneles en forma de espiral), etc.

Posteriormente se realizan trabajos de preparación es decir se diseña en el terreno la forma de cómo extraer el mineral estableciendo un método de minado. Al túnel principal de la mina se denomina comúnmente como socavón.

En el caso de minas superficiales se realiza inicialmente un trabajo de desencape (sacar el material estéril que se encuentra encima del mineral) hasta llegar a la mena, posteriormente se realizan labores de acceso para la extracción del mineral y desmonte.

## **2.6 CONSTRUCCION**

En esta etapa se realizan actividades para establecer y perpetrar las instalaciones para la extracción, tratamiento y transporte de los recursos minerales, estas instalaciones incluyen infraestructura productiva, energética y vial (camino, vías férreas, puertos, aeropuertos); posteriormente el acondicionamiento de maquinarias y equipos. La construcción y el desarrollo a menudo se realizan en forma simultánea. Los periodos de construcción típicos para minas de gran envergadura varían entre 20 y 30 meses.

## 2.7 PRODUCCION O EXPLOTACION

### 2.7.1 Extracción - Minería a Cielo Abierto

Es una explotación en superficie que extrae en franjas horizontales llamados bancos, en forma descendente a partir del banco que esta en la superficie. Normalmente para la remoción de un banco de mineral es necesario extraer el material estéril que lo cubre, lo que se llama desbroce y expresa una relación de tonelaje de desmante a mineral, este ratio es totalmente variable entre las minas ya que dependen netamente de la posición y tipo de yacimiento, que es totalmente variable. Este tipo de explotación es de gran volumen y se aplica en yacimientos masivos de gran tamaño, cerca de la superficie, puesto que a mayor profundidad aumentará la cantidad de material estéril a remover (radio de desbroce) aumentando en consecuencia el costo de producción.

Este método se utiliza principalmente en yacimientos de mineral diseminado, y se basa en la extracción de todo el material donde se ubica el mineral. Ello supone mover grandes volúmenes, y, inevitablemente, utilizar equipos de gran capacidad.

Un parámetro que adquiere singular importancia, es la proporción que representa el mineral sobre el total (en volumen o en TM), y que determina si la mina a cielo abierto (Open Pit, en la jerga minera) es o no viable económicamente.

Las actividades o procesos que comprende este método de explotación podemos clasificarlas en: Exploración y Desarrollo; Perforación y Disparos; Carguio y; Acarreo.

- **EXPLORACION Y DESARROLLO:** En las minas de producción a tajo abierto, al igual que en otras minas, es necesario realizar trabajos de exploración y desarrollo para encontrar nuevas reservas y mantener o alargar de esta forma la vida útil de la mina e ir desarrollando el yacimiento para su posterior exploración. Esta actividad (exploración de reposición) se realiza simultáneamente a la extracción, y suele comportar la realización de perforaciones, voladuras experimentales, ensayos, etc.
- **PERFORACION Y VOLADURA (DISPAROS):** Mediante equipos especiales y utilizando barrenos de gran tamaño se hacen perforaciones en la zonas

mineralizadas, cuyos orificios son rellenados con explosivos usualmente ANFO (nitrato de amonio + petróleo diesel), los cuales remueven grandes volúmenes de material, resultando rocas de diferentes tamaños. Si éstas fueran tan grandes que dificulten el carguío o tienen la dimensión inadecuada para el chancado primario, se ejecutaría un segundo disparo que tuviera por finalidad fragmentar las rocas grandes en rocas mas chicas para facilitar su carguío y chancado posterior (ello incrementa el coste).

- **CARGUIO:** Con equipos de gran capacidad generalmente palas y cargadores frontales, se carga el material a los camiones volquetes o, en su caso a las tolvas del ferrocarril, para que sean trasladados a la zona de trituración primaria dentro del mismo tajo o a la chancadora directamente en caso del mineral; y a los botaderos en caso de material estéril. En esta operación se incluyen tareas de remoción y acopio del material fragmentado.
- **ACARREO O TRANSPORTE:** Corresponde a esta actividad, el acarreo o transporte del material que se encuentra en los bancos, hacia los diferentes destinos:
  - **El Mineral**, con contenido metálico económicamente explotable, se trasladara a la chancadora del tajo abierto.
  - **El Leach** (material de baja ley) se almacena en botaderos especiales para más tarde, aplicando nuevas tecnologías, ser lixiviado para recuperar su contenido metálico.
  - **El Desmonte** (material estéril y sin valor económico) que se enviara a los botaderos.

**El transporte** se realiza a través de los siguientes medios:

- En camiones volquetes, desde los bancos hasta los botaderos.
- En vagones de ferrocarril o carros sobre rieles de los bancos a la chancadora o botaderos de desmonte o leach.
- Transporte combinado, volquete a tren mediante embarcaderos llamados Docks o Hoppers.

## 2.7.2 Extracción - Minería Subterránea

El método de explotación subterránea, es utilizado cuando las zonas mineralizadas (vetas o cuerpos de mineral económico) son angostas y profundas, por lo que según las evaluaciones técnicas y económicas justifica la perforación de túneles y socavones para posibilitar su extracción.

Las actividades o procesos que comprende este método de explotación son: exploración; desarrollo: preparación: explotación y extracción: transporte y manipuleo de minerales.

- **EXPLORACION:** Actividad minera tendiente a demostrar las dimensiones, posición, características mineralógicas, reservas y valores de los yacimientos mineros.
- **DESARROLLO:** Localizados los bloques de mineral, se realizan labores mineras para determinar el tonelaje y las leyes del mismo, es decir, clasificar en MENA, mineral marginal y sub-marginal; se construyen los accesos e instalaciones que hagan posible la explotación. En esta actividad se desarrollan las galerías, los cruceros, chimeneas de ventilación, rampas y conductos de ventilación, instalación de rieles para carros mineros e instalación de líneas de energía.
- **PREPARACION:** Corresponde a esta actividad, la preparación de las zonas o secciones de trabajo en la veta o bloques de mineral, para hacer posible su explotación generalmente se preparan tolvas, chimeneas de relleno y ventilación, entre otras labores.
- **EXPLOTACION Y EXTRACCION:** En esta etapa se realizan la perforación y voladuras del mineral en el interior de la mina, dejando expedito el mineral para su traslado al exterior.
- **TRANSPORTE Y/O MANIPULO DE MINERALES:** Efectuada la voladura del mineral, este es extraído de la mina hacia el exterior, para ello, se acumula y se carga a los diferentes medios de transporte de los que se disponen. El transporte puede ser mediante carros mineros, scoops, u otro tipo de equipo que se disponga.

### 2.7.3 Concentración o Procesamiento metalúrgico (Beneficio e hidrometalurgia):

El mineral que se extrae de mina generalmente no se puede comercializar por lo que hay que someterlo a un tratamiento para elevar su ley (porcentaje de contenido metálico) para hacer posible su venta, o prepararlo para el proceso posterior de fundición y refinación.



**ENTRADA A LABOR SUBTERRANEA DE MINA  
4,510 m.s.n.m.**

Actualmente la tecnología y la investigación hacen posible el concentrado de minerales con leyes muy bajas y que hasta hace unos años no eran susceptibles de recuperación por razones económicas, sin causar el menor daño ambiental.

La concentración depende también del tipo de mineral o minerales que se encuentran presentes, por lo que existen varios métodos para su realización.

El TUO de la LGM denomina beneficio al conjunto de procesos físicos, químicos y/o físico-químicos que se realizan para extraer o concentrar las partes valiosas de un agregado de minerales y/o para purificar, fundir o refinar metales; comprende las siguientes etapas:

Preparación mecánica, proceso por el cual se reduce de tamaño, se clasifica y/o lava en mineral.

Metalurgia, conjunto de procesos físicos, químicos y/o físico-químicos que se realizan para concentrar y/o extraer las sustancias valiosas de los minerales.

Refinación, proceso para purificar los metales de los productos obtenidos de los procedimientos metalúrgicos anteriores.

Bajo esta definición, la concentración abarcaría los apartados 1 y 2 (excluyendo la fundición).

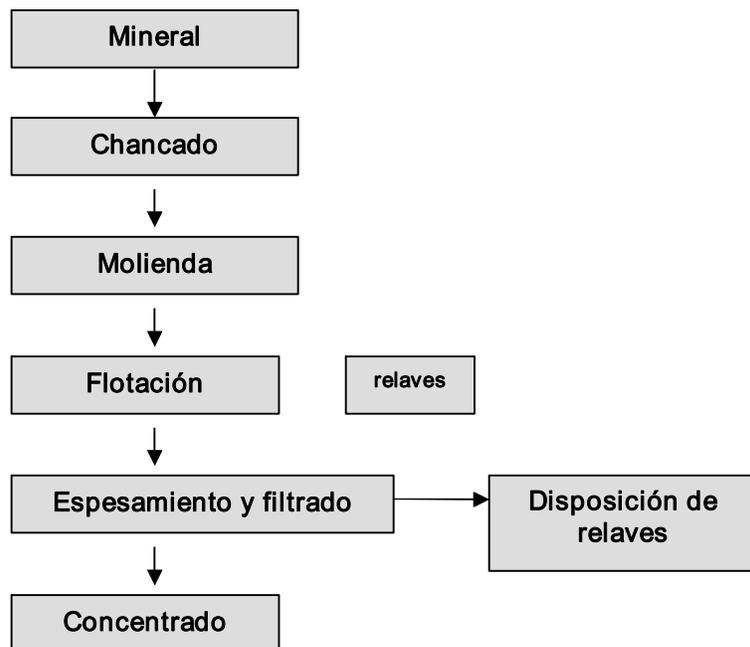
Los dos procesos de concentración más usados en minería son la concentración (en sentido estricto) y la lixiviación (hidrometalurgia), en algunas minas se usan ambos métodos de manera independiente (Southern) o a veces combinadas (Poderosa, Retamas).

- **CONCENTRACION:** Es un proceso de enriquecimiento de algunos minerales (sulfuros de cobre, plomo o zinc con contenidos de oro y plata), en el cual el mineral es separado debido a procesos de reducción de tamaño (chancado y molienda), concentrando por un lado las partes de contenido útil, en tanto que el material sin valor (relave) es descartado. El objetivo es producir un material concentrado enriquecido de tonelaje reducido, con lo cual se ahorra el costo de transporte a la planta metalúrgica y se reduce el costo de tratamiento de esta. Los procesos que integran la concentración son los de recepción de materiales, chancado, molienda, flotación y secado de concentrados.

Dependiendo del tipo de mineral que se procesa, se obtienen concentrado de cobre, plomo, zinc y otros como los concentrados bulk, que tienen dos metales (plomo/cobre, plomo/zinc o zinc/cobre). También se obtienen concentrados de plata/oro cuando las características del mineral así lo permiten.

Cuando el producto final del proceso de concentración se obtienen uno o mas tipos de concentrados, los mismos que por sus características, toman la denominación del metal que predomina.

Los procesos implicados habitualmente (hay otras variantes) en la concentración son los siguientes:



- **RECEPCION DE MINERALES:** El mineral extraído de la mina es recibido en una cancha o patio, acondicionados para la clasificación del mineral, que luego pasara al proceso de chancado y los bloques de mineral demasiados grandes, previamente serán tratados para reducir sus dimensiones para pasar a la chancadora primaria. En este proceso se utilizan perforadoras, cargadores y otros equipos necesarios con sus respectivos operadores.

- **CHANCADO:** El mineral clasificado es llevado a la chancadora primaria en donde se produce el primer proceso de chancado reduciendo el tamaño del mineral a dimensiones determinadas, de allí pasa a la chancadora secundaria en donde el mineral se reduce a diámetros menores, pasando inmediatamente a la chancadora terciaria, en donde el mineral chancado, queda reducido y listo para pasar al proceso de molienda.
- **MOLIENDA:** En este proceso el mineral chancado mezclado con agua es procesado en recipientes cilíndricos denominados molinos de bolas y/o barras; convertido en polvo, pasa a la clasificadora, en donde la mezcla que tiene consistencia muy fina también denominada finos, ingresan a las celdas de flotación, a su vez los gruesos retornan al molino para ser nuevamente molidos.
- **FLOTACION:** El mineral molido, mezclado con agua, cal y reactivos, mediante un sistema de bombeo por tubos, pasa de la clasificadora a las celdas de flotación. En estas celdas un agitador de paletas revuelve la pila, a la vez que una corriente de aire que sale de la parte inferior de la celda, forma una especie de burbujas que sale a la superficie llevando consigo partículas de sulfuros de mineral, formando una espuma o nata que rebasa las celdas de flotación, la que es recogida para ser espesada o sedimentada y filtrada para obtener el concentrado final. Cuando se procesan dos o más tipos de concentrados, el proceso de flotación pasa por tantos procesos como tipos de concentrados se deseen obtener.
- **ESPEZAMIENTO, FILTRADO, SECADO Y MANIPULEO DE CONCENTRADOS:** La “nata” resultante del proceso de flotación es recogida a través de canaletas y conducida mediante agua a los tanques espesadores, de donde se traslada al proceso de filtrado y secado.
- **DESAGUE, DISPOSICION DE RELAVES Y RECUPERACION DE AGUA:** El material que se descarta de las celdas de flotación se denomina relave y esto se conduce según sea el caso a la planta de recuperación de agua o directamente a lugares de almacenamiento acondicionados especialmente para tal fin. Cuando la planta de concentración esta ubicada en lugares donde hay escasez de agua, suele haber una planta de recuperación de agua.

- **DISPOSICION DE RELAVES:** Los desechos (relaves), tanto del proceso de flotación como de la planta de recuperación de agua, son trasladados a canchas de relaves en donde se almacenan bajo condiciones establecidas de acuerdo con las disposiciones sobre el control ambiental.
- **LIXIVIACION:** El procesamiento hidrometalúrgico (lixiviación) es el proceso mediante el cual algunos minerales (óxidos de cobre, minerales de oro y plata libres) son acondicionados en pilas denominadas pads de lixiviación (montículos de mineral) donde son rociados con una determinada solución (para el cobre, ácido sulfúrico; para el oro, cianuro de sodio) la cual disuelve los contenidos metálicos valiosos, formando una solución enriquecida con contenidos metálicos disueltos. Esta solución se purifica posteriormente y se le somete a algunos procesos físico-químicos, mediante los cuales se recupera el o los metales. Para los óxidos de cobre se utiliza el ácido sulfúrico para su disolución, posteriormente se procede a su electro refinación; para el oro/plata, se utiliza el cianuro de sodio, que forma una solución enriquecida, a la que se añade polvo de zinc (proceso Merrill Crowe), para la precipitación de oro y plata.
- **LIXIVIACION BACTERIANA (Biolixiviacion):** La lixiviación bacteriana consiste básicamente en el uso de bacterias para la generación del sulfato férrico, que se constituye en el disolvente del sulfuro de cobre. El principio se basa en la utilización de bacterias que oxidan el hierro y bacterias que oxidan el azufre. Estas bacterias utilizan el oxígeno y el carbono de la atmósfera para que mediante su metabolismo generen la oxidación del hierro y el azufre. Efectuada la disolución de los sulfatos de cobre se procede a la recuperación del contenido metálico del mismo, siguiendo los demás procedimientos de una planta de lixiviación.
- **CHANCADO:** El mineral es transportado hasta las chancadoras para su trituración a dimensiones requeridas y luego acumulado en las canchas de lixiviación (pads). El chancado puede pasar por varios ciclos, y el transporte puede realizarse mediante el uso de vehículos o fajas transportadoras.
- **PROCESO DE LIXIVIACION:** El material apilado en las canchas o Pads es regado con una solución por sistemas de aspersion y/o goteo.

Esta solución disuelve el contenido de metal en el mineral, produciendo una solución rica en dicho metal, denominada solución pregnant la cual es recuperada en pozas, para su tratamiento posterior (precipitación, extracción por solventes etc.)

- **EXTRACCION POR SOLVENTES:** En este proceso se purifica y concentra el metal de la solución obtenida por el proceso de lixiviación. La solución es puesta en contacto con reactivos químicos que extraen el metal.

#### **2.7.4 Fundición y Refinación:**

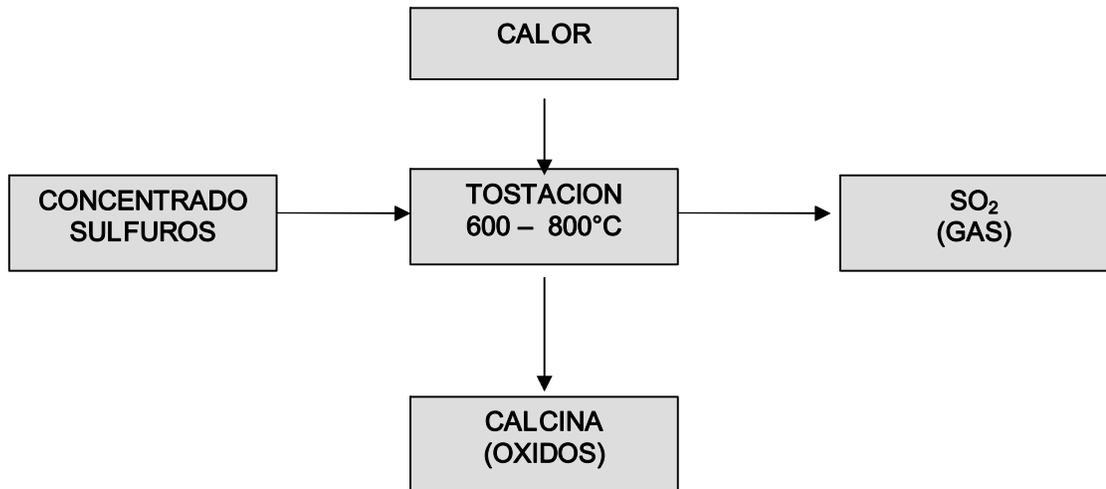
Para conseguir recuperar los metales desde los concentrados o las soluciones lixiviadas se los somete a procesos de fundición y/o refinación, en los cuales se obtienen los metales en estado de pureza listos para su transformación industrial.

- **FUNDICION PROMETALURGICA:** Una gran parte de los metales no ferrosos, se encuentran en la naturaleza ligados al oxígeno y otros se encuentran bajo la forma de sulfuros. La mayoría de los sulfuros metálicos se tuestan con el fin de convertirlos en sus respectivos óxidos.

La obtención de los metales a partir de sus óxidos mediante el uso del calor se denomina “Procesos Piro metalúrgicos”, y consiste en la obtención de los metales mediante la destrucción de la unión de enlaces entre el oxígeno y el metal, el cual puede ser muy débil o muy fuerte.

Los procesos de fundición consisten en la separación de los metales contenidos en los concentrados. Comienzan con la eliminación del azufre, para ello se aplica, en hornos de soleras múltiples un tostado a temperaturas moderadas (de 600° a 800° C) que causa una transformación de sulfuros a óxidos al haber eliminado el azufre.

### Diagrama Básico Tostación



El proceso continua en hornos de reverberos y convertidores a temperaturas mas elevadas (de 1000° a 1500°C). Se logra así la fusión de los materiales que ingresan. Con ello se obtienen metales, aun en forma impura, con contenidos de metales valiosos. Por ejemplo, en el caso del cobre, se obtiene el cobre ampolloso o blister con un contenido de cobre que alcanza hasta el 99.2%, recuperándose también plata, oro, bismuto, selenio, telurio y arsénico. Las actividades de que consta este proceso son:

#### ❖ FUNDICION DE COBRE

- **PREPARACION DE CAMAS Y MANIPULEO DE MATERIALES DE COBRE:**  
Los concentrados mezclados con los fundentes y otros materiales más, constituyen la materia prima que se va a fundir. En este proceso se preparan los “blending” o “mezclas” adecuadas para optimizar los procesos de fundición los que van a pasar. Aquí también se acondicionan determinados materiales con otros contenidos metálicos que se deseen recuperar. En fundiciones de circuitos compuestos, esta fase del proceso puede constituir costos conjuntos que luego se distribuyen proporcionalmente a los volúmenes preparados o mezclados para cada uno de los circuitos.

El producto resultante, del proceso de preparación, se transfiere a los tostadores de cobre.

- **TOSTADORES DE COBRE:** Proceso que consiste en el calentamiento o tostado de los materiales, a temperaturas de 650° a 800° C (calentamiento y combustión parcial llamado también fusión incipiente debido a que no llega a la fusión), para eliminar: la humedad, el arsénico, y parte del contenido de azufre que contienen los concentrados. El producto obtenido se denomina calcina de cobre y es transferido a los hornos reverberos.
- **REVERBEROS:** Es en los reverberos que la calcina se funde a temperaturas que varían de 1300° a 1500° C, convirtiéndose en una masa líquida dividida en dos capas. La superior que se compone de hierro, sílice y otros, denominada escoria, la que es sacada del reverbero y granulada con agua a presión, para facilitar su manipuleo. La inferior, que está constituida básicamente por el cobre licuado bajo la forma de sulfuro de cobre, se le denomina “mata”, la misma que absorbe casi la totalidad de los metales preciosos (oro, plata, etc.). La mata inmediatamente pasa al proceso de los convertidores.
- **CONVERTIDORES:** La mata caliente transferida de los reverberos es tratada en hornos llamados convertidores, en estos se agregan determinados materiales como sílica y se inyecta oxígeno para producir la oxidación en determinados metales que se encuentran en la mata conjuntamente con el cobre. Los metales oxidados forman escorias que se separan en la parte superior facilitando su eliminación y/o traslado a otras plantas para su posterior recuperación. De los reverberos así como de los convertidores a través de ductos de ventilación se recuperan los humos y polvos que son conducidos a unos filtros antes de ser expulsados los gases al exterior. Deben mencionarse también los nuevos convertidores que utilizan una moderna tecnología, como “Flush Furnaces”, “El Teniente”, “Outokumpu”, etc.
- **SISTEMA DE GASES Y VENTILACION:** En los procesos de tostación, fusión y conversión, se producen gases que forman parte de los recirculantes del

circuito, los mismos que recolectan a través de ductos conduciéndoles hasta los filtros (Cottrelles), todo este proceso identificado con el circuito, forma parte del mismo. Los materiales o polvos recuperados por este sistema reingresan al circuito o son transferidos a otros procesos o subprocesos.

- **MOLDEO:** La mata que se obtiene de los convertidores, constituye el cobre blister y es moldeado en maquinas que normalmente tienen forma cilíndrica y gira a medida que se va vaciando el cobre, el producto de este moldeo lo constituyen los ánodos de cobre.

#### ❖ **FUNDICION DE PLOMO**

- **PREPARACION DE CAMAS Y MANIPULEO DE MATERIALES DE PLOMO:** En forma similar al del circuito de cobre, en el de plomo, los concentrados mezclados con los fundentes y otros materiales mas constituyen la materia prima que se va a fundir. En este proceso se preparan los “blending” o “mezclas” además para optimizar los procesos de fundición por las que van a pasar. Aquí también se acondicionan determinados materiales con otros contenidos metálicos que se deseen recuperar. En fundiciones de circuitos compuestos, esta fase del proceso puede constituir costos conjuntos que luego se distribuye proporcionalmente a los volúmenes preparados o mezclados para cada uno de los circuitos. El producto resultante, del proceso de preparación, se transfiere a los tostadores de plomo llamada también planta de aglomeración.
- **TOSTADORES DE PLOMO:** En este proceso los materiales que provienen de la “cama” de plomo son ingresados a la planta de tostación, llamada también planta de Sinter, el objetivo de este proceso es la eliminación de la humedad y el azufre que contienen los concentrados, el producto resultante o material aglomerado y poroso, es transferido a los hornos de manga.
- **HORNOS DE MANGA:** La materia prima es el sinter o material aglomerado, es cargado a los llamados hornos de manga, hornos verticales o altos hornos, a los que también se carga con coque, que constituye el material de combustión y reductor.

El producto obtenido se denomina “plomo bullion” que es transferido a la planta de espuma.

- **PLANTA DE ESPUMA DE PLOMO:** El plomo bullion, obtenido en los hornos de manga se conduce en tazas a las ollas de la planta de cross, llamado también planta de espumado, donde se elimina el cobre, estaño y otras impurezas bajo la forma de escorias.
- **PLANTA DE MOLDEO:** El plomo bullion que se obtiene de la planta de cross, se vacía a los moldes que están instalados en una tornamesa. El producto resultante son los ánodos de plomo bullion, que serán trasladados a la refinería.
- **REFINACION PIROMETALURGICA:** La refinación puede ser también como en el caso del cobre del tipo Refinación Piro Metalúrgica (refinación a fuego en hornos convertidores, como en la refinería de Ilo).
- **REFINACION POR ELECTRODEPOSICION:** El otro tipo de refinación es la denominada “Electro deposición” (EW) en la cual se refina la solución de sulfato de cobre enriquecida obtenida en la lixiviación pero en este caso en el ánodo se coloca una lamina de acero y en el cátodo una lamina de cobre puro, hacia el cual van los iones de cobre de la solución.

## 2.8 CIERRE Y ABANDONO

- **CIERRE:** Es la preparación (desde el inicio de las operaciones) y ejecución de actividades para restaurar las áreas afectadas por la explotación:

Las fases del proceso de cierre incluyen:

- a. Diseño inicial
- b. Aprobación gubernamental del plan de recuperación y financiamiento.
- c. Recuperación progresiva durante la operación
- d. Fin de la producción con costos asociados al despido del personal
- e. Desmantelamiento de construcciones, re-perfilado de áreas explotadas, para estabilización y propósitos estéticos.

Asimismo la responsabilidad abarca hasta el monitoreo de los posibles efluentes posteriores al cierre y tratamiento de fluentes de la mina.

La etapa entre la paralización de las actividades productivas y el abandono definitivo puede variar desde periodos muy breves hasta casos en que es necesario mantener una acción permanente y sin un término previo.

- **ABANDONO:** Es el momento en que se alcanza el equilibrio por lo que no es necesario mantener los trabajos de control o monitoreo, es en este momento que se considera que la empresa puede retirarse definitivamente del lugar. Cuando es una concesión esta vuelve a ser tomada por el estado.

### **Ejemplos de circuitos productivos de algunas minas peruanas:**

Las empresas mineras en el Perú siguen, todas, los 7 primeros pasos, diferenciándose en el proceso seguido para la recuperación del metal, así se tiene:

**Gran Minería**, se tiene en ésta dos grandes productos, cobre y oro y su circuito productivo se compone de la siguiente manera:

<b>Empresa</b>	<b>Mineral</b>	<b>Ciclo productivo</b>
Minera Cobre 1	Sulfuros de cobre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación</li> <li>- Beneficio</li> <li>- Fundición y refinación piro metalúrgica</li> <li>- Comercialización de refinados</li> </ul>
Minera Cobre 2	Óxidos de cobre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación</li> <li>- Lixiviación (SX)</li> <li>- Electro deposición (EW)</li> <li>- Comercialización de refinados</li> </ul>
Mina Sulfuro de Cobre 1	Sulfuros de cobre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación</li> <li>- Beneficio</li> <li>- Comercialización de concentrados</li> </ul>
Mina Oxidada 1	Óxidos de cobre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación</li> <li>- Lixiviación (SX)</li> <li>- Electro deposición (EW)</li> <li>- Comercialización de refinados</li> </ul>
Minera de Oro 1	Oro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación</li> <li>- Lixiviación</li> <li>- Fundición</li> <li>- Comercialización</li> </ul>
Minera de Oro 2	Oro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación</li> <li>- Lixiviación</li> <li>- Fundición</li> <li>- Comercialización</li> </ul>



## **MOLINO DE BOLAS**

**5 x 8 pies**

**Mediana Minería**, se tiene en esta una gran diversidad de productos, principalmente tenemos el grupo de minas auríferas, minas poli metálicas y una de estaño. Su circuito productivo se compone de la siguiente manera:

<b>Empresa</b>	<b>Mineral</b>	<b>Ciclo productivo</b>
Minera Aurífera 1	Oro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación</li> <li>- Beneficio/lixiviación</li> <li>- Fundición</li> <li>- Comercialización</li> </ul>
Minera Aurífera 2	Oro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación</li> <li>- Beneficio/lixiviación</li> <li>- Fundición</li> <li>- Comercialización</li> </ul>
Minera de Oro 1	Oro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación</li> <li>- Beneficio/lixiviación</li> <li>- Fundición</li> <li>- Comercialización</li> </ul>
Los Metales 1	Polimetálica (Pb, Cu, Zn)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación</li> <li>- Beneficio</li> <li>- Comercialización de concentrados</li> </ul>
Los Metales 2	Polimetálica (Pb, Cu, Zn)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación</li> <li>- Beneficio</li> <li>- Comercialización de concentrados</li> </ul>
Mina del Sur	Sn	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explotación</li> <li>- Beneficio</li> <li>- Comercialización de concentrados</li> <li>- Fundición/refinación</li> <li>- Comercialización de refinados</li> </ul>

### 3. MINERIA A CIELO ABIERTO

#### 3.1 ANALISIS DEL PROCESO DE PERFORACION

##### 3.1.1 Introducción

##### **CLASIFICACION Y PROPIEDADES DE LAS ROCAS**

En explotación a cielo abierto, la elección del equipo, del método de acceso y del sistema de explotación en gran medida depende de las propiedades físico mecánicas de materia útil y de las rocas encajantes, de la forma geológica del yacimiento y del relieve de superficie. Las principales propiedades de las rocas son: dureza, resistencia, estabilidad, peso específico, porosidad, fragilidad, estratificación, esquistosidad, fracturación, esponjamiento, meteorización, permeabilidad al agua y humedad.

- **DUREZA:** Es la resistencia de la roca a la penetración de un bisel hecho de un metal duro. El grado de dureza se determina por: rayado, pulido, perforación, penetración de barras cilíndricas con extremo plano o afilado.
- **TENACIDAD:** Es la resistencia de la roca a la separación de algunos pedazos de su macizo. Las rocas poseen gran resistencia a la compresión y muy poca resistencia a la tracción, corte y flexión.
- **DENSIDAD:** Es la cantidad de masa de roca contenida en unidad de volumen, y se expresa en TM/m<sup>3</sup>.
- **PESO ESPECIFICO:** Es el peso (G) de la roca por unidad de volumen. Generalmente en minería el término de densidad es sinónimo del peso específico.

## Densidad de algunas rocas

### ROCA

Eruptivas	TM/m3
Granito	2.56-2.74
Gabro	2.89-3.09
Andesita	2.44-2.80
Basalto	2.74-3.21

### Sedimentarias

Areniscas	2.59-2.72
Calizas	2.68-2.84
Esquistos arcillosos	2.51-2.72
Arcillas	2.35-2.64

### Metamórficas

Gneiss	2.59-3.00
Esquisto micáceo	2.54-2.97

- **POROSIDAD:** Caracteriza la cantidad de poros en la roca y se mide por el coeficiente de porosidad.
- **FRAGILIDAD:** Es la capacidad de roca de romperse o destruirse bajo carga eléctrica.
- **PLASTICIDAD:** Propiedad de las rocas de deformarse sin destruirse.
- **FRACTURACION:** Se caracteriza por la presencia en rocas de fracturas.
- **ESQUISTOCIDAD:** Propiedad de las rocas principalmente metamórficas de dividirse en lamina de acuerdo a una dirección preferente. La propiedad de minerales y rocas de separarse más o menos fácilmente de la masa según una o varias direcciones se denomina clivaje.
- **METEORIZACION:** Grado de descomposición de roca bajo la acción del aire, agua y temperatura.

- **DESGARRABILIDAD:** Se caracteriza por el coeficiente de esponjamiento, el cual indica cuanto mayor es el volumen de la roca desgarrada con respecto al volumen de misma roca in situ.
- **HUMEDAD:** Caracteriza el contenido de agua en roca.
- **HINCHAMIENTO:** De una roca, se entiende su capacidad de aumentar el volumen bajo saturación con agua.
- **PERMEABILIDAD:** El grado de permeabilidad al agua de las rocas se determina por el tamaño de los varios, grietas, y poros.
- **ANGULO DE TALUD NATURAL:** Angulo que adquiere una roca in situ o suelta.

La dureza, resistencia, tenacidad, fragilidad y densidad determinan los métodos de desgarramiento y de separación del macizo, ósea de elección del equipo de perforación y de las excavadoras.

La estabilidad, esquistocidad, fracturación y meteorización de las rocas determinan la estabilidad de bancos y de bordes de canteras, y en consecuencia influyen sobre la seguridad de los trabajos mineros.

### **TERIMNOLOGIA Y DEFINICIONES**

- **OPEN PIT:** Por “open pit” (termino ingles, castellanizado) se denomina una explotación a cielo abierto de un yacimiento. Los “open pits” para explotación de carbón se denominan cortas y, para rocas de construcción, canteras.
- **BANCO:** Es el modulo o escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la rebanada que se explota de estéril o mineral, y que es objeto de excavación desde un punto del espacio hasta una posición final preestablecida. Puede pues ser comparado con un escalón en el terreno. El yacimiento trabajado a cielo abierto se divide en bancos horizontales, explotados con avance de los bancos superiores sobre inferiores. Por esto, los bordes de las cortas tienen forma escalonada. Cada banco se explota por separado y tiene su equipo propio.

- **ALTURA DEL BANCO:** “K” (metros) es la distancia vertical entre dos niveles, o lo que es lo mismo, desde el pie del banco hasta la parte más alta o cabeza del mismo.
- **PIEDRA BURDEN O DISTANCIA DE MENOR RESISTENCIA:** “V” (metros) es la distancia perpendicular entre dos hileras adyacentes de taladros. Se mide en ángulo recto con la inclinación del taladro. En taladros inclinados no será pues, igual a la distancia que puede ser medida sobre la superficie superior del banco.
- **ESPACIAMIENTO “E” (metros):** Es la distancia entre dos taladros, uno junto a otro en la misma hilera de taladros.
- **DIAMETRO DEL TALADRO “Db” (milímetros o pulgadas):** Es el diámetro del agujero que se va a perforar, y que tiene forma de cilindro alargado.
- **LONGITUD DEL TALADRO “H” (metros):** Es el largo del hueco perforado que a causa de la inclinación y la sobre perforación ser mas largo que la altura del banco.
- **INCLINACION DEL TALADRO:** Los taladros en un banco pueden ser perforados verticalmente o inclinados. Cuanto mas se inclinen los taladros, menos constricción tendrán ya que el ángulo de deflección en el fondo aumenta con el incremento de inclinación.
- **SOBRE-PERFORACION “U” (metros):** Es el exceso de longitud de un taladro situado bajo el fondo teórico del banco.
- **CARGA DE FONDO “Lb” (Kg./m):** Es la carga más potente que es requerida en el fondo del taladro, debido a que la roca es más resistente en esa parte.
- **CARGA DE COLUMNA “Lp” (Kg./m):** Es la carga encima de la carga de fondo. Puede ser de menor potencia ya que la roca, en esta parte, no es tan resistente.
- **ATACADO (o retacado):** Es el estéril usado en la parte sin carga superior del taladro y consiste de arena seca, detrito o similares. El propósito del atacado es, por ejemplo, evitar que al momento de la detonación los gases se dirijan hacia arriba arrancando partículas de roca alrededor del collar (boca) del taladro.

- **CARGA ESPECÍFICA O FACTOR DE POTENCIA (Kg./m<sup>3</sup>):** Es la cantidad de explosivo (en kg) usada por m<sup>3</sup> de roca volada.
- **PERFORACION ESPECÍFICA O FACTOR DE PERFORACION (m/m<sup>3</sup>):** Es la expresión usada para el número de metros que deben ser perforados por metro cúbico de roca volada.
- **GRADO DE COMPACTACION DE LA CARGA DE FONDO (Kg./dm<sup>3</sup>):** Es el peso del volumen del explosivo en la carga de fondo.
- **ESCOMBRERAS O VERTEDEROS:** Son los vaciaderos de roca estéril, y, pueden ser interiores o exteriores.

### **METODO DE EXPLOTACION A CIELO ABIERTO**

El agotamiento progresivo de los depósitos minerales próximos a la superficie y de alta ley ha obligado a las compañías explotadoras a considerar los yacimientos profundos, con condiciones geológicas más complejas y situaciones más desfavorables en cuanto a relaciones estéril a mineral, aguas subterráneas, estabilidad de taludes, etc.

La necesidad de garantizar la viabilidad económica de las operaciones ha exigido durante las tres últimas décadas, a aprovechar las economías de escala, con fuertes ritmos de producción y maquinaria de gran tamaño. Después de la Segunda Guerra Mundial el diseño de los equipos evoluciono y se perfecciono hasta adoptar las formas que hoy día se consideran clásicas. Se produjo primero un aumento espectacularmente rápido en las dimensiones de las maquinas, que en general se caracterizaban por estar impulsadas por robustos motores diesel de régimen lento y aspiración natural, que se acoplaban a transmisiones mecánicas.

Paralelamente, algunos fabricantes ensayaban y desarrollaban maquinas con transmisiones eléctricas. Estas unidades llevaban su propio grupo electro generador arrastrado por un motor diesel. Esta tendencia no se generalizo, por los problemas de disponibilidad y fiabilidad que surgieron. Posteriormente, con la primera crisis de la energía a comienzos de los años 70, durante la cual se produjo una elevación desproporcionada de los productos petrolíferos con respecto a las tasas generales de inflación, las empresas explotadoras se vieron forzadas a considerar los sistemas continuos de extracción, basados fundamentalmente en el transporte con

cintas, debido a las ventajas económicas que ofrecía la energía eléctrica generada con otros combustibles mas baratos, como el carbón.

La minería a cielo abierto sufrió un importante impulso innovador, al seguir aportando mas del 70% de los productos minerales en todo Edmundo y la maquinaria que se empleaba paso a evolucionar no tanto en un crecimiento en tamaño, como en la mejora de la fiabilidad de sus componentes y automatización de funciones y mecanismo. Esta evolución se ha traducido en un incremento de los rendimientos, un mejor aprovechamiento energético, una mayor disponibilidad de la maquinaria y, en esencia, en un abaratamiento de costes.

Seguidamente se hace una breve descripción de los principales métodos que se aplican en minería de superficie, destacando las características que deben cumplir los yacimientos y algunos aspectos operativos de interés.

**CORTAS:** En yacimientos masivos o de capas inclinadas, la explotación se lleva a cabo tridimensionalmente por banqueo descendente, con secciones transversales en forma tronco cónica. Este método es el tradicional de la minería metálica y se adapto en las últimas décadas a los depósitos de carbón introduciendo algunas modificaciones.

La extracción, en cada nivel, se realiza en bancos con uno o varios tajos. Debe existir un desfase entre bancos a fin de disponer de unas plataformas de trabajo mínimas para que operen los equipos a su máximo rendimiento y en condiciones de seguridad. Las pistas de transporte se adaptan a los taludes finales, o en actividad, permitiendo el acceso a diferentes cotas.

El ataque al mineral se realiza de techo a muro, como en cualquier otro método, pero más particularmente en las minas de carbón, donde se precisa efectuar la limpieza de los hastiales de las capas. En estas explotaciones se suele disponer de bancos en estéril de mayor altura que en el mineral, pues en estos últimos tal dimensión esta limitada por el alcance de los equipos de limpieza y por la necesidad de evitar los derrabes y, por ende, el ensuciamiento el carbón cuando se supera la altura critica de los frentes descubiertos.

**DESCUBIERTAS:** Se aplica en yacimientos tumbados u horizontales donde el recubrimiento de estéril es inferior, por lo general, a los 50 m. Consiste en el avance unidireccional de un modulo con un solo banco desde el que se efectúa el arranque del

estéril y vertido de este al hueco de las fases anteriores; el mineral es entonces extraído desde el fondo de la explotación, que coincide con el muro del depósito.

Una vez efectuada la excavación del primer módulo, o hueco inicial, el estéril de los siguientes es vertido en el propio hueco de las fases anteriores, de ahí que sea por naturaleza el más representativo de los métodos de transferencia.

Para el movimiento del estéril los sistemas y equipos mineros utilizados son muy variados. Si las reservas a explotar son elevadas, esta justificada la utilización de grandes dragaminas, excavadoras de desmonte o, incluso, rotapalas con brazo apilador que permiten arrancar de forma directa, o con pre - voladura, el estéril y verterlo en el hueco adyacente. Si, por el contrario, las reservas de mineral están limitadas y el estéril de recubrimiento no es muy importante, puede aplicarse el mismo método pero con equipos convencionales como son los tractores, las palas cargadoras, etc. La extracción del mineral se realiza casi siempre con equipos convencionales.

Este grupo de métodos se caracteriza por su simplicidad, por la concentración de los trabajos y por la reducida distancia de transporte, tanto en horizontal como en vertical, permitiendo una fácil y económica restauración de los terrenos.

**TERRAZAS:** Este método se basa en una minería de banqueo con avance unidireccional. Se aplica a depósitos relativamente horizontales de una o varias capas o estratos de mineral y con recubrimientos potentes que obligan a depositar el estéril en el hueco creado, transportándolo alrededor de la explotación.

**CONTORNO:** En yacimientos semi horizontales y con reducida potencia, donde la orografía del terreno hace que el espesor del recubrimiento aumente de forma considerable a partir del afloramiento del mineral, se realiza una minería conocida como de contorno. Consiste en la excavación del estéril y mineral en sentido transversal hasta alcanzar el límite económico, dejando un talud de banco único, y progresión longitudinal siguiendo el citado afloramiento. Dado el gran desarrollo de estas explotaciones y la escasa profundidad de los huecos, es posible realizar una transferencia de los estériles para la posterior recuperación de los terrenos.

Dentro de este grupo existen diversas variantes, en función de la secuencia de avance planteada y equipos mineros empleados. De estos últimos los más utilizados son los tractores de orugas, las palas cargadoras, las escavadoras hidráulicas y los volquetes.

**ESPECIALES:** Este grupo de métodos se aplica en aquellos depósitos en que, por sus características, se llega muy rápidamente al límite de explotación por minería a cielo abierto. Así ocurre, normalmente cuando se aplica una minería de contorno en yacimientos de carbón que deja una parte de los recursos sin explotar. Si estos recursos no pueden ser extraídos de forma rentable por minería de interior convencional, pueden aplicarse los siguientes métodos especiales y conocidos en los países sajones por: Auger Mining, Punch Mining y Longwall Strip Mining. Son métodos que consisten en minar o taladrar desde el exterior la capa de carbón, siguiendo los frentes descubiertos de estas.

Exigen la preparación de un banco o plataforma para situar las máquinas de arranque y unidades de transporte del carbón. Estas plataformas pueden ser las que, de una manera temporal, se dejan en la minería de contorno o las que a propósito se realizan, a modo de trinchera o zanja cuando el recubrimiento no es demasiado potente o esta justificado su creación en alguna zona del yacimiento.

Los equipos utilizados son los que en este caso definen su propio método. La potencia de las capas que pueden explotarse va desde 0.5 a 2.5 m., no debiendo presentar trastornos geológicos ni intercalaciones de materiales abrasivos y requiriéndose también de techo geo mecánicamente competentes.

**CANTERAS:** canteras es el término genérico que se utiliza a las explotaciones de rocas industriales y ornamentales. Se trata por lo general, de pequeñas explotaciones próximas a los centros de consumo, debido al valor relativamente escaso que poseen los minerales extraídos, que pueden operarse mediante los métodos de banco único de gran altura o bancos múltiples. Este último es el más adecuado, ya que permite realizar los trabajos con mayores condiciones de seguridad y posibilita la recuperación más fácil de los terrenos afectados.

Las canteras pueden subdividirse en dos grandes grupos, el primero, donde se desea obtener un todo-uno fragmentado y apto para alimentar a la planta de tratamiento y

obtener un producto destinado a la construcción, en forma de áridos, a la fabricación de cemento, etc., y el segundo, dedicado a la explotación de rocas ornamentales que se basa en la extracción cuidadosa de grandes bloques paralelepípedos que posteriormente se cortaran y elaboraran. Estas últimas canteras caracterizan por el gran número de bancos que se abren para arrancar los bloques y la maquinaria especial de arranque con la que se obtienen planos de corte limpios.

**GRAVERAS:** Los materiales del tipo aluvial, situados en las terrazas de los cauces, y constituidos por arenas y cantos rodados poco cohesionados se extraen en estas explotaciones en forma de gravas o zahorras naturales.

Generalmente, se lleva un solo banco, dependiendo de la potencia del depósito, y la maquinaria empujada puede ser convencional, si se trabaja en condiciones secas, o constituida por dragaminas, dragas y scraper, si la extracción se realiza por debajo del nivel freático.

**DISOLUCION Y LIXIVIACION:** Algunos yacimientos de sales, como la glauberita, la Silvita, etc., se explotan procediendo primero a la descubierta del estéril superficial, para después fragmentar el mineral mediante voladuras y seguidamente efectuar su disolución mediante la circulación de agua, que es recuperada como una salmuera que, mediante un sistema de tuberías y bombas, se lleva hasta la planta metalúrgica en la que se encuentran unos cristalizadores que permiten obtener el producto final.

La lixiviación consiste en la extracción química de los metales o minerales contenidos en un depósito. El proceso es fundamentalmente químico, pero puede ser también bacteriológico. Si la extracción se realiza sin extraer el mineral se habla de “lixiviación in situ”, mientras que si el mineral se arranca, transporta y deposita en su lugar adecuado, el método se denomina “lixiviación en pilas”. Una variante consiste en tratar el mineral, después de su molienda, en tanque que disponen de agitadores, conociéndose el procedimiento como “lixiviación dinámica”.

**DRAGADO:** En mineralizaciones especiales, como son las metálicas de oro, casiterita, etc., contenidas en aluviones, resulta interesante la aplicación del método de dragado, inundado previamente la zona de explotación.

Este método es económico cuando la propia agua de inundación se utiliza en el proceso de concentración, como ocurre con la separación gravimétrica. Las dragas, además del sistema de extracción que utilicen, cangilones, cabeza de corte, etc., incorporan la propia planta de tratamiento sobre la plataforma, cribas, ciclones, jigs, etc., capaces de tratar grandes volúmenes de material y de un sistema de evacuación de los estériles a la zona ya explotada.

### 3.1.2 Perforación

➤ **PERFORACION EN EL METODO DE VOLADURA DE BANCOS:**

**ALTURA DEL BANCO:** La altura del banco se establece, generalmente, a partir de las dimensiones de los equipos de excavación y carga, las características del macizo y las exigencias de selectividad.

Fundamentalmente es el quipo de carga, y la altura máxima que alcanza el cucharón, el condicionante para establecer la altura del banco. Este criterio permite utilizar la pala o excavadora para sanear cualquier punto del frente y mantener unas condiciones operativas de seguridad aceptables.

La experiencia de las explotaciones a cielo abierto más tecnificadas sugiere alturas máximas comprendidas entre 10 y 20 m.

**VENTAJAS DEL BANCO ALTO:** Dentro de la gama recomendada, las alturas mayores tienen, no obstante, las siguientes ventajas:

- La principal ventaja de bancos de gran altura es que el íntegro del trabajo es efectuado en una sola etapa.
- Mayor rendimiento de la perforación al reducirse los tiempos muertos de cambio de posición y la menor repercusión de los costes relativos a sobre perforación y explosivos.
- Una geometría de voladura óptima, dentro de la tendencia actual hacia mayores diámetros de perforación, que exige mayores alturas de banco.

- Mejora de los rendimientos de los equipos de carga al reducirse los tiempos muertos por cambio de tajo, así como por desplazamientos del equipo dentro del mismo.
- Menor número de bancos y, por tanto, mayor concentración y eficiencia de la maquinaria.
- Infraestructura de accesos más económica por menor número de niveles de trabajo.

**VENTAJAS DEL BANCO BAJO:** Las ventajas de una altura de banco reducida son las siguientes:

- Mejores condiciones de seguridad para el personal y maquinaria, pues el alcance de las máquinas de carga permite un mejor saneo y limpieza de los frentes durante la operación.
- Control más efectivo de la desviación de los barrenos, especialmente si se utilizan perforadoras de martillo en cabeza.
- Menores cargas operantes de explosivo, por lo que, con secuencias de encendido adecuadas, se disminuyen los problemas de vibraciones y onda aérea.
- Mayor rapidez en la ejecución de rampas de acceso entre bancos.
- Mejores condiciones para la restauración y tratamiento de los taludes finales.

La selección de la altura óptima es pues, el resultado de un análisis técnico económico apoyado en estudios geotécnicos que incluyan el aspecto de seguridad de las operaciones, así como en estudios de recuperación de los terrenos afectados por las actividades mineras.

Como orientación, el alcance máximo de la gama mayor de palas de ruedas no suele sobrepasar los 10 m., mientras que para determinados modelos de excavadoras, tanto de cables como hidráulicas, puede alcanzar los 18 m.

**DIAMETRO DEL TALADRO:** La elección del diámetro del agujero está supeditada a la elección del equipo de perforación y viceversa.

La altura del banco influye de manera tal que excluye dimensiones menores para bancos altos, como consecuencia del equipo pesado a utilizar.

El factor más importante es el volumen de producción. Una producción mayor requiere diámetros de agujeros más grandes ya que la tendencia es a perforar tan pocos agujeros como sea posible con el equipo más grande que se pueda.

Una dimensión mayor de taladro normalmente proporciona fragmentaciones mas toscas de roca a una carga especifica constante. Es, por tanto normal, que dimensiones mayores de taladros deriven en un consumo mayor de explosivos para reducir la fragmentación hasta un tamaño razonable.

**INCLINACION DEL TALADRO:** La formula para calcular la distancia de menor resistencia (a que posteriormente nos referiremos) está basada en una inclinación de taladros estándar de entre 3:1 y 2:1.

Si la perforación va a ser efectuada con otras inclinaciones, la distancia de menor resistencia y el espaciamiento deben ser ajustados respectivamente.

Si los taladros van a ser perforados verticalmente, será necesario disminuir la distancia de menor resistencia y el espaciamiento en aproximadamente 5% por decir, la superficie del taladro,  $E \times V$ , es reducida en aproximadamente un 10.25%.

Otra ventaja de taladros inclinados es que se obtiene un mejor contorno de banco y el riesgo de que los taladros patean hacia atrás es cada vez menor.

**DISTANCIA DE MENOR RESISTENCIA (DMR), BURDEN o PIEDRA (V):** El calculo de la distancia de menor resistencia en la voladura de bancos es un procedimiento comparativamente complejo, si se deben considerar todas las variantes.

Sin embargo, se ha elaborados formulas simples para este calculo, en las cuales parte de las variables se han hecho constantes, es decir, que las formulas son validas bajo ciertas condiciones.

Una de las condiciones es que el grado de compactación en la carga de fondo, es decir el peso del volumen del explosivo en la cara del fondo, debe ser de 1.27 Kg./dm<sup>3</sup> (1,270 gr./cc).

Este grado de compactación ha sido elegido porque se relaciona con la formula:

En la cual:

$$Lb = db \cdot db / 1000$$

$$Lb = \text{carga de fondo en Kg./m}$$

$$db = \text{diámetro del taladro en el fondo, en mm.}$$

**EJEMPLO:** Sea un taladro de 75 mm de diámetro, calcular la carga de fondo (Lb) y el grado de compactación de la carga de fondo.

$$Lb = 0.75 * 0.75 * 0.001 = 5.625 \text{ Kg./m}$$

$$\text{Grado de compactación} = Lb / (\text{volumen en dm cúbicos- de 1 m lineal del taladro})$$

Volumen de un metro lineal (en dm cúbicos) = base \* altura

$$\text{Base} = 3.14 * 0.375 \text{ dm} * 0.375 \text{ dm} = 0.4415625 \text{ dm}^2$$

$$\text{Altura} = 10 \text{ dm}$$

$$\text{Volumen} = 4.415625 \text{ dm}^3$$

$$\text{Grado de compactación} = 5.625 \text{ Kg} / 4.415625 \text{ dm}^3 = 1.27 \text{ Kg./dm}^3$$

La máxima distancia de menor resistencia es proporcional al diámetro del taladro y normalmente es establecida  $V_{max} = 0.045 \text{ db}$  en mm.

$$\text{EJEMPLO: sea } db = 75 \text{ mm; } V_{max} = 0.045 * 75 = 3.4 \text{ m}$$

La distancia máxima debe, sin embargo, ser reducida ya que los taladros no pueden ser perforados exactamente de acuerdo a la dirección teórica.

La desviación en perforación es el resultado de fallas en el emboquillado y fallas de dirección.

Las fallas de emboquillado no deben exceder de 0.1 m y la falla de dirección normalmente es del orden de 3-10 cm/m. La cantidad más alta proviene de herramientas manuales, mientras que la cantidad menor resulta del equipo mecanizado del tipo vagones

perforados. Sin embargo, no se deben tomar en cuenta desviaciones menores de 3 cm/m, si no se toman medidas adicionales.

La distancia de menor resistencia (V1) a ser usada en el terreno será:

$$V1 = V_{max} - 0.1 - 0.03K$$

Como se menciona anteriormente esto se ha basado en el grado de compactación 1.27 kg /cm<sup>3</sup>.

En bancos altos y diámetros de agujeros de 2.5`a 3`es muy usual realizar cargas especiales en envases plásticos con un diámetro de cerca de 10 mm menor que aquel taladro (para taladros de 64 mm, cartuchos de 55 mm, para taladros de 76 mm, cartuchos de 65 mm).

Si estas cargas no están empaquetadas, que es frecuentemente el caso, el grado de compactación será menor que el deseado.

Ejemplo:

Taladro de 76 mm y cartuchos de 65 mm Peso del cartucho = 4.6 kg/m Volumen del taladro/m = 4.5 dm <sup>3</sup> Grado real de compactación = 1.0 Kg./m
--

En la practica la piedra V1 suele coincidir (medida en metros) con el diámetro de perforación (medido en pulgadas), considerando que una pulgada equivale aproximadamente a 25.4 mm (68 mm equivale aprox a 2.7 pulgadas)

**Si la altura del banco es menor que 2V, las formulas arriba detalladas no serán validas, pero la distancia de menor resistencia entonces dependerá también de la altura del banco.**

**ESPACIAMIENTO:** Las formulas de calcular cargas están basadas en un espaciamiento de 1.25 a 1.3 veces la distancia de menor resistencia. Aquí existe, sin embargo, una posibilidad de variar ambos, la distancia de menor resistencia y el espaciamiento si, a la misma vez, se comprueba que el volumen a ser volado por taladro es constante, es decir,  $E \times V$  es constante. Por supuesto, el numero de metros m<sup>3</sup> perforados será también constante en tal modificación.

**DISTRIBUCION DE LA CARGA:** Cuando se carga un taladro para voladura de banco, es importante que el explosivo sea distribuido de manera correcta en el taladro, a fin de que el efecto de voladura de los mejores resultados. Debido al hecho de que la roca es mas compacta en el fondo, una carga mas potentes allí necesaria a fin de que la porción de roca pueda ser volada a nivel del fondo teórico.

**La carga de fondo, la cual debe ser compacta, debe tener una altura de 1.3 veces la distancia de menor resistencia.** Esto significa que la altura sobre el fondo teórico es =  $V$ , ya que también la sobre perforación.  $0.3V$  es cargada con la carga del fondo.

**La carga de columna debe tener una concentración de aproximadamente la mitad e la carga de fondo** y puede, de preferencia, consistir de cartuchos apilados sueltos, o amonio-nitrato, u otros explosivos con un efecto de voladura menor.

**La carga de columna es cargada hasta una distancia igual a  $V$  desde el collar del taladro.** La parte remanente, el atacado, es llenado con arena o detrito. A menudo la carga de columna sobrepasa la altura teórica para que se produzcan menos bloques.

**En resumen si la altura del banco son 10 metros y el diámetro de perforación 3 pulgadas (76 mm), la piedra asciende a 3 metros. La perforación será (hipótesis vertical) de 13 metros; la carga de fondo rellena 6 metros ( $v+u$ ), el atacado ocupa otros 3 metros y el resto, es decir 4 metros es relleno con carga de columna.**

**ESPONJAMIENTO:** Cuando se vuela una serie de taladros con un gran número de hileras o cuando las series precedentes aun permanecen, una carga más potente es necesaria con el objeto de que la roca ya quebrada sea empujada hacia delante y también pueda esponjarse al máximo.

Si un mayor número de hileras son voladas en un banco donde el material solamente puede esponjar verticalmente, se obtendrá gradualmente una posición equilibrada, donde el punto de gravedad de las masas de roca debe elevarse aproximadamente un 40% a 50%. Para hacer esto posible, suele utilizarse una carga adicional, el tamaño de la misma será proporcional a la altura del banco. El tamaño de esta carga también dependerá de la inclinación del taladro. Para una inclinación de taladro de 2:1 y un requerimiento de esponjamiento totalmente desarrollado, una carga adicional de 0.04K Kg./m<sup>3</sup> es suficiente; es decir, para un banco de 10 m de alto sería requerido 10 x 0.04 Kg./m<sup>3</sup> adicionales para el esponjamiento.

**Si la inclinación del taladro es de 3:1, se requerirán el doble de cantidades de carga.** Sin embargo, muy raras veces se vuelan tantas hileras como para que este esponjamiento se produzca. En los casos normales, un pequeño número de hileras son voladas, significando que ya existe una carga adicional para el procedimiento de esponjamiento cuando la perforación defectuosa ha sido considerada.

En túneles y cámaras de roca, donde el método de trabajo es, al frente y banqueo, el esponjamiento debe ser tomado en cuenta cuando el banco es volado, ya que las masas en ese caso solo se pueden esponjar verticalmente.

En caso de ser necesaria la corrección de la línea de menor resistencia y el espaciamiento, para el esponjamiento, la siguiente fórmula puede ser usada:

$$V = V(1 - K \times K)$$

**FACTOR DE ROCA ( C ):** En las fórmulas de carga, el así llamado factor de roca, ha sido incluido. Este es la medida de la resistencia de la roca a la voladura.

Este factor de roca tiene, en casos normales, el valor de 0.4 Kg./m<sup>3</sup>, pero puede variar entre 0.2 (roca fácil de volar) y 1.2 (roca difícil de volar).

**FRAGMENTACION DE LA ROCA – LOS BLOQUES:** La fragmentación fina de roca es normalmente el objetivo, puede conseguirse aumentando la carga específica de explosivo, lo que exige cambiar la DMR y el espaciamiento.

Un bloque es un volumen demasiado grande para ser manipulado durante el proceso subsecuente, por lo que el problema podría estar en la trituradora o en la cargadora.

Los bloques siempre aparecen, más o menos en forma frecuente.

Una frecuencia elevada de bloques reduce la capacidad de carga y, exige una voladura secundaria, que inevitablemente causa interrupciones en la producción. Una

frecuencia elevada de bloques, por lo tanto, es causa para proceder a cambiar los parámetros de perforación y aumentar la cantidad de carga de explosivo.

La voladura puede ser aplicada para romper los bloques, ya sea perforando un taladro en el bloque y cargándolo o mediante una plasta. La perforación permite la voladura con una cantidad muy limitada de explosivos.

La carga C deberá ser mucho más poderosa (0.6 – 1.0 Kg./m<sup>3</sup>), y a menudo conlleva riesgos de daños a los alrededores por fragmentos de roca volando.

#### ➤ **VOLADURA DE CONTORNO**

En una colocación normal de los taladros de acuerdo al principio de máxima distancia de menor resistencia práctica, los bordes a lo largo de los límites de la tanda serán desiguales, rotos y figurados luego de la potente carga explosiva.

Por medio de la voladura de contorno se obtiene un borde más parejo, lo cual es de gran importancia en los trabajos de voladura de roca para construcción de carreteras, cimentación de casas, etc.

Voladura de contorno equivale a que todos los taladros son perforados más juntos a lo largo de la línea de contorno, que tienen una menor distancia de menor resistencia y que son cargados más débilmente.

Para obtener una concentración de carga menor y adecuada a lo largo de la longitud total del taladro a menudo se usan cargas especiales.

Las cargas especiales consisten de un explosivo comparativamente débil, compactado en tubos largos, delgados de plástico que se pueden conectar el uno al otro.

El espaciamiento en la voladura de contorno es casi la mitad del usado en la voladura normal y varia consecuentemente dependiendo del diámetro del taladro usado.

En el cuadro siguiente se puede apreciar la distancia de menor resistencia y el espaciamiento normal en función de la dimensión del taladro.

DIAMETRO TALADRO	E	V
32 mm	0.5 – 0.6	0.7 – 0.8
41mm	0.5 – 0.6	0.7 – 0.8
50 mm	0.7	0.9
64 mm	0.8	1.2
76 mm	1.0	1.4

**En principio, todos los taladros a que se aplica la voladura de contorno deben ser volados al mismo tiempo, al último en la tanda.** Sin embargo, esto no es siempre factible sino que los taladros deben ser ajustados a la secuencia normal de detonación.

#### ➤ **PRECORTE**

El precorte es un método para lograr un grado de igualdad en el contorno, mayor que el obtenido mediante voladura de contorno.

En el precorte, los taladros del contorno son perforados mas pegados que en la voladura de contorno, 0.3 – 0.4 m de espaciamiento para taladros de 32 mm, 0.6 – 0.9 m para taladros de 76 mm.

La voladura de contorno y el precorte últimamente han llegado a ser un elemento frecuente de voladura en los lugares de trabajo. La razón para esto es la ampliación de los conocimientos en los métodos de voladura y la importancia de la calidad de la voladura y el aprovisionamiento de cargas de tuberías adecuadas. Debería, sin embargo, señalarse que en gran forma los resultados de la voladura depende de la operación de perforación y de la precisión de la misma con referencia al alineamiento de los taladros.

➤ **VOLADURA DE AMPLIO ESPACIAMIENTO**

La tendencia actual de las canteras y minas a cielo abierto esta orientada hacia diámetros de taladros más grandes, unidades más grandes y menor participación de la mano de obra.

Los mayores diámetros de taladros dan como resultado distancias de menor resistencia y espaciamentos incrementados, una consecuencia de lo cual es un aumento en la frecuencia y tamaño de los bloques.

Para mejorar este problema se han realizado experimentos en los últimos años cambiando de lugar los taladros para disminuir la frecuencia y el tamaño de los bloques. Lo que si ha sido examinado es la forma como varia la fragmentación de la roca si se alteran la distancia de menor resistencia y el espaciamiento.

Una espaciamiento entre 4 a 8 veces la distancia de menor resistencia ha sido entonces usado, por supuesto reteniendo el valor  $E \times V$ , es decir, **numero de taladros, perforación especifica y carga son constantes.**

Se ha comprobado, tanto en pruebas de laboratorio como en el terreno, que la frecuencia de los bloques se hace menor. Una capacidad mayor de limpieza también se ha obtenido en las pruebas completas en las cuales se presenta una fragmentación más pequeña de la roca en general.

El método ha sido principalmente usado en canteras, donde grandes superficies de bancos están disponibles. En el trabajo de construcción, es algo limitado, ya que los bancos allí tienen un ancho limitado.

## 3.2 ANALISIS DE LOS PROCESOS DE VOLADURA Y CARGUIO

### 3.2.1.- VOLADURA

#### ➤ CARACTERISTICAS DE UNA REACCION EXPLOSIVA:

Un explosivo es una sustancia que, incitada por un impulso, es capaz de sufrir en algunos milisegundos una transformación química acompañada por producción de calor y formación de gases bajo enorme presión; estos al calentarse y dilatarse, producen trabajo mecánico. Cuando el explosivo en un taladro esta detonando, se produce una onda de choque en la roca, que viaja a 300 – 500 metros por segundo, causando fisuras radiales que surgen desde la región del taladro. Si la onda de choque llega a una cara libre, se refleja, creándose una onda de tensión. Debido a que la roca es menos resistente a la tensión que a la compresión, fisuras posteriores son desarrolladas .finalmente, los gases penetran en las fisuras a una presión elevada y la rotura se completa.

Casi todos los explosivos industriales tienen en su composición los componentes combustibles (carbono e hidrogeno) y oxidantes (oxigeno unido con nitrógeno). Pero se conocen explosivos que en su composición no contienen componentes combustibles ni oxigeno. Como ejemplo, citemos azida de plomo  $PbN_6$ .

Todos los explosivos son sistemas poco estables químicamente que bajo una acción extrema pueden pasar al estado mas estable. Para algunos explosivos, como impulso inicial puede servir una pequeña cantidad de energía comunicada al explosivo en forma de calor o acción mecánica (choque razonamiento).

El impulso inicial producido por el fulminante hace salir del estado de equilibrio al explosivo iniciando la detonación la cual prosigue rápidamente por la energía que se libera progresivamente.

El proceso de descomposición de un explosivo, dependiendo de muchos factores exteriores e interiores, se realiza con una intensidad diferente expresada por la velocidad de su reacción.

➤ **DESCOMPOSICION DEL EXPLOSIVO:**

Se diferencia tres (3) formas de la descomposición del explosivo:

- **QUEMADO:** Es la descomposición del explosivo bajo presión aumentada por la velocidad de algunas decenas de metros por segundo, sin ejecución del trabajo mecánico.
- **DEFLAGRACION:** O propagación de la explosión sin paso de la onda de choque, con velocidad menor que la velocidad del sonido (algunos centenares de metros por segundo). Un explosivo lento, tal como pólvora negra, generalmente deflagra.
- **DETONACION:** Es la propagación de la explosión con paso de una onda de choque, con una velocidad supersónica (del orden de algunos miles de metro por segundo). A este numeroso grupo de explosivo pertenecen: dinamitas, ANFO., gelatina explosiva, iniciadores, etc.

➤ **BALANCE DE OXIGENO:**

Es la diferencia entre la cantidad de oxígeno, contenido en el explosivo, y su cantidad necesaria para oxidación completa de todo el carbono en CO<sub>2</sub> y de hidrógeno en H<sub>2</sub>O. El balance de oxígeno se expresa en % y puede ser positivo cero o negativo. Por lo general, los explosivos utilizados en minería tiene balance cero o un pequeño balance positivo, ya que esto asegura mayor producción de energía y se forma menor cantidad de gases tóxicos.

➤ **PROPIEDADES BASICAS DE LOS EXPLOSIVOS:**

Las siguientes propiedades de los explosivos tienen importancia práctica: fuerza, velocidad de detonación, densidad, poder rompedor, presión de detonación, sensibilidad, resistencia al agua y el volumen de los gases producidos durante la explosión.

- **FUERZA, POTENCIA O EFECTO VOLADURA:** Es la energía disponible en una detonación, desde hace tiempo ha sido utilizado para evaluar se capacidad de trabajo. La fuerza depende del volumen de los gases formados y del calor desprendido durante la explosión y, sobre todo, de la rapidez de la reacción, la cual acondiciona el desarrollo de alta presión. Dos explosivos de misma energía, según la velocidad de su liberación, pueden producir efectos diferentes, de modo que la energía disponible por si sola no es suficiente para predecir la rotura.
- **PODER ROMPEDOR:** Es la capacidad de triturar mediante el explosivo una roca en pedazos relativamente pequeños. El ensayo referente al poder rompedor se determina por el valor de compresión de un pequeño cilindro de plomo con la explosión de una carga de 50 g. la diferencia en milímetros entre la altura del cilindro, antes y después de la explosión, caracteriza el poder rompedor de la carga. El poder rompedor esta unido con la velocidad de detonación de un explosivo; cuanto mayor es la velocidad de la detonación, tanto mayor es el poder rompedor.
- **VELOCIDAD DE DETONACION:** Es la velocidad con la cual se mueve el frente de detonación a través de una columna de explosivo. Varía para productos comerciales entre 1600 y 7500 m/seg. Una alta velocidad de detonación produce la fracturación deseada para condiciones difíciles de voladura; en cambio que los productos de baja velocidad producen una acción de empuje satisfactoria para los requerimientos menos exigentes típicos en la mayoría de voladuras. La velocidad de detonación depende también de la densidad y del diámetro del explosivo.
- **DENSIDAD** (expresada en términos del peso específico): Es el cociente entre el peso del explosivo y el volumen ocupado por el. Para los productos comerciales varía de 0,5 a 1,7. a mayor capacidad de rotura del explosivo.
- **PRESION DE DETONACION:** Es el mejor indicador de habilidad de un explosivo para quebrantar una roca dura.

- **RESISTENCIA AL AGUA:** Es la capacidad de estar en contacto con el agua sin perder su sensibilidad o eficiencia. Los productos gelatinosos, tales como dinamita gelatinosa y papillas (“slurries”) tienen buena resistencia al agua; por el contrario, el ANFO prácticamente no tiene resistencia.
  - **HUMO TOXICO:** Sobre cantidad de gases sobre todo, influye el balance en oxígeno, así como también algunos factores relacionados con su utilización (densidad, humedad del explosivo, calidad de taco). Con detonación completa del explosivo se forma la cantidad mínima de gases tóxicos. Pero, con detonación incompleta o quemado del explosivo, la cantidad de gases aumenta mucho.
  - **SENSIBILIDAD:** por la sensibilidad de un explosivo con respecto a acciones extremas se denomina la sensibilidad al golpe, rozamiento, calentamiento o inflamación. La alta sensibilidad de un explosivo crea peligro durante la conservación, transporte y, directamente, durante los trabajos. La sensibilidad demasiado baja de un explosivo es indeseable, ya que exige un impulso inicial excesivamente potente.
- **CLASES DE EXLOSIVOS**

Los explosivos comerciales utilizados en minería se dividen en 3 grupos: explosivos detonados a base de nitroglicerina, incluso los explosivos de seguridad; explosivos secos a base de nitrato amónico y explosivos semi-líquidos tipo papillas (“slurries”).

**EXPLOSIVOS BASADOS EN LA NITROGLICERINA:** Los explosivos actuales que están basados en nitroglicerina son derivados de la dinamita nobel, sin embargo, en la mayoría de los casos han llegado a ser más seguros, como producto de diferentes clases de pequeñas modificaciones.

El contenido de nitroglicerina implica que estos explosivos a menudo se distinguen por un alto contenido de energía y una buena estabilidad de detonación, también en diámetros más pequeños.

El contenido de dinamita implica un elevado contenido de energía (peso-fuerza elevado), lo que es necesario para la carga de fondo.

Los explosivos basados en nitroglicerina son generalmente sensitivos, lo que implica una desventaja desde el punto de vista del manejo, siendo por otro lado, ventajosa para la activación.

La mayoría de los explosivos a base de nitroglicerina pueden ser activados por fulminantes.

En la detonación, también se originan gases tóxicos, como monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. Los explosivos basados en nitroglicerina están generalmente empaquetados en una especie de cartuchos.

El diámetro del cartucho se escoge normalmente con el objetivo de que el cartucho pueda siempre depositarse fácilmente dentro del taladro, es decir, 10 mm más pequeño que el diámetro del taladro.

Los contenidos de la nitroglicerina en el explosivo varían; cuanto más alto es el contenido, más potente resulta el explosivo.

Con los contenidos de nitroglicerina, la resistencia del agua también aumenta.

Explosivos con contenidos menores de nitroglicerina tienen una potencia de voladura menor, pero también son más baratos. En ellos, la nitroglicerina ha sido, en mayor o menor grado, reemplazada por amonio-nitrato o compuestos similares. Estos se manejan en una forma más segura y pueden ser, como regla, transportados en una manera menos complicada que los explosivos más altos.

Veamos a continuación algunos tipos de derivados de la nitroglicerina:

- **Nitroglicerina  $C_3H_5(NO_3)_3$** , trinitrato de gliceril, un líquido transparente de color amarillento y de consistencia oleosa es un potente explosivo, excesivamente sensible a acciones extremas. Su peso específico es de 1,6; la velocidad de detonación, de 7500 m/seg.
- **Dinamita ("straight dynamite")** consta de nitroglicerina (de 20 a 60%). Nitrato sódico, combustible carbonoso y, a veces, de azufre. El término "straight" significa que una dinamita no contiene nitrato amónico.

- **Dinamita amónica** es el explosivo encartuchado mas ampliamente utilizado en pequeñas canteras y minería subterránea. Es similar al dinamita común, excepto en que el nitrato amónico reemplaza a una parte de dinamita y de nitrato de sodio. Se fabrica en grados de 20 a 60%, según peso. Es algo menos sensible al golpe y rozamiento.
  - **Gelatina explosiva ("straight gelatin")** es una gelatina detonante compuesta con el agrado del algodón nitrado a la nitroglicerina con nitrato sódico. El agregado combustible la provee de estabilidad y la harina de madera de sensibilidad. Es una masa gelatinosa tenaz, de apariencia gomosa. Se fabrica en grados desde 20 a 90% de potencia, según peso. Se utiliza en sísmica y en perforaciones profundas.
  - **Gelatina amónica** es una gelatina común en la cual una parte de nitroglicerina y de nitrato de sodio se reemplaza por nitrato amónico. Su potencia, según peso varía de 30 a 80%. Es conveniente para trabajo subterráneo, sobre todo en barrenos de pequeños diámetro.
- **EXPLOSIVOS SECOS A BASE DE NITRATO AMONICO:**

Se trata del NA-aceite mineral o ANFO (nitrato amónico + fuel oil), descubierto a mediados de 1950, y actualmente el explosivo mas usado en la minería a cielo abierto.

El ANFO es la fuente de energía explosiva mas barata. Se vende en forma de pequeños granulados porosos, suelto o en bolsa (en el momento de carga el fuel oil) o ya mezclado en cartuchos o recipientes.

Tiene un índice de peso/fuerza algo menor que los explosivos de gelatina, (aproximadamente un 80%.)

El explosivo de NA-aceite mineral es insensible a los choques y rozamiento, de modo que su manipulación y transporte carecen de todo riesgo. Arrojado al fuego, arde sin estallar. Tampoco es congelable.

El principal inconveniente de todo explosivo es su higroscopicidad (tendencia a absorber agua, incluso del aire) y, además su escasa densidad de carga, lo que conlleva un bajo grado de compactación.

La energía de NA-aceite mineral es óptima en mezclas con oxígeno balanceado (94,5 % AN y 5,5% FO), cuando la velocidad de detonación alcanza 4200 m/seg. Su peso específico varía entre 0,5 y 1,15. Los productos más livianos se utilizan en rocas fácilmente fragmentadas.

Sin embargo, para alcanzar el peso específico de 1,0, el explosivo debe ser comprimido y cargado en cartuchos o sacos.

Agregado de polvo de aluminio al nitrato amónico aumenta la energía, pero el precio es mayor. Las mezclas aluminizadas secas se utilizan como iniciador para ANFO, como carga de alta energía de fondo y como carga principal de columna desde la voladura es difícil.

La sensibilidad de ANFO disminuye con el aumento de densidad; encima de 1,25 la explosión ya no se produce.

El diámetro de perforación influye sobre la velocidad de detonación. El diámetro crítico es entre 1 y 2" con el "prill" normal y mezcla de combustible.

En la práctica el ANFO débil es a menudo combinado con una carga de fondo de una sustancia más compacta y más explosiva.

En los casos en los cuales solamente el ANFO es usado, para lograr un mayor grado de compactación se suele usar un cargador impulsado por aire.

En minas grandes a cielo abierto, donde cada operación de voladura puede conllevar algunas decenas de toneladas de explosivo a menudo se usan camiones de carga especiales para transformar el explosivo al sitio, y por medio de un transportador a tornillo ó algo similar, es presionado a través de la manguera dentro del taladro.

Para activar al ANFO, normalmente no es suficiente con un fulminante común de voladura. Por lo tanto, suele utilizar una cierta cantidad de dinamita ú otra sustancia de alto explosivo, en el cual se coloca el fulminante de ignición. La primera carga activa a su vez el AMFO.

El uso principal del ANFO en la voladura de bancos es en minas a cielo abierto, canteras, etc., donde la voladura es relativamente estacionaria y frecuente, y los diámetro de los taladros son del orden de las 3' y mas.

➤ **PAPILLAS O SLURRIES**

PAPILLAS O GELES ACUOSOS ("SLURRIES") son una mezcla de oxidantes, tales como nitrato sódico o nitrato amónico, de un sensibilizador de fuel, explosivo o no explosivo y de agua. Esta mezcla se espesa y se interpenetra con goma guar para formar una barrera impermeable al agua en la perforación.

Las papillas son particularmente afectivas no solo debido a su muy alta densidad de energía, sino por la alta y persistente presión generada.

La adición de agua aumenta la densidad del explosivo; aunque disminuye la densidad de energía, lo compensa por el aumento de la magnitud y la duración de la explosión.

La eficiencia de papillas aumenta con un buen balance de oxígeno, una disminución del tamaño de las partículas, aumento de la densidad y del diámetro de la carga, un buen confinamiento y con un detonador adecuado. Las papillas pierden su sensibilidad con una densidad de 1,35, pero el diámetro de la perforación tiene menor importancia que para ANFO.

En comparación con el ANFO, el slurry es un explosivo más potente, además tiene un peso específico elevado y una mayor cantidad de kilos por lo que puede, por lo tanto, ser cargado en el mismo taladro. El slurry es vertido directamente dentro del taladro y lo llena en un 100%. También es insensible al agua y puede ser usado en taladros húmedos, por ello, el uso de "slurries" es particularmente recomendable en perforaciones con agua.

En condiciones extremadamente difíciles o donde la perforación es cara, es habitual el empleo de papillas, al menos en la parte mas baja del barreno, usando ANFO en la parte superior.

Tradicionalmente se han clasificado los slurries (Novitzky) atendiendo a sus sensibilizadores en: papillas, papillas con TNT (trinitrotoluol) y papillas con pólvora sin humo.

Actualmente, atendiendo al diámetro del taladro, se distingue entre slurries para gran diámetro y las aguas gel o slurries para pequeño diámetro.

- **SLURRIES DE GRAN DIAMETRO:** Los slurry para gran diámetro, son normalmente sensibilizados con TNT, y se usan en voladura de bancos con taladros de gran diámetro. A manera normal de carga es bombear desde un camión hacia el taladro y, presenta una elevada densidad y una baja sensibilidad al impacto. Esto significa de que no puede ser activada por un fulminante, por lo que se necesita usar un detonador auxilia. Normalmente, también un cierto diámetro mínimo del taladro es necesario para obtener una detonación estable. Como una regla mínimo económico, cuando se usa el slurry para gran diámetro variado el contenido de energía, se pueden obtener diferentes calidades de carga por ejemplo, carga de fondo ó de columna.
- **AGUAS-GEL O SLURRIES DE PEQUEÑO DIAMANTE:** Son sensibles a los fulminantes, y comparados a los explosivos de nitroglicerina ofrecen un gran numero de ventajas, tales como la reducción de gases tóxicos, ningún dolor de cabeza y seguridad incrementada. Algunos de las razones por las cuales los agua-gels aun no se han apropiado más del mercado de explosivos de nitroglicerina son la confiabilidad en el uso, vida de almacenaje y funcionamiento en bajas temperaturas. Cuando se usa agua-gels, generalmente también se obtiene un grado menor de compactación a los explosivos de nitroglicerina, ya que la densidad, normalmente es menor. Los agua-gels de pequeño diámetro son normalmente empaquetados en cartuchos de tubos de plásticos, pero también pueden ser obtenidos a granel de algunos productores. El explosivo entonces es bombeado dentro del taladro por una bomba especialmente diseñada, un método que es muy adecuado particularmente para taladros horizontales subterráneos.

➤ **PESO-FUERZA DE UN EXPLOSIVO:**

La cantidad de trabajo ó peso-fuerza de un explosivo suele medirse en relación a la llamada gelatina de voladura ó dinamita de jebe. El explosivo más potente basado en nitroglicerina que se encuentra disponible. Como el volumen del taladro determina la cantidad de explosivos que se puede compactar dentro de cierta parte del taladro, también es necesario considerar el peso específico del explosivo. Una alta capacidad de trabajo mas un peso específico elevado determina una carga más potente.

➤ **EQUIPO DE CARGA DEL EXPLOSIVO:**

El equipo auxiliar en la carga de los taladros con explosivos esta formado por: un atacador; o un cargador neumático.

- **ATACADOR:** El medio mas común es el atacador el cual e usado para la carga de explosivos que siguen un patrón. Sin embargo, se debe atacar un cartucho a la vez para lograr el grado de compactación, el cual es una condición para la formula simplificada para la distancia de menor resistencia.
- **CARGADOR NEUMATICO:** Los cargadores neumáticos están disponibles para dos tipos de explosivos para cartuchos de dinamita con un pequeño diámetro y para el ANFO.
  - El cargador para los cartuchos de dinamita, consiste de una manguera de plástico, la cual es uno de sus extremos cuenta con una tapa donde los cartuchos son insertados y en el otro extremo cuenta con una capa donde los cartuchos son insertados cortando la envoltura de papel de estos. Los cartuchos son presionados a través de la manguera por medio de aire comprimido regulado automáticamente ó por medio de pedal. Con este cargador neumático, se puede obtener un grado de compactación de aproximadamente hasta 1.4 kg/dm<sup>3</sup>. sin embargo, es más habitual 1.25 Kg. /dm<sup>3</sup>.

- El cargador ANFO se usa para soplar el explosivo dentro de los taladros por medio de aire comprimido. El grado de compactación obtenido es de aproximadamente 1.0 Kg. /dm<sup>3</sup> con 2 ½ ´ para taladros de 3´.

El slurry basado en amonio-nitrato hidratado puede ser cargado bombeando dentro del taladro desde los cambios de tanque. El slurry puede también ser vertido dentro del taladro a mano.

#### ➤ **DISPOSITIVOS DE DETONACION**

Son aquellos destinados a iniciar, propagar o retardar la acción de las cargas explosivas se pueden clasificar en iniciadores y retardos, mechas de encendido, cordones detonantes y aparatos explosores.

##### **INICIADORES:**

Son los que el arranque de la explosión de la carga principal, mediante estímulo de una pequeña detonación. Entre estos tenemos:

**FULMINANTE SIMPLE (BLASTING CAP):** consiste en una cápsula cilíndrica de aluminio o cobre, de unos 6.5 mm de diámetro por 38-45 mm de largo, cerrada en uno de sus extremos, contiene una carga primaria de explosivo sensible (Azida de plomo, fulminato de mercurio, etc.) y una carga secundaria o carga base de alto explosivo (Tetritol o nitropenta – tetranitrato de pentaeritritol-) pegada al fondo. Trabaja de la siguiente manera: al insertar una mecha de seguridad y prenderla, la llama producida por la pólvora de la mecha inflama a la carga primaria y la hace deflagrar, esta a su vez hace explotar a la carga base, produciendo esta última la detonación del explosivo rompedor (dinamita u otro). Los fulminantes se clasifican por su potencia (cantidad de carga base) en números del 4 al 12, siendo los más usados los 6 y 8.

**FULMINANTE ELECTRICO (ELECTRIC BLASTING CAP):** Su construcción es similar a la de fulminante con la diferencia que la carga sensible se inflama mediante una resistencia que se pone incandescente al pasar una corriente eléctrica de determinado potencial y voltaje.

Consta de una cápsula cilíndrica metálica (aluminio o cobre), carga sensible, carga base, resistencia eléctrica recubierta por una gota de resina (gota pirotécnica) para protegerla en caso de golpes y sacudidas, alambres conductores aislados de longitud variable según el tipo de fulminante, y de un tapón de jebe o PVC para evitar el ingreso de humedad al interior.

**FULMINANTES ELECTRICOS DE RETARDO (DELAY ELECTRIC BLASTING CAP):** Son usados para retardar o escalar voladuras con impulsos eléctricos. Este tiene interpuesto entre la gota pirotécnica y el explosivo en si, un elemento de retardo que controla con un tiempo preestablecido la explosión. El tiempo de retardo varía desde 20 milisegundos en escala ascendente y periódica, hasta 500 milisegundos. El uso de este tipo de fulminantes de cómo resultado una mejor fragmentación de la roca y facilidad de ejecución de un disparo. Existen fulminantes en series de medio segundo y milisegundo con los intervalos y longitudes de cable deseando, este ha sustituido a la mecha de seguridad.

**FANEL (FULMINANTE ANTIESTATICO NO ELECTRICO):** Es un sucedáneo del fulminante eléctrico, es un sistema integrado que usa las ventajas de los sistemas tradicionales y conceptos modernos que le permiten trabajar eficientemente en agua y no existiendo problemas por iniciación por corriente eléctrica debido a la alta estática o corrientes eléctricas vagabundas que puedan activar a los fulminantes eléctricos y producir detonación prematura. Sus partes son:

- MANGUERA FANEL (SHOCK TUBE): manguera termo plástico de pequeño diámetro cubierto interiormente en toda su longitud con una sustancia explosiva uniforme. Viene herméticamente sellada, su función es conducir interiormente una onda de choque, cuya presión y temperatura son suficiente para iniciar al fulminante a través del elemento de retardo. Velocidad de propagación 1,500 m/s.
- FULMINANTE DE RETARDO (DELAY BLASTING CAP): estos elementos de retardo les permite detonar con diferentes intervalos de tiempo, inicia eficientemente agentes de voladura tipo AN/FO, hidrogeles. Sanfos, etc., sin necesidad de cebarla a un cartucho de dinamita o booster adicionales, en taladros cuyo diámetro pueden variar hasta 2 ½ " y en longitud de 12'.

**CORDON DETONANTE (DETONATING CORD):** accesorio para voladuras de alto potencia explosiva, de fácil manejo y muy seguro. Contiene un núcleo explosivo de alto poder (generalmente pentrita, tetranitrato de pentaeritrol), cubierto con papeles, hilos y una cobertura de plástico, para obtener una buena impermeabilidad y alta resistencia a la tracción. En minería subterránea se usa el Cordon Detonante 3P (tres gramos de pentrita por metro lineal). Es sensible al fulminante #6 y tiene una velocidad de detonación de 7,500 m/s. es usado también en minería superficial debido a que es muy seguro al permite llevar a cabo una de voladura de un gran volumen y tonelaje de explosivo distribuidos en un gran numero de taladros. Se tienen los siguientes tipos de cordón: 3PE (4 gr/mt lineal). 5P (5gr/mt lineal), 5 PE (48 gr./mt lineal), 10P (10 gr./mt lineal), 10PE (12gr/mt lineal).

**RETARDOS DE CORDON DETONANTE (DETONATING CORD DELAY CONNECTORS):** Estos retardos dan la secuencia ordenada de salida, estos dispositivos se conectan a las líneas troncales programándose previamente el movimiento del material a volar, tanto en la dirección del burden como en el especialmente. Se tiene retardos de 5, 10, 20, 30 y 50 milisegundos, los de intervalos cortos se usan en taladros de diámetro pequeños mientras que los de intervalos largos en taladros de diámetros mas grandes, este tipo de encendidos cubre una escala de diámetros de barreno de 4"y especialmente que van de 7 a 12 pies, hasta diámetros de 17"y 25 pies o mas de espaciamiento.

**BOOSTERS:** Conocidos de "Primers" son explosivos fundidos que contienen sustancias de mucha potencia, son utilizados para iniciar explosivos insensibles tales como slurries, ANFO y otros explosivos como los nitrocarbonitratos, los cuales no pueden ser iniciados por un sistema normal de voladura. Estos son usados normalmente en taladros de gran

Diámetro, en minería superficial, los boosters convencionales son cilíndricos, conteniendo una masa de alto explosivo, son muy seguros e insensibles al impacto, fricción o fuego, los más conocidos con los de 1/3 de libra, 1 libra y 3 libras. Estos boosters pueden ser iniciados por un fulminante común #6 o cordón detonante.

**BOOSTERS ALUMINIZADO (NEW ALUMINIZED BOOSTER):** Es un explosivo de alto poder cuyo nombre general es slurry, consiguiendo aumentar su velocidad de detonación con aluminio atomizado. Es sensible al Cordón Detonante 3P o 3PE y al fulminante #6.

**FAME MASTER:** Es un sistema de retardo en profundidad, totalmente no eléctrico. Este sistema ha sido desarrollado para columnas explosivas de gran diámetro en operaciones de voladura a tajo abierto, el sistema consta de los siguientes accesorios: Inserto master, booster de 1 libra y cordón detonante. El inserto master es un accesorio de retardo para el booster de 1 libra que consiste de un dispositivo de plástico de diseño especial y un detonante de retardo eléctrico (prototipo del fanel). Tiene por función acoplar y asegurar el booster, guiar y fijar el paso del cordón detonante y brindar el tiempo requerido de retardo.

**CONECTORES O CAPSULAS ENCENDEADORAS:** Se utilizan para conectar la mecha rápida con la mecha de seguridad en los disparos con varios taladros a efectuar con mecha y fulminante. Consiste en una cápsula cilíndrica de aluminio o de cobre abierta en un extremo en un extremo para la mecha de seguridad y cerrada en el otro, donde tienen una ranura transversal o un hueco de ojal para insertar la mecha rápida, y donde encierran a una masa de unos 500 mg de un compuesto pirotécnico inflamable.



**Scoop, para carguio de mineral**  
**De 2.2 yd<sup>3</sup>**

### **MECHAS DE ENCENDIDO:**

**MECHA DE SEGURIDAD (SAFETY FUSE):** También denominada mecha lenta es un accesorio tubular, flexible y delgado que se emplea para iniciar al fulminante común mediante la ignición de un núcleo de pólvora. Sus múltiples coberturas incluyendo su recubrimiento final con material plástico, aseguran una excelente impermeabilidad y resistencia a la abrasión. Las mechas de seguridad son con resufrimiento plástico de color blanco, las que son de color naranja o negro implica mechas de mayor resistencia al agua y la abrasión. Su diámetro exterior es de unos 5 mm el alma de pólvora de unos 6 gr/m y el tiempo de combustión es de 140 s/m. este aspecto es muy importante ya que la seguridad del operario se basa en el tiempo que demora en quemarse una mecha de longitud, algodón, material plástico.

**MECHAS RAPIDA (IGNITER CORD):** Tiene como objetivo el eliminar el chispeo individual de las mechas. Al conectar los extremos de varias mechas con el cordón de ignición mediante los conectores antes descritos, se encenderán paulatinamente con solo un encendido del cordón, lo que permite que el operador pueda alejarse del frente de disparo sin el riesgo de tener que prender cada taladro por vez. Consiste en una carga pirotécnica en el centro que envuelve a dos alambres de cobre y posee una cobertura especial de plástico que asegura su impermeabilidad. El tiempo de combustión es de 42 s/m con un rango de más o menos 10%. La mecánica de encendido se inicia con una mecha de seguridad la cual va hacia el conector y este a las mechas rápidas, dando seguridad y uniformidad de disparo.

### **EXPLOSORES:**

La corriente de encendido para iniciar los fulminantes eléctricos es proporcionada por los explosores, que de acuerdo a las necesidades del usuario se fabrican con diferentes sistemas, capacidades y sistemas. En general para pequeñas potencias, es decir para un Pequeño numero de encendidos simultáneos se utilizan los explosores dinamo-eléctricos, mientras que para un gran numero de encendido simultáneos se emplean los del tipo condensador.

### 3.2.2 CARGUIO:

- **CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS MINEROS:** Después de haber definido el método aplicable, es necesario establecer el sistema de explotación. Este será constituido por los diferentes equipos de arranque, carga y transporte y, según la continuidad del ciclo básico, se diferencian los siguientes sistemas:
  - **SISTEMA TOTALMENTE DISCONTINUO:** La operación de arranque, con o sin voladura, se lleva a cabo con equipos discontinuos y el transporte se efectúa con volquetes mineros. Es actualmente el sistema más implantado debido a su gran flexibilidad y versatilidad.
  - **SISTEMA MIXTO CON TRITURADORA ESTACIONARIA DENTRO DE LA EXPLOTACION:** Una parte de la operación se realiza con medios semejantes al sistema anterior, hasta una trituradora instalada dentro de la explotación con la que se consigue una granulometría adecuada para efectuar desde ese punto el transporte continuo por cintas.
  - **SISTEMA MIXTO CON TRITURADORA SEMIMOVIL DENTRO DE LA EXPLOTACION:** Conceptualmente es igual al sistema anterior pero con mayor flexibilidad, ya que la trituradora puede cambiarse de emplazamiento cada cierto tiempo, invirtiendo en estos traslados varios días o semanas.
  - **SISTEMA CONTINUO CON TRITURADORA MOVIL Y ARRANQUE DISCONTINUO:** En este sistema se prescinde del transporte con volquetes, ya que la trituradora móvil acompaña constantemente por el tajo al equipo de arranque y carga discontinuo.
  - **SISTEMA DE TRANSPORTE MIXTO Y ARRANQUE CONTINUO:** Esta es una variante de la alternativa 3, donde se ha sustituido el arranque discontinuo por una rotopala o equipo similar. Es un sistema poco utilizado, aunque algunas minas lo aplican.

- **SISTEMA DE ARRANQUE Y TRANSPORTE CONTINUOS:** es, por excelencia, el sistema que presenta un mayor porcentaje de electrificación, ya que todas las unidades, excepto las auxiliares, son accionadas por motores eléctricos.

A su vez, en cada uno de esos sistemas la maquina utilizada puede ser distinta, pues por ejemplo en el arranque continuo es posible emplear rotopalas o minadores y, en el transporte continuo, bandas transportadoras convencionales, cintas de alta pendiente, mineroductos, etc.

➤ **OPERACIONES BASICAS Y CLASIFICACIONES DE EQUIPOS**

El ciclo de explotación minera se puede definir como una sucesión de fases u operaciones básicas aplicadas tanto al material estético como al mineral. Según las condiciones del proyecto que se esté llevando a cabo, existirán o no otras operaciones auxiliares de apoyo cuya misión es hacer que se cumpla con la mayor eficiencia posible las operaciones básicas pertinentes.

Las fases que engloba el ciclo minero a ciclo abierto son, generalmente, las siguientes (a) arranque., (b) carga, (c) transporte y (d) vertido (Martín, 1984).

El arranque es, por necesidad, la primera de las operaciones para el movimiento de los materiales y consiste en fragmentar estos a un tamaño adecuado para uso posterior manipulación por los equipos de fases subsiguientes.

La fragmentación de la roca puede efectuarse fundamentalmente por dos métodos bien definidos. Indirectos, es decir por medio de la energía liberada por los explosivos colocados en el interior de los macizos rocosos dentro de barrenos, y directos, por la acción mecánica de una herramienta montada sobre un equipo.

La carga consiste en la recogida del material ya fragmentado para depositarlo seguidamente, en la mayoría de los casos, sobre otro equipo o instalación adyacente.

El transporte es la fase posee en la actualidad una mayor repercusión económica sobre el ciclo de explotación, que puede cifrarse entre el 40 y el 60 % del coste total e incluso de la Inversión en equipos principales.

Se base en la extracción o desplazamiento de los diferentes materiales hasta los vertedores, en el caso de los estériles.

Según que el transporte se lleva a cabo dentro de los límites propios de la explotación e instalaciones mineralúrgicas, o fuera de ellas, se incluyen sistemas tales como el realizado por barcos por ferrocarril, etc.

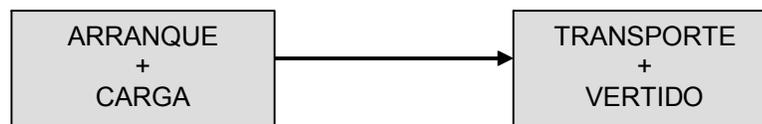
La operación vertido, normalmente, la realizan el transporte ayudadas por equipos auxiliares.

De acuerdo con una serie de consideraciones específicas que se analizarán más adelante para cada grupo de máquinas, las combinaciones entre sí pueden ser las siguientes.

- (a) **La fase de arranque es efectuada por unidades distintas de las que realizan la carga el transporte.** Un caso puede ser, por ejemplo, aquel en el que el arranque lo realizan tractores de orugas, la carga de palas de ruedas y el transporte y vertido, volquetes, el ciclo básico estará, pues, constituido por la agregación de las siguientes fases individualizadas.



- (b) **Que el mismo equipo realice el arranque y también la carga** como sucede, por ejemplo, con las rotopalas, las excavadoras o minadores, que arranca y cargan simultáneamente. En este caso el transporte lo realizan otras unidades independientes.



- c) **Que una misma maquina**, debido a sus propias características constructivas y funcionales, realice por si sola el arranque, la carga y el transporte, esto sucede con las mototraíllas y con las rotopalas de brazo de descargar directo.

La elección del conjunto de equipos necesarios para llevar a cabo un proyecto se suele realizar normalmente después de definir la fase u operación crítica, en función de la cual se estructurará todo el proceso productivo teniendo en cuenta una serie de consideraciones.

ARRANQUE + CARGA + TRANSPORTE

Las combinaciones que pueden hacerse entre equipos, destinados a una explotación concreta, con muy numerosos, pues pueden ser varias las maquinas que, ser varias las maquinas que, con diferencia diseño y forma de funcionamiento, realicen la misma operación.

➤ **MAQUINAS DE ARRANQUE Y CARGA:**

**EQUIPO DE ARRANQUE CONTINUO**

- **ROTAPALAS:**- Las rotapalas, excavadoras de rodete, son equipos dotados de un dispositivo tipo noria, cuyos cangilones realizan las funciones de arranque y carga. El material fragmentado se vierte sobre un sistema de cintas que lo transporta a su destino. Estos equipos comenzaran a utilizarse en Alemania, a principios de siglo, sobre materiales poco consolidado, dando su uso en minería a cielo abierto al denominado Método Alemán.
- **MINADORES:** Son equipos de arranque selectivo dotados de un cabezal cilíndrico cuya periferia realiza el arranque de la roca por acción de una serie de herramientas de corte distribuida sobre la misma. Los diferentes diseños de la cabeza dan lugar a los siguientes equipos

**MINADORES HORIZONTALES**, Son los mas usados actualmente y se pueden denominar minadores continuos de ataques horizontal. En esencia consisten en un chasis sobre oruga provistos de un tambor o helicoide portopicas, que realiza la excavación del material mediante rozado en profundidades variables, de los dispositivos de recogida, evacuación de transferencia sobre caminos o sistemas de cintas. El accionamiento es de tipo diesel-hidráulico con potencias de hasta 900kw.

**MINADORES DE RODETE**, este equipo es un híbrido entre rotopala y minador horizontal, monte en un lateral o rodete de eje horizontal, con cangilones distribuidos en su periferia, que arranca el material por pasadas sucesivas. El sistema de recogida, evacuación y transferencia es similar al descrito en el equipo anterior, así como su accionamiento de tipo diese-hidráulico y potencias de hasta 1200kw.

**MINADORES DE CABEZA MOVIL**, son una adaptación al cielo abierto de los minadores subterráneos, consiste en un chasis sobre orugas, con uno o varios brazos, de orientación y alcance variable con cuyo extremo se sitúa el cabezal de corte. El material fragmentado desliza por gravedad sobre un sistema de carga y evacuación, con transferencia final sobre camiones pueden girar en línea con el eje del brazo o perpendicularmente a este. Su accionamiento es electro-hidráulico.

- **MONITOR HIDRAULICO**: El monitor hidráulico consiste en un cañón de agua cuyo efecto sobre el material a arrancar es su disgregación y posterior arrastre hacia zonas predeterminadas. Se aplica en materiales escasamente consolidados, como los que caracterizan los depósitos aluviales y suelos de recubrimiento. El monitor consiste en un cañón orientado con movimiento automático en los planos horizontales y verticales, dispuestos sobre patines para facilitar su traslado y conexión general de suministro de agua.

## EQUIPOS DE ARRANQUE DISCONTINUO

- **TRACTORES DE ORUGAS:** Son equipos de gran versatilidad, con campos de actuación que van desde servicios auxiliares hasta equipos de producción en arranque (escarificado), y transporta (empuje). El sistema de translación es sobre orugas, y como elementos de trabajo disponen de un escarificador o ripper, que es una herramienta de forma de reja de arar situada en la parte posterior, y una hoja para el empuje de los materiales fragmentados. Su accionamiento es diesel con potencias que llegan hasta los 600kW.
  
- **EXCAVADORAS DE CABLES:** Son los equipos mineros mas antiguos y mas utilizados en operaciones de carga y arranque de materiales poco consolidados. Como características generales de diseño y operación destacan:
  - Montaje sobre orugas.
  - Giro completo de la superestructura
  - Elevación de la cuba por cables y empuje por cable o cremallera y piñón.
  - Potencia instalada de hasta 4500 Kw., como accionamiento fundamentalmente eléctrico.

La descarga se realiza sobre volquetes o tolvas de alimentación a sistemas de transporte por cinta y en algunos casos, transfieren directamente los materiales, como en las descubiertas de carbón. Las fuerzas de arranque se consiguen combinando las de elevación y empuje sobre el cazo.

- **EXCAVADORAS HIDRAULICAS:** Son equipos que han alcanzado un rápido desarrollo en los últimos diez años aplicados inicialmente en la obra publica como retroexcavadoras, introduciéndose luego en minería como sistemas de carga frontales y tamaños en progresivo aumento. Sus características básicas son:
  - Accionamiento diesel o electro hidráulico, con potencias de hasta 1800 kW.
  - Sistemas de arranque y carga, frontal o retro.
  - Montaje sobre orugas.
  - Superestructura con giro completo y diseño compacto.

- **PALAS CARGADORAS:** Las palas cargadoras son unidades de ruedas o cadenas dotadas de un cucharón en la parte delantera. Son equipos muy versátiles, utilizados en funciones de carga y transporte fundamentalmente, tanto en obras publicas como en minería. Las características generales de diseño son:
  - Chasis articulado (modelos de ruedas)
  - Accionamiento diesel-eléctrico y potencias de hasta 1000 Kw.
  
- **DRAGALINAS:** Son equipos cuya características básicas es su gran alcance y posibilidad de excavación bajo su nivel de emplazamiento y constituyen, junto con las rotopalas, las maquinas móviles de mayores dimensiones existentes en la minería a cielo abierto. El movimiento de traslación se consigue a través de orugas o mediante un sistema de patines desplazables, que caracterizan los dos tipos de dragaminas existentes.

El accionamiento es diesel con potencias de hasta 1500 Kw. para las montadas sobre orugas y eléctrico para las de patines con potencias de hasta 18000 Kw. El uso de dragaminas esta indicado en operaciones donde el material arrancado es transferido directamente a distancias cortas, inferiores a 120 m.

- **MOTOTRAILLA:** La mototrailla es un equipo de movimiento de tierras con capacidad para arrancar materiales en capas horizontales, carga, transportar y verter igualmente en tongadas. La unidad articulada consiste básicamente en un tractor con una caja y dos o tres ejes. Los diversos tipos existentes se caracterizan por poseer uno o dos motores (hasta 700 kW). Acoplados a cada eje, y una caja de carga directa o con mecanismo autocargable. Su ámbito de trabajo se halla limitado a materiales escasamente consolidados o sometidos a preparación previa.

#### **MAQUINARIA DE TRANSPORTE:**

Dentro del conjunto de los equipos de transporte, los camiones extraviables constituyen el sistema mas extendido e importante actualmente en la en la minería. Estos vehículos pueden clasificarse, según su diseño y modo operativo, en dos grandes grupos:

- **VOLQUETES:** Son unidades generalmente de dos ejes (uno de dirección y otro motriz), y de tres ejes en los de mayor capacidad o en las unidades pequeñas articuladas (un eje de dirección y dos motrices). Tienen capacidades desde 30 a 320 toneladas, potencia desde 225 a 2.250 HP., taras desde 30 a 265 toneladas y transmisiones mecánicas o eléctricas.
  
- **CAMIONES CON DESCARGAS POR EL FONDO**
  - Unidades tipo tractor-remolque de tres ejes o de chasis rígido con dos ejes.
  - Capacidades desde 70 a 180 toneladas.
  - Potencias desde 315 a 1.100 HP.
  - Taras desde 45 a 170 toneladas

#### **MAQUINARIA AUXILIAR:**

La flota de equipos que habitualmente se utiliza en las labores de conservación e, incluso, apertura de pistas, esta formada por las siguientes maquinas:

- **MOTONIVELADORAS:** Para el extendido de materiales de aportaciones y re perfilado de las superficies de rodadura.
  
- **TRACTORES DE ORUGAS Y RUEDAS:** para la excavación y relleno de zonas muy deterioradas, construcción de nuevas trazados y retirada de grandes piedras.
  
- **CAMION DE RIEGO:** para eliminar el polvo de las pistas manteniendo el grado de humedad y/o cohesión de los materiales superficiales.
  
- **VOLQUETES:** Para el transporte de los materiales de aportación.
  
- **EXCAVADORA HIDRAULICA:** para la preparación de obras de drenaje y desagüe y limpieza de cunetas.
  
- **VEHICULO TODO TERRENO:** para la inspección y supervisión del estado de las pistas.

### **3.3 RELACIONES INSUMO-PRODUCTO RELEVANTES**

#### **3.3.1 Perforación y Voladura:**

Como se ha mencionado en el apartado III. 3.1.1., hay una serie de parámetros que permiten determinar las dos magnitudes relevantes a efectos de la relación insumo producto, es decir, la perforación específica (metros lineales de perforación por cada metro cúbico arrancado de roca) y la carga especificada (kilogramos de explosivo utilizados por cada metro cúbico de roca arrancada).

Estos parámetros son, básicamente, la piedra (borden o distancia de menor resistencia) el espaciamiento, el diámetro del taladro y la altura del bando (aunque también hay que considerar, la sobre perforación, la concentración de las cargas de fondo y de columna, el ángulo de perforación etc.).

Conocido el diámetro del taladro (en pulgadas). La piedra equivale a dicha cifra, pero en metros, el espaciamiento es aproximadamente 1.25 veces la piedra, la sobre perforación es aproximadamente un 30% de la piedra, la profundidad del taladro será 1.05 la altura del banco, la concentración de la carga de fondo será el la milésima del cuadrado del diámetro del taladro (en kg por metro). La altura de la carga de fondo será de 1.3. la piedra, la altura del atacado (parte no cargada) será aproximadamente igual a la piedra y el resto se rellenara con carga de columna, cuya concentración será aproximadamente 0.45 la concentración de la carga de fondo. En resumen, veámoslo con un ejemplo:

VARIABLE	CONCEPTOS	RELACIONES	VALORES	VALORES
C	Factor roca (Kg./m <sup>3</sup> )	Normal=0.4	0.4	0.4
P	Grado de compactación (Kg./dm <sup>3</sup> )	Normal=1.25	1.25	1.25
	Peso fuerza del expl. R/ dinamita	Normal =1	1.0	1.0
F	Otra inclinación del taladro	3:01	3:01	3:01
K	Altura del banco $k \cdot N < 2V_{max}$ .	3 a 5 V	3	4.4
	Factor de corrección s/ valores estándar	Normal =1	1	1
db	Diámetro taladro (pulgadas)	1p.aprox. 25mm	3.0	3.0
db	Diámetro taladro (mm)	3 a 4 pulgadas	76.0	76.0
K	Altura banco (m)	Mínimo 2V	10.0	15.0

VARIABLE	CONCEPTOS	RELACIONES	VALORES	VALORES
H	Profundidad del taladro (m)	$1.05 \cdot k$	10.5	15.8
V max	Máxima distancia de menor resistencia	$.0045 \cdot db$	3.4	3.4
V	Piedra (m)	Db en pulg.	3.0	3.0
E	Espaciamiento (m)	$1.25 \cdot V$	3.8	3.8
E*V	Cuadrícula = piedra *espaciamiento(M2)	$1.25 \cdot V^2$	11.3	11.3
U	Sobre perforación (m)	$0.3 \cdot V \text{ max}$	1.1	1.1
Lb	Concentración carga fondo (Kg./m)	$Db \cdot db / 1000$	5.8	5.8
Hb	Altura carga fondo (m)	$1.3 \cdot V$	3.9	3.9
Qb	Peso carga de fondo (Kg.)	$Lb \cdot Hb$	22.5	22.5
Ho	Altura parte no cargada taladro (m)	V	3.0	3.0
Lp	Concentración carga columna (Kg./m)	$0.45 Lb$	2.6	2.6
Hp	Altura carga columna	$H + U - Hb - Ho$	4.7	10.0
Qp	Peso carga de columna (Kg.)	$Lp \cdot Hp$	12.3	25.9
Q	Carga total (Kg./taladro)	$Qb + Qp$	34.8	48.5
W	VOLUMEN(M3)	$E \cdot V \cdot K$	112.5	168.8
Q	Carga especial (Kg./m <sup>3</sup> )	$Q/W$	0.309	0.287
G	Perforación específica(m/m <sup>3</sup> )		0.103	0.100
	Total perforación(metros)		11.6	16.9

Es decir en condiciones ideales, la carga específica (en Kg./m<sup>3</sup>) suele situarse entre 0.2 y 0.4 Kg. de explosivo por cada metro cúbico de roca volada (y, dependiendo de la densidad del mineral y la proporción de esta con el estéril, suele determinar cargas específicas de 0.1 a 0.2 Kg./TM). De manera que, conocida la relación entre el estéril y el mineral y la ley de éste, se puede determinar con bastante aproximación, a partir del consumo de explosivos, las toneladas equivalentes de minerales extraídos en una mina a cielo abierto.

Pese a la simplicidad de los cálculos anteriores, es preciso tener en cuenta que solo son válidos para voladura de bancos, y siempre bajo la hipótesis de que la dureza de la roca es normal (0.4 Kg./m<sup>3</sup>), el grado de compactación de la carga de fondo es la estándar (1.25 Kg./dm<sup>3</sup>), el peso fuerza del explosivo de fondo es equivalente al de la dinamita (1), la inclinación del taladro es 3 :1 y la altura del banco es superior a 2 veces la distancia de máxima resistencia (piedra).

Así por ejemplo, en caso de divergencia en el factor roca (vg. C=0.8), es preciso modificar el cálculo de la piedra, cuyo valor pasa a ser corregido multiplicando el diámetro del taladro en metros por a raíz cuadrada entre valor estándar y el valor real de que se trate (es decir, raíz de 0.5).

Otro factor a tener en cuenta en la práctica es el tamaño de los bloques, el cual pierde importancia si la empresa de maquinaria de arranque de gran capacidad, pero puede tenerla (provocando un segundo disparo) si no dispone de dicha maquinaria.

Dado que en la práctica pueden existir circunstancias que determinen o expliquen ratios muy variables, el auditor debe partir de la carga específica que figura en el modelo COM (certificado de operación minera) que autoriza la Dirección de minas, como requisito previo para la adquisición y en cualquier caso debe analizar los datos que presenta dicha carga específica en los últimos años.



## **Explotación subterránea (Shrinkage)**

A continuación se muestran ratios obtenidos de varias minas a tajo abierto de Perú

### **Perforación**

Canteras y minas medianas a tajo abierto utilizan trackdrills neumáticos e hidráulicos para las siguientes características del tajo.

Diámetros de taladro	3" a 5"
Alturas de banco de	6 a 10 m
Mallas de perforación	4 x 4 a 9. 5 x 9.5 m
Perforación Especifica	15.06 m <sup>3</sup> /mp a 78. 40 m <sup>3</sup> /mp( por metro perforado)

El costo de perforación en el Perú oscila de US\$ 0. 25 /m<sup>3</sup> a US\$ 0.38/m<sup>3</sup> de roca.

### **Voladura**

- En taladros secos se utiliza el ANFO y ANFO pesado.
- En taladros húmedos se utiliza Emulsión y ANFO pesado.

Los taladros son generalmente de 9m a 17 m de profundidad incluyendo sobre perforación (generalmente hay que perforar algo mas de los programado para que no quede en el piso materiales no fragmentados que puedan entorpecer la etapa de carguío).

El consumo específico en las minas a cielo abierto y en las canteras peruanas va, en condiciones normales, desde 0.10 a 0.20 Kg. /TM, sin embargo, no es descartable valores muy superiores en determinadas circunstancias.

## CASO MINA SUPERFICIAL

### I.- DATOS DE CAMPO

Parámetros	Unidad	Frentes
Material		Desmante
Densidad	TM/m <sup>3</sup>	2,7
Altura de banco	M	3,5
Sobre perforación	M	1,5
Altura de taladro	M	5
Taco superior promedio	M	3
Taco medio promedio	M	-
Burden	M	6
Espaciamiento	M	6
Malla de perforación	M2	6X6
Taladro	#	8
Área de influencia real	M2	288=6*6*8

### II.- ACCESORIOS DE VOLADURA

Booster	Unidad	8
Fanel	Unidad	8
Pentacord	M	10
Fulminante	Unidad	2
Guía de seguridad	M	1,8

### III.- EXPLOSIVOS

Tipo		Emulsión matriz ANFO
Emulsión matriz	Kg.	200
Prill Nitrato de amonio	Kg.	300
Fuel Oil	Kg.	19
Total (Heavy ANFO)		519
% Emulsión real		39
% ANFO real		61

#### IV.- RESULTADOS

Volumen roto	M3	1008
Tonelaje roto	TM	2722
Tiros cortados	#	0
Densidad lineal ANFO	Kg./ml	32
Carga total/taladro	Kg./tal	65
Carga especifica	Kg./m3	0,52
<b>Factor potencia</b>	<b>Kg./TM</b>	<b>0,19</b>
Fragmentación		Buena

#### EMPRESA MINERALES S.A.

Parametros	Roca Volcánica	Roca Media	Roca (yeso)
<b>I.- DATOS DE CAMPO</b>			
Diámetro taladro	11"	11"	11"
Longitud taladro	17,50	17,50	17,50
Malla perforación	8 m x 8 m	10 m x 10 m	7,5m x 7,5m
Iniciador	Booster	booster	booster
Accesorio	Cordón detonante	Cordón detonante	Cordón detonante
Explosivo	ANFO pesado 3m ANFO solo 9m	ANFO pesado 3m ANFO solo 9m	ANFO pesado 3m ANFO
<b>Factor de carga</b>	<b>0,70 Kg./m3 zona con agua</b>	<b>0,75 Kg./m3</b>	<b>1,20 Kg./m3</b>

### 3.3.2 Carguío y Transporte:

En el Perú se utilizan todas las máquinas existentes en el mercado, el tipo de máquina está en función al tamaño de la operación o del proyecto específico a ejecutar. Generalmente el método a cielo abierto se aplica a yacimientos tipo diseminados, pórfidos y cuerpos tipo skarn.

- Proyecto grande; Mas de 5000 TPD
- Proyecto mediano Entre 500 y 5000 TPD
- **La maquinaria utilizada para la limpieza de la capa vegetal** o desbroce consiste fundamentalmente de bulldozers (tractores) con capacidades y potencias que van desde:
  - 140 hp a 450 hp
  - 100 m a 400 m
  - Bulldozers grandes de más de 600 hp no son comunes en el Perú.
  - El más popular en el Perú es el D8 de Caterpillar o DISTAX de Komatsu (300 hp).
- **Una vez removida la capa de material, esta es evacuada** mediante cargadores frontales o retroexcavadoras combinadas con volquetes generalmente pequeños. Son muy comunes las siguientes máquinas:
  - Cargadores de 3.3 m<sup>3</sup>: CAT 966F y VOLVO L120C
  - Retroexcavadoras de 2 a 2.5m<sup>3</sup> CAT330BL y CAT325BL
  - Volquetes de 15 m<sup>3</sup> VOLVO NL12
- **Rendimientos y consumo de combustible:**

EQUIPO	CONSUMO	RENDIMIENTO
D8R y DI55 AX	10 gal/h –m	100 a 200 m <sup>3</sup> /h
CAT 330 BL	8gal/h – m	120 a 160 m <sup>3</sup> /h
NL 12	4gal/h - m	depende de la distancia y terreno

Una vez fragmentado, de similar forma evacuado el material utilizando cargadores frontales, excavadoras hidráulicas frontales o versión retro sobre orugas, combinados con camiones chicos o grandes. Con los mismos rendimientos que el punto anterior.

En líneas generales el costo de desbroce (stripping) para un minado a cielo abierto debe estar en el rango de US\$ 0.45/TM a US\$ 0.75/TM dependiendo de la distancia de evacuación.

El desbroce o stripping en proyectos grandes se realiza utilizando equipos de máxima capacidad como palas eléctricas de 35m y 45 m de capacidad de cuchara, con camiones de 180 y 240 TM de capacidad. Con este tipo de equipo el costo baja a un rango de US\$ 0.40/TM dependiendo de la distancia de acarreo.

**Ejemplo: Consumo de combustible en Minera Perú Oro S.A.**

<b>EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
PERFORADORAS	IR, DHL 8 gal/hr
PALAS	992D, WA 800 20.75 gal /hr
CAMIONES	330M 21 gal/hr

## 4. MINERIA SUBTERRANEA

### 4.1 PRINCIPALES METODOS DE EXPLOTACION SUBTERRANEA:

La forma de extracción del mineral y el tratamiento del hueco creado son los factores que definen, de alguna manera, el método de explotación, pudiendo distinguirse **tres grandes grupos**:

- **SOSTENIMIENTO DE LOS HUECOS CON MACIZOS.**
  - METODO DE CAMARAS Y PILARES
  - METODO DE TAJEO POR SUBNIVELES
  - METODO DE CRATERES INVERTIDOS
  
- **RELLENO O FORTIFICACIÓN DE LOS HUECOS.**
  - METODO DE CORTE Y RELLENO (ASCENDENTE O DESCENDENTE)
  - METODO DE ALMACENAMIENTO PROVISIONAL
  - METODO DE ENTIBACION CON CUADROS
  - METODO DE TAJEOS LARGOS
  
- **HUNDIMIENTO CONTROLADO DE LOS HUECOS.**
  - METODO DE HUNDIMIENTO POR SUBNIVELES
  - METODO DE HUNDIMIENTO POR BLOQUES

En Perú, los métodos más comunes son: Cámaras y Pilares, Tajeo por subniveles, Cráteres invertidos, Corte y Relleno y Almacenamiento Provisional.

#### 4.1.1 Cámaras y Pilares

Este método es conocido también con el término "room and pillar" y consiste en ir dejando secciones de mineral, como pilares, para mantener los huecos creados. Las dimensiones de las cámaras y la sección de los pilares dependen de las características del mineral y de la estabilidad de los hastiales, del espesor de recubrimiento y de las tensiones sobre la roca.

El grado de aprovechamiento del depósito es función de las dimensiones de los macizos abandonados.

El mineral que queda como pilar puede recuperarse parcial o totalmente, reemplazando a los pilares por otro material para el sostenimiento del techo o puede extraerse en forma de retirada, abandonándolos ya los tajeos para su posterior hundimiento del techo; caso contrario generalmente los pilares con mineral se pierde.

**El método resulta de aplicación:**

- En cuerpos con buzamiento horizontal, normalmente no debe exceder de 300.
- Cuando el m y la roca encajonante sean relativamente competentes.
- Cuando los minerales no requieren de clasificación en la explotación.
- En depósitos de gran potencia y área extensa.

Este método es utilizado universalmente en yacimientos tabulares sedimentarios, como pizarras cupríferas, yacimientos de hierro, carbón, potasio y otros.

En el Perú se usa en pocas minas, por el cambio brusco del rumbo y buzamiento de las estructuras mineralizadas. En yacimientos con potencia considerable se usan en combinación con corte y relleno, dejando pilares para el sostenimiento del techo.

#### **4.1.2 Tajeo por Subniveles**

Este método es conocido también con el término “sublevel stopping” y consiste en dejar cámaras vacías después de la extracción del mineral. El método se caracteriza por su gran productividad debido a que las labores de preparación se realizan en su mayor parte dentro del mineral. Para prevenir el colapso de las paredes, los cuerpos grandes normalmente son divididos en 2 o más tajeos; la recuperación de los pilares se realiza en la etapa final de minado. En este método, el minado se ejecuta desde los niveles para predeterminedar los intervalos verticales. Los subniveles son desarrollados entre los niveles principales; el mineral derribado con taladros largos o desde los subniveles, cae hacia la zona vacía y es recuperado desde los draw-point” para luego transportarlo hacia la superficie.

### **Requisitos para su aplicación:**

- El depósito debe ser vertical o próximo a ella, debiendo exceder el ángulo de reposo del mineral.
- Las rocas encajonantes deben ser competentes y resistentes.
- El mineral debe ser competente y con buena estabilidad.
- Los límites del yacimiento deben ser y regulares.

### **Producción:**

#### **a) Con taladros largos en paralelo:**

Es ventajoso emplear este sistema en yacimientos verticales de buena potencia. Las operaciones de perforación en subniveles exclusivamente por medio de taladros largos en paralelo usando barras de extensión para lograr una profundidad apropiada, con diámetros entre 2" a 7 7/8 hasta una longitud de 90 metros.

Una vez abierta la rosa frontal del nivel inferior para empezar el arranque, se comienza la perforación del subnivel más bajo y antes de perforar los taladros paralelos se ensancha el subnivel a todo el ancho minable; luego se inicia con la perforación en forma descendente. La voladura se comienza por abajo y se realiza en orden ascendente o lateralmente con salida a una cara libre; la distancia entre los subniveles puede variar hasta los 60 metros dependiendo de la desviación de los taladros.

#### **b) Con taladros en anillo o abanico**

El minado se inicia a partir de la rosa frontal preparado en la parte inferior del tajeo; la perforación se realiza a través de los subniveles con barrenos dispuestos en abanico o anillo, el mineral disparado cae al fondo del tajeo o a los embudos, y se evacua por las tolvas a los vagones o volquetes, o bien se carga con equipos de bajo perfil, por medio de los "draw-point", según el sistema empleado.

Se disparan de dos a tres anillos, pudiendo ser más según la experiencia que se tenga. La distancia entre los subniveles de perforación ha ido incrementándose gracias a que las nuevas tecnologías han permitido ir alargando los barrenos y controlando de modo

eficiente el desvío de estos. De este modo se han conseguido grandes separaciones entre subniveles, en algunos casos se ha logrado reducir el número de subniveles a uno.

Cuando se usa perforación en anillos o ‘ring drilling’ la sección transversal de la galería o subnivel es perforada en todo el perímetro radialmente; en cuerpos angostos es preferible usar taladros paralelos.

#### **4.1.3 Cráteres Invertidos**

Este método ha sido desarrollado recientemente y consiste en el arranque del mineral por rebanadas ascendentes mediante el empleo de voladuras en cráter. El mineral fragmentado puede permanecer dentro del hueco creado, al igual que en el método de cámaras almacén, de forma que se evite el hundimiento de los hastiales. Se extrae también desde el fondo de la galería de base a través de un sistema de tolvas.

La técnica de voladura es muy peculiar en este método, ya que los barrenos verticales se perforan todos desde el nivel de cabeza, con equipos de martillo en fondo y con un diámetro habitual de 165 mm. Tras la apertura del sistema de tolvas se introducen en los barrenos cargas de explosivo suspendidas y diseñadas para que actúen como cargas esféricas. El material volado cae dentro de las cámaras y con solape de los cráteres creados se consigue ir ascendiendo en sucesivas pegadas hasta que, en la parte superior, queda un pilar corona que se vuela de una sola vez.

Las principales ventajas del método son: buena recuperación, dilución moderada, buena seguridad, costes unitarios bajos, moderada flexibilidad, buena ventilación y grado de mecanización. Las desventajas más importantes son: coste de las labores de preparación, dilución cuando los hastiales son poco competentes y posibles atascos en conos tolva por sobre tamaños.

Los yacimientos deben tener una potencia mínima 3m, una inclinación superior a los 50° y contactos claros entre el estéril y el mineral.

#### **4.1.4 Corte y Relleno Ascendente (OVER CUT AND FILL)**

El mineral se arranca por rebanadas horizontales, en sentido ascendente, desde la galería de fondo. Una vez volado se extrae completamente de la cámara, a través de unos coladeros, efectuándose a continuación el relleno del hueco creado con estériles, con lo que se consigue crear una plataforma de trabajo estable y el sostenimiento de los hastiales.

El material de relleno puede ser el escombros procedente de las labores de preparación de la mina o el que con esa finalidad se extrae en superficie de alguna cantera próxima y, una vez triturado, se mezcla con agua para transportarlo hidráulicamente por tubería. Este material se drena para separar el agua, quedando así un relleno compacto. La consolidación puede aumentarse mediante la adición de una cierta cantidad de cemento.

La mayoría de las operaciones se han mecanizado casi totalmente, con lo que este método ha llegado a sustituir a otros hasta ahora muy utilizados. Las principales ventajas que presenta son la alta selectividad, la buena recuperación del mineral, la facilidad de aplicación y las condiciones de seguridad alcanzadas cuando los macizos rocosos de los hastiales no son competentes. Los inconvenientes que presenta son: el coste del material de relleno, el tamaño limitado de las voladuras y las interrupciones en la producción que son necesarias para distribuir el material de relleno dentro de las cámaras.

#### **4.1.5 Minado por Almacenamiento provisional (Shrinkage Stopping)**

El método de explotación por almacenamiento provisional, el mineral es cortado en rebanadas horizontales, comenzando de la parte baja y avanzando hacia arriba. El almacenamiento provisional es un método bastante utilizado en vetas con buzamientos pronunciados donde el mineral es lo suficientemente resistente como para mantener sin soporte tanto la rocas encajonadas como el techo del tajeo. Se pueden tolerar alguna debilidad en las rocas encajonadas en tanto que la dilución resultante no sea un problema; pero el planchoneo puede traer problemas en la extracción por atoramiento de los chutes o puntos de carguío. Para un minado eficiente el buzamiento debe ser mayor de 60 grados.

El mineral disparado es utilizado como plataforma de trabajar así como también para soportar las rocas encajonadas del tajeo. El corte del mineral incrementa el volumen en mas o menos 30 a 40% por lo que para conservar la distancia del piso al techo debe ser necesario extraer el

exceso de mineral para continuar con el ciclo siguiente, esto implica que un 60 a 65 %de mineral queda en el tajeo hasta que este haya alcanzado toda su altura útil.

Actualmente el método es utilizado solamente en vetas angostas de buena ley, las que no pueden ser mecanizadas, o en pequeñas operaciones en donde los costos de mecanización son aceptables. En el Perú se viene utilizando en minas pequeñas y de mediana dimensión.

#### **4.1.6 Método de Entibación con Cuadros (Fortificación de madera)**

Consiste en el sostenimiento con madera, disponiendo esta en forma de paralelepípedo rectos donde los elementos verticales o estemples soportan las presiones verticales, los horizontales o codales las presiones de los hastiales y los cuatro elementos de unión restantes rigidizan el conjunto.

Esta técnica de fortificación se emplea preferentemente en yacimientos de rocas débiles e intensamente fracturadas, cuando el mineral se presenta con formas irregulares, con ramificaciones y contactos mas definidos .si los esfuerzos que deben soportar estos elementos de madera son muy elevados, el sostenimiento se debe completar con un relleno, normalmente hidráulico, dejando pasos y huecos para la ventilación.

Este método consume una gran cantidad de madera y requiere mucha mano de obra, por lo que actualmente casi esta en desuso y solo se justifica cuando el mineral es muy rico.

#### **4.1.7 Tajeos Largos**

Este método puede utilizarse en la explotación de yacimientos estratificados, delgados, de espesores uniformes e inclinaciones preferentemente e pequeñas a moderadas.

Inicialmente se aplico en carbón y, posteriormente, se ha extendido a las potasas y a otros minerales duros, como las vetas auríferas, donde el arranque se efectúa por perforación y voladura.

El mineral se extrae a lo largo con medios mecánicos: rozadora, cepillo, etc., o con explosivos en el caso de las rocas mas duras.

En el sostenimiento del hueco creado se suele utilizar estibación hidráulica marchante o auto desplazable, mientras que el tratamiento que se da al hueco abandonado puede consistir en el relleno del mismo o, mas comúnmente en el hundimiento del techo.

El mineral arrancado se extrae el tajo por medio de transportadores de cadenas o pánzeres que descargan en cintas transportadoras que discurren por las galerías en dirección.

El método se aplica en dos modalidades: en avance y en retirada. En el primer caso, las galerías en dirección, tanto de base como de cabeza de tajo, sufren mayores tensiones que obligan a realizar labores de mantenimiento, mientras que en el segundo caso esa infraestructura se mantiene en el terreno sin explotar.

Cuando las capas son muy potentes, la extracción se realiza en diversas pasadas por franjas descendentes. El arranque del mineral en el frente puede combinarse con un hundimiento controlado por detrás de la estibación, llamado también “sutiraje” con lo que se consigue reducir el número de pasadas y recuperar parte el mineral existente en bolsadas y pequeñas ramificaciones.

Entre las ventajas que presenta este método se encuentran el alto grado de mecanización y la elevada recuperación del mineral. Los principales inconvenientes que presenta son unas condiciones morfológicas y geomecánicas de los materiales adecuados y unas elevadas inversiones iniciales en maquinaria y preparación de las labores.

Un variante de este método descrito es la conocida por tajos cortos, se utiliza en frentes inferiores a los 50m en yacimientos de tipo masivo, que se extienden ocupando grandes superficies horizontales. Se adapta bien a los techos en malas condiciones y es mas flexible, pero precisa mas labores preparatorias y mas cambios y desplazamientos de los equipos mineros.

#### **4.1.8 Hundimiento por Subniveles:**

Consiste en la división del yacimiento en niveles y estos a su vez, en subniveles que se van extrayendo en sentido descendente .la distancia entre subniveles oscila entre los 8 y 15 m y cada uno de ellos se desarrolla según un conjunto de galerías que cubren la sección completa del mineral.

Desde las galerías de nivel se perforan barrenos en abanico en sentido ascendente. Las secciones perforadas en las galerías adyacentes se vuelan de techo a muro constituyendo un frente recto. En los subniveles inferiores y superiores se trabaja de la misma manera, pero manteniendo un desfase entre los frentes.

El mineral fragmentado cae por gravedad dentro de las galerías desde las cuales se carga y transporta hasta una piquera o coladero que descarga sobre una galería principal. El estéril de techo se va fragmentando y hundiendo de forma gradual dentro de los huecos dejados por el mineral.

Este método se aplica en depósitos masivos y potentes, donde tanto el estéril de techo como el mineral se fragmentan y hunden bien. Los principales inconvenientes del método son: la dilución del mineral con el estéril, que suele estar entre el 10 y el 35 %. Las recuperaciones que oscilan entre el 20 y el 90%, y las alteraciones de la superficie.

#### **4.1.9 Hundimiento por Bloques:**

Consiste en dividir el yacimiento en grandes bloques de sección cuadrangular de varios miles de metros cuadrados. Cada bloque se socava practicando una excavación horizontal con explosivos en la base del mismo. El mineral queda sin apoyo y se fractura gracias a las tensiones internas y efectos de la gravedad que actúan progresivamente afectando a todo el bloque. El mineral se extrae de los conos tolva y piqueras practicadas, cargándose y transportándose mediante palas de neumáticos a lo largo de las galerías de transporte inferiores.

Los yacimientos donde se aplica deben ser de gran potencia y extensión, con pocas intercalaciones de estéril y ramificaciones. Por lo general, se trata de mineralizaciones de baja ley con unas propiedades geomecánicas adecuadas para el hundimiento.

Las principales ventajas de este método son: es barato de explotación, pues los costes de arranque y sostenimiento son bajos, requiere poca mano de obra, etc. por el contrario, los inconvenientes más destacables son: las recuperaciones suelen estar próximas al 80% ya que sin éstas aumentan también lo hacen las diluciones, la existencia de agua y materiales plásticos dificultan la explotación, las alteraciones en la superficie son importantes y las inversiones iniciales en labores de preparación son.



**Dique Mineralizado – Oro**

#### 4.2. ANALISIS DE LOS PROCESOS DE PERFORACION, VOLADURA Y CARGUIO:

El método de minado subterráneo generalmente se aplica para determinados tipos de depósitos minerales, como vetas y mantos angostos, o también cuando depósitos tipo cuerpos o masivos se encuentran en profundidad, de tal manera que extraerlos de forma superficial pueda resultar más costoso. El minado subterráneo ha sido hasta hace algunos años el método de explotación más usado en la mayor parte de minas del país, debido a que la mayoría de veces se explotaban vetas y cuerpos a gran profundidad.

El método consta de las siguientes operaciones cíclicas:

- **Perforación** del frente de trabajo con perforadoras manuales convencionales (jackleg) o mecanizadas (jumbos).
- **Voladura** del frente de trabajo, puede ser eléctrica, fanel, convencional, etc.
- Acarreo, con winches, scoops, etc.
- **Sostenimiento del frente de trabajo** mediante pernos de anclaje, shotcrete, mallas, etc.
- **Transporte**, carros mineros, camiones de bajo perfil, etc.

En este tipo de operaciones los problemas principales son como consecuencia de:

- Fragmentación del mineral y material estéril
- Soporte de la excavación
- Carguío y transporte de mineral y estéril
- Izaje o levantamiento del mineral desde la mina
- Control y bombeo del agua
- Suministrar un ambiente adecuado de ventilación para el trabajo.

**Respecto de perforación y voladura, sigue siendo válido lo afirmado para estas operaciones en minería a tajo abierto, sin embargo es preciso realizar algunas precisiones:**

- En la voladura subterránea, si bien es habitual el uso del ANFO, se utiliza dinamita y slurries en mayor proporción que en minería a cielo abierto, debido a las condiciones de mayor humedad asociadas a la minería subterránea.

- En cuanto a los parámetros de voladura, se suelen sustituir los términos de piedra (distancia de menor resistencia) y espaciamento, típicos de la voladura a tajo abierto, por la sección (ancho y altura) de la zona objeto de voladura.
- Por razones obvias, el problema de los bloques ha de solucionarse totalmente en el minado subterráneo, lo que unido a las diferentes condiciones de la voladura subterránea, suele comportar un mayor consumo específico de explosivo por metro cúbico de mineral arrancado.

### 4.3 RELACIONES INSUMO PRODUCTO RELEVANTE

#### 4.3.1 Perforación y Explosivos:

Debido a la enorme variedad métodos de minado subterráneo y de condiciones en que el mismo se realiza (dureza de la roca, tipo de explosivo, tamaño máximo admisible de los bloques, tipo de mineral, etc.), no es posible apuntar relaciones exactas (ni siquiera en términos de intervalos) aplicables con carácter general a toda la minería subterránea.

**No obstante lo anterior, es preciso volver a recordar que en el Certificado de Operación Minera, que autoriza la Dirección de Minas, con carácter previo a la adquisición de los explosivos y accesorios, consta con claridad el factor de potencia que corresponde a la explotación para la que se expide dicho certificado. Por lo tanto el auditor deberá partir de dicho factor de potencia, para determinar la razonabilidad de los datos de producción declarados por la empresa.**

El anexo 4 contiene los resultados de pruebas realizadas por una empresa independiente en 5 minas subterráneas.

El factor de potencia resultante (para secciones variables de un mínimo de 2.5 m \*2.7 m a un máximo de 4.6 m a 5.m) presenta una variación entre un máximo de 3.89 Kg./m<sup>3</sup> a un mínimo de 1.0 Kg./m<sup>3</sup> (es decir, notablemente superior a los resultados habituales en voladura a cielo abierto).

Ejemplos de minas peruanas subterráneas:

#### **MINA A**

Altura:	100—400 m.s.n.m.
Sistema de minado:	Convencional por Cámaras y pilares
Perforación:	Equipos convencionales Jackleg
Voladura:	Dinamita y fulminantes comunes # 6 FAMESA y guías de seguridad

Transporte: Carros mineros tipos “gramby”, cable y balancín de 1,7; 2,2 y 1 ton.  
Acarreo: Winches eléctricos y neumáticos de 2 tambores

**Parámetros de explotación:**

Productividad en el tajeo: 7,1 t/h-g  
Consumo de explosivo: 0,29 kg/t  
Metros de taladros perforados 1,22 mt  
Labores preparatorias: 4,8ml extraídas  
Dilución: 5—10%  
Recuperación reservas geológicas: 75%  
Mineral roto por disparo: 110 ton

**MINA B**

Altura: 1,400 m.s.n.m.  
Sistema de minado: Mecanizado por cámaras y pilares con corte y relleno ascendente  
Perforación: Cavo Drill y Jumbos eléctricos de 1 brazo  
Voladura: Dinamita y ANFO fulminantes # 6, fanel blanco y rojo de ½ segundo y milisegundo de retardo, guía común y pentacord Scooptram de 3½ y 6 yd<sup>3</sup> y camiones de 13, 20 y 28 ton de capacidad, locomotoras trolley con carros mineros de capacidad de 120 a 200 pies<sup>3</sup>  
Relleno: Hidráulico 60% y convencional 40%  
Descripción de equipos: Perforadoras diamantinas Diamec 400, Perforadoras Long Year 1 ,350m, Scooptrams de 3½ y 6 yd<sup>3</sup>, Camiones de 13,20 y28 ton, Jumbos electro hidráulicos de un brazo, Perforadora de chimenea raise borer, Locomotoras trolley

## **MINA C**

Altura:	80 a 372 m.s.n.m.
Sistema de minado:	Tajeo por subniveles principalmente, sistema convencional y tajo abierto.
Perforación:	Vagón perforador para taladros largos con perforadora con 350 p.c.m. de consumo de aire comprimido, brocas de 2" (51 mm) con insertos en cruz, barras segmento de 1 ¼"x 4', coplas de 1 ¼"y adaptadores de culata de 1 ¼". Rendimiento (velocidad de perforación) 0,25 m/min.
Longitud de perforación:	14m
Espaciamiento tope:	2 m, con 38 taladros para un área de 20 x 25 m
Malla:	2 x 1.5 m
Rendimiento:	2,210 ton de mineral con rendimiento de 29 ml guardia y 250 ton/guardia
Voladura:	Cargador neumático de capacidad de 100 Kg. de ANFO
Explosivos:	ANFO, cordón detonante, dinamita como iniciador y retardos de 25 milisegundos. Factor de potencia 0,36 Kg./t considerando voladura secundaria con dinamita (0.04kg/t) el factor de potencia sería de 0.42 kg/lit.

## **Descripción del carguío:**

De taladros:	Alrededor del perímetro de la galería se deja un metro de taladro sin carga explosiva, seguidamente el resto de la longitud se divide en 4 partes y se inicia el carguío. Cada 3 taladros se llenan totalmente los intermedios se cargan a ½ longitud, se conectan con cordón detonante y con retardos de 25 ms. Dilución y voladura secundaria 5%. Acarreo: cargadores de bajo perfil de 3 1/2 yd <sup>3</sup> de capacidad con una distancia de acarreo de 100 a 140 m hasta los echaderos, rendimiento de 50 t/hr.
--------------	--

Transporte: Camiones de 10 m<sup>3</sup> con una capacidad efectiva de 12 ton, recorrido de 900 m hasta la planta de tratamiento y 2,000 m hasta los botaderos de estéril.

#### Rendimientos de equipo diesel

Unidades	Capacidad	Convencional T/hr	Mecanizado T/hr	Tajo abierto t/h	
				Mineral	Desmonte
Payloader	3yd <sup>3</sup>				
Scooptram	3½ yd <sup>3</sup>	40	50.9		
Tractor	D7 - G			110	150.0
Volquetes	16 m <sup>3</sup>	51		57	38.0
	10 m <sup>3</sup>			48	36.0

#### Productividad por método de explotación

Tipo de equipos y rendimientos	Convencional Ø33 mm	Mecanizado Ø51 mm	Tajo muerto t/hr Ø64 mm
Maquina perforadora	Jackleg	Wagon Drill	Track Drill
M perforado por guardia	60.00	39.50	55.00
T/m perforado	0.82	4.46	5.21
T/hombre explotación	5.40	18.90	35.30
T/h preparación explotación	4.50	14.40	18.20
Factor potencia Kg./t	0.45	0.42	0.30

#### MINA POLIMETALICA 2:

Altura: 4,250 m.s.n.m.  
Método de explotación: Sublevel stopping  
Perforación: Jumbo hidráulico de 1 brazo  
Diámetro de perforación: 45 mm  
Rendimiento: 35.3 m/hr

Factor de potencia:	3.58 m <sup>3</sup> /hr
Factor de perforación:	3.25 m perf./m <sup>3</sup>
Avance por disparo:	2.90 m/disparo
Voladura:	Se realiza con:
	Examon                      20 – 25 bolsas
	Cordón detonante        5p= 500
	Fanel período corto      20 – 25 unidades
	Densidad del carguío    1.04 lb/pie
	Collar                        6 pies
Equipo de voladura	Cargador CIL tamaño medio portátil neumático de 85 -100 psi
Transporte:	Capacidad de acarreo y transporte sistema trackless
	#scoops de 3.5 yd <sup>3</sup> 4
	#volquetes de 13t        3
	#volquetes de 15t        2
	#volquetes de 16t        3
	Distancia a transportar 120 – 730 m
	T/hora                        440

### **MINA VETAS**

Altitud:                                      4,200 m.s.n.m.  
Método de explotación para el de chimenea con perforación de taladros largos

Perforación:	Bufalo Atlas Copco BBC120F
	Viga de avance de tornillo BMS46
	Barra de perforación                  R-32-4pies
	Diámetro de broca                      2"
	Burden                                      1,5-2,0 m
	Espaciamiento(al fondo)              2,0—2,5m
	Longitud prom. De perforac.        8m
	Rotura por metro perforado        5t/m
	Long.perforac./guardia                60m

	Tonelaje producc./día	600 t/día
	Tonelaje/mes (25 días)	15,000 Vm
	Contingencias 20%	12,000 Vm
Voladura:	Parámetros	
	Booster	1 1/8"xB"x75%
	Carga de columna	ANFO - Examón
	Fanel	12 m
	Cordón detonante	3p
	Factor de potencia	0,15-0,25 Kg./t
	% Voladura secundaria	5%-10%

Se realiza con un scooptram eléctrico de 2 yd<sup>3</sup> con un recorrido promedio de 70 m

Densidad del mineral roto	2.8 t/m <sup>3</sup>
Distancia entre ventanas	10m
Distancia media del oro pass	70m
Rendimiento estimado LHD	60 t/h
Producción/guardia	330 t
Producción/día (3 guardias)	990 t
Producción/mes	24 750t
Capacidad de almacenamiento	800 m <sup>3</sup>
Transporte mineral	Locomotora

### **MINA METALES S.A**

Altitud:	4,530 m.s.n.m.
Método de explotación:	Minado con almacenamiento provisional mecanizado Jumbo a lo largo y ancho de la veta sobre la galería posteriormente se continua con los demás cortes sobre el mineral roto con perforación convencional con barrenos de 7"11"ybrocasde 1½ diámetro
Longitud taladro	2,10
Inclinación taladro	75°
Avance efectivo/corte	1,90
Malla perforación	0,8 x 0,9 m

Peso específico mineral	300 t/m <sup>3</sup>
Ton/taladro	4,10
Longitud del tajeo	100 m
Altura del tajeo	40 m
# cortes/tajeo	19
Taladros/guardia	60
Potencia promedio	2,7 m
# guardias	2
# taladro/corte	375
# taladro/tajeo	7125
Ton/corte	1 540
Ton/tajeo	29 260

Voladura:

Dinamita	65%, 1 1/8" x 7"
Semigelatina	65%, 1 1/8" x 7"
ÁNFO	
Fanel	MS
Fulminante #	8
Cordón detonante	3PE, 5P
Guía de seguridad	Famesa
Explosivo/taladro	1,40 kg/tal
ANFO/corte	210 kg
ANFO/tajeo	4 000 kg
Factor de carga	0,14 kg/t

#### 4.3.2 Combustible y Fuerza

Al igual que en minería a cielo abierto, el consumo por hora de trabajo está en función del tipo de máquina, de su potencia y capacidad, y de la distancia que debe recorrer, por lo que no es posible dar relaciones insumo producto global. No obstante el auditor debe revisar la potencia y capacidad de cada máquina, así como el recorrido medio, para estimar su consumo por hora de trabajo, y, por esta vía, determinar las horas de trabajo y el volumen movido en un año, con el fin de contrastar la razonabilidad de los datos declarados por la empresa.

A continuación se muestran datos relativos de consumo de combustible en minas subterráneas:

**POLIMETALICA 1:**

Palas	3 palas	
	5,600 hr/año	21,245 gal
	3.79 gal/hr	
Scoop	9 scoops	
	900 hr/año	10,664 gal
	11.84 gal/hr	
Camiones	4 camiones	
	1,471 hr/año	40,406 gal
	27.46 gal/hr	

**COBRE 2:**

Palas	7 palas	1,260 HP
	2,500 kg/año	90,720 gal
	36.28 gal/hr	
Scoop	8 scoops	3,000 HP
	3,500 hr/año	196,800 gal
	56.22 gal/hr	
Camiones	11 camiones	4,146 HP
	3,000 hr/año	191,400 gal
	63.80 gal/hr	

**POLIMETALICA 4:**

Compresoras	4 compresoras 262 HP	
	17,401 hr/año	128,167 gal
	7.36 gal/hr	
Cargador Frontal Cat 988 B	2 Cargadores	375 HP
	12,133 hr/año	108,846 gal
	8.98 gal/hr	

Cargador Frontal Cat 966 C	3 Cargadores	170 HP
	14, 605 hr/año	55,503 gal
	3.80 gal/hr	
Camiones Randon RK 435	3 camiones	435 HP
	11,468 hr/año	45,922 gal
	4,00 gal/hr	
Camiones Randon RK 425	5 camiones	271 HP
	23,608 hr/año	60,220 gal
	2.55 gal/hr	
Camiones Volvo NC12 14 camiones		395 HP
	76,004 hr/año	216,978 gal
	2.85 gal/hr	
Tractores Cat D8	2 tractores	385 HP
	9,728 hr/año	108,659 gal
	11.16 gal/hr	
Motoniv. Komatsu 623 A1 moto niveladora		166 HP
	5,966 hr/año	13,233 gal
	2.21 gal/hr	

**MINA EL ABRA:**

Palas	3 palas	
	6,754 hr/año	13,762 gal
	2.03 gal/hr	
Scoop	1 scoop	
	1,611 hr/año	1,425 gal
	0.88 gal/hr	

## 5. CONCENTRACION

### 5.1 ANALISIS DE LOS PROCESOS DE CHANCADO, MOLIENDA Y FLOTACIÓN

#### 5.1.1 Los Tratamientos Mineralúrgicos

Los fragmentos de roca procedentes de las operaciones de minado contienen dos componentes principales:

- a) Componente valioso el cual contiene compuestos metálicos o no – metálicos de interés económico.
- b) Componente no – valioso o estéril con muy poco o nada de compuestos de interés económico y al cual se denomina comúnmente ganga.

El producto final de los tratamientos mineralurgicos es el concentrado de la especie valiosa, mencionándose la especie de mayor importancia económica, ejemplo concentrado de Zinc, concentrado de Cobre, etc.

En realidad, el concepto de producto final tiene muchas aceptaciones, cada una de ellas con sus correspondientes implicaciones, que residen en el carácter propio del mineral/material que se extrae.

En función de la naturaleza del yacimiento y el tipo de mineral podemos resumir los tratamientos mineralurgicos en:

TRATAMIENTOS MINERALURGICOS	
PROCESOS FISICOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Gravimetría</li> <li>➤ Reducción de tamaño</li> <li>➤ Separación Magnética</li> <li>➤ Separación Electrostática</li> <li>➤ Molienda en Seco</li> </ul>
PROCESOS FISICO QUIMICOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Flotación</li> <li>➤ Medios Densos</li> <li>➤ Sedimentación</li> </ul>

De acuerdo con esta clasificación, se puede observar que el tratamiento integral del material procedente de la mina, incluye hasta tres tipos de operaciones.

- Una de carácter físico: la disgregación mecánica del material.
- Otra de tipo mineral: la extracción de las fases minerales de interés económico, y
- La tercera de carácter químico: la obtención de los metales que poseen un valor en el mercado.

#### **PLANTA DE TRATAMIENTO:**

Es el lugar donde se llevan a cabo los procesos mineralúrgicos, y suele estar situada en los alrededores de la explotación minera, para reducir los gastos asociados al transporte del material a la planta metalúrgica, ya que, en general, el mineral está constituido en su mayor parte (en ocasiones hasta en un 99%) por estéril, por lo que resulta imprescindible que el transporte efectúe únicamente a los componentes que posean interés económico.

#### **PRINCIPALES PROCESOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO:**

PREPARACIÓN MECÁNICA DE LOS MINERALES

SEPARACIÓN DE LOS COMPONENTES

TRATAMIENTO DE LA PULPA

EVACUACIÓN DE LOS ESTERILES

### **5.1.2 Preparación Mecánica de los Minerales (Chancado y Molienda)**

#### **OBJETO:**

La preparación del mineral, consistente en una fragmentación del material sólido, tiene como objetivo reducir, por acción mecánica externa y, a veces, interna, un sólido de volumen dado en elementos de volumen más pequeño.

Con ello se liberan los componentes con valor económico del estéril o, simplemente, se reduce una materia mineral determinada a unas dimensiones dictadas por la utilización.

También puede tener por objeto reducir el material a unas dimensiones que permitan unas reacciones fisicoquímicas o químicas cuya cinética es función de la superficie de los cuerpos presentes.

### **ETAPAS:**

El proceso consta de diversas etapas o fases cuyos objetivos son, en general, obtener un material con unas dimensiones determinadas. Dichas etapas son:

- ☐ **TRITURACION O CHANCADO:** Es una etapa amplia en la que se obtienen elementos con diferentes tamaños a partir del material suministrado en la fase anterior. Se suele hablar de una trituración primaria (tamaño inferior a 100mm), una trituración secundaria (tamaño inferior a 25mm) y una trituración terciaria, al final de la cual el material está formado por fragmentos inferiores a 10 mm.
  
- ☐ **MOLIENDA:** Genera un productivo definitivo, bien para su comercialización, bien para la etapa posterior de separación de componentes valiosos de no valiosos. En ocasiones, el tamaño de las partículas debe alcanzar valores tan pequeños como 20 – 30 micras (p.e. para la entrada en los circuitos de flotación).

### **CONSUMO ENERGÉTICO Y FORMULA DE BOND:**

El consumo energético de esta fase puede alcanzar hasta un 50% del total consumido en la planta de tratamiento. Con relación al citado consumo energético, existen algunos métodos para evaluarlo de forma aproximada. Quizás el más utilizado sea el de la fórmula de Bond (Bond, 1952), que establece la potencia requerida, en Kilovatios - hora por tonelada de material fragmentado.

$$W = 10W_i \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

W = Potencia requerida en Kw – h / TC

W<sub>i</sub> = Work index o índice de trabajo en Kw – h / TC

P<sub>80</sub> = Tamaño en micras del 80% en peso pasante del producto.

F<sub>80</sub> = Tamaño en micras del 80% en peso pasante del alimento.

P<sub>80</sub>, f<sub>80</sub> se obtienen del análisis granulométrico del mineral fragmentado (producto) y del alimento:

$$1TC = 907 \text{ Kg. o } 1TM = 2.2046 \text{ TC}$$

$$1TM = 1000 \text{ Kg.}$$

Wi es el índice de trabajo de Bond, que es la potencia requerida, en kilovatios-hora por tonelada, para reducir el tamaño de partícula de la roca desde un valor infinitamente grande a 100 micras. Este valor se determina por un ensayo de laboratorio y suele oscilar entre 8 para rocas blandas pero coherentes y 15-18 para materiales duros y compactos

Ejemplo de aplicación de la fórmula de Bond a un Molino de Bolas:

Si:

$$F = 1.200 \text{ micras}$$

$$P = 175 \text{ micras}$$

$$W_i = 11.7 \text{ Kw.} - h / TC$$

Entonces aplicando la fórmula (1)

$$W = 5.47 \text{ Kw} - h / TC$$

### PRINCIPALES EQUIPOS DE TRITURACIÓN Y MOLIENDA:

Los equipos de trituración que se utilizan en la preparación mecánica del mineral pueden clasificarse en diferentes categorías en función de la naturaleza de las fuerzas que actúan:

- Por Impacto
- Por compresión
- Por fricción
- Por percusión
- Mixtos
- Por Molienda

Las diferencias entre unos y otros equipos son importantes, aunque un primer aspecto que los caracteriza es el tipo de fragmentos que generan.

Un aparato que actúa por **compresión** produce **una menor cantidad de finos** que otro que actúa por impacto y éste, a su vez, menor cantidad de material fino que los que actúa por fricción.

También existe una adecuación entre los tipos de aparatos y la etapa de trituración, de tal forma que los que actúan por compresión suelen utilizarse en la fase primaria de machaqueo (al ser éste el método más práctico de generar una fractura en tamaños de partícula grande), mientras que

para la etapa de molienda es más frecuente la utilización de equipos que actúan por fricción y percusión.

**EQUIPOS QUE ACTÚAN POR COMPRESIÓN:** Las trituradoras de mandíbulas y las trituradoras giratorias son los aparatos más utilizados en las plantas de tratamiento. Ambos trabajan en seco, existiendo ventajas e inconvenientes para cada uno de ellos. Puesto que suelen utilizarse en la

primera etapa de trituración, es frecuente la existencia de martillos rompedores en la entrada de la alimentación, con el fin de fracturar los fragmentos de gran tamaño que, en ocasiones, se presentan procedentes de la extracción minera. Estos aparatos generan relaciones de reducción entre 4:1 para la trituradora de mandíbulas y 10 -15: 1 para los trituradores giratorios y/o cónicos. Cabe hablar de trituración primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria, para reducciones sucesivas del tamaño en aplicaciones de roca dura.

- **TRITURADORA DE MANDÍBULAS:** Esta constituida por dos mandíbulas dispuestas una enfrente de la otra en forma de V, una de las cuales es fija y la otra es animada de un movimiento alternativo producido por medio de un sistema de biela excéntrica y de placas de articulación. El material a machacar es introducido por la parte superior. El acercamiento de la mandíbula móvil provoca, por compresión, la rotura por aplastamiento de los grandes bloques. Su alejamiento permite a los fragmentos el descender en la cámara de trituración, donde son sometidos a un nuevo aplastamiento. Materiales triturados se evacuan, a continuación, por el orificio inferior.
- **TRITURADORAS GIRATORIAS:** Estos aparatos pueden encontrarse tanto en plantas de tratamiento situadas en la superficie como en etapas de pre machaqueo en el interior de la mina. Los materiales a triturar son reducidos por aplastamiento o compresión entre una pared cónica fija y un cuerpo troncocónico, montado un eje vertical, movido en su base por una excéntrica. En todo instante, la trituradora giratoria se comporta como una machacadora de mandíbulas, al igual que en las machacadora de mandíbulas, en la zona de descarga. Una modificación en las trituradoras giratorias son los conos, siendo el tipo Symons el más utilizado en los cuales el eje reposa, por medio del cuerpo troncocónico, sobre unos cojinetes esféricos. Esta disposición permite unas rotaciones rápidas y una disposición y alimentación fáciles. Suelen utilizarse para etapas de fragmentación con tamaños inferiores a las machacadoras de mandíbulas y trituradoras giratorias.

**EQUIPOS QUE ACTÚAN POR FRICCIÓN** Estos aparatos tienen por principio el someter el material a esfuerzos de frotamiento o fricción, obligándolo a pasar entre dos superficies lisas o rugosas, una de las cuales es fija y la otra móvil, o donde ambas son móviles, animadas de velocidades diferentes. La acción de fricción o de atracción está siempre combinada con una acción de aplastamiento o compresión. En el caso de los molinos de muelas, la presión viene dada por la gravedad. En los molinos de cilindros, estriados o acanalados, la velocidad de un cilindro es de dos a cuatro veces la velocidad del otro. Aunque todavía se usan en algunas plantas de tratamiento, tienden a ser sustituidos por trituradores cónicos, por lo que su interés es cada vez menor.

**EQUIPOS QUE ACTÚAN POR IMPACTO:** Estos aparatos utilizan el hecho de que la energía cinética de un cuerpo en movimiento es integralmente transformada, partir de un choque, en energía de deformación, afectando al cuerpo y al obstáculo. Las velocidades de percusión que se aplican están en función de que la operación no se hace en el vacío y que la resistencia del aire interviene para frenar más la velocidad de los granos finos que la de los gruesos. Esta influencia se hace netamente sentir para las partículas inferiores al milímetro, los aparatos más utilizados en el mundo son los molinos de impacto y los molinos de martillos.

**EQUIPOS MIXTOS:** Este tipo de aparatos producen la reducción del tamaño de las partículas por una combinación de aplastamiento, fricción y percusión. Se encuentran representados por los molinos de bolas y de barras que trabajan en medio húmedo y seco. Estos molinos están constituidos por tambores cilíndricos o cilíndrico-cónicos de eje horizontal, provistos, en su interior, de blindajes y parcialmente rellenos de cuerpos de molienda formados por bolas de acero, barras cilíndricas de acero, etc.

- **MOLINOS DE BARRAS:** Este tipo de molinos utilizan barras de acero como medio de molienda. La reducción del tamaño tiene lugar al rodar las barras entre sí, que atrapan y rompen las partículas de material. Suelen utilizarse en las primeras etapas de molienda, cogiendo partículas hasta de 50 mm y generando un producto que puede llegar a tener 300 micras, con relaciones de reducción que oscilan entre 15 y 20:1. Trabajan normalmente con una carga del 35% al 40% del volumen (hasta un máximo de 45%). Los molinos de barras tienen una característica muy importante, que es la prevención de la sobre molienda, es decir la molienda es más selectiva al no generar excesiva cantidad de finos.

- **MOLINOS DE BOLAS**: llamados por ser unas bolas de acero el medio de fracturación de las partículas. **Se utilizan en las últimas etapas de la molienda, no admitiendo partículas superiores a 20- 25 mm.** La bondad de su utilización reside en tres factores:

**Los contactos bola a bola se producen en un único punto**, al contrario que los barra a barra que tienen lugar a lo largo de una línea. Esto se traduce en un incremento en las fuerzas de ruptura, que generan un mayor grado de reducción del tamaño.

La presencia de grandes partículas no impide al menos en menor medida que en los molinos de barra, la fragmentación de las de tamaño pequeño.

**La utilización de bolas de tamaño muy diferentes** (hasta un tamaño mínimo de 25 mm) **favorece un gran número de puntos de contacto** entre los componentes, lo que resulta muy beneficioso en la reducción hasta tamaños finos donde el número de partículas a fragmentar es muy grande.

Un factor muy importante en la eficiencia de los molinos de bolas es la densidad de la pulpa, la cual debe ser tan alta como sea posible para producir, de forma constante, películas de material alrededor de las bolas (normalmente se trabaja con valores del 65 al 80% de sólidos en peso). Si la pulpa está muy diluida, se producen contactos metal-metal, aumentándose el consumo de acero y disminuyéndose la eficiencia. El volumen de llenado en este molino suele oscilar entre 0.4 y 0.5. Al igual que para los molinos de barras, existen diferentes modelos según el tipo de descarga.

En cuanto al desgaste de los medios de molienda, se ha estudiado en profundidad, dado su elevado consumo y su peso elevado en los costes del proceso de cominución (a continuación del consumo de energía). Los factores que influyen en dicho desgaste son el impacto, la abrasión y la corrosión. El desgaste por impacto es proporcional al peso de la bola, mientras que el desgaste abrasivo y corrosivo es proporcional a la superficie de la bola.

- **MOLINO AUTOGENO**: Durante los últimos años se ha puesto un mayor énfasis en la utilización de los molinos autógenos o semiautógenos. En general, presentan un coste de capital inferior, menores trabajos de mantenimiento y un consumo en material de molienda menor. En síntesis, consisten en tambores que, en lugar de utilizar las barras o bolas como medio de fracturación, usan bien las propias partículas como agentes de molienda

(autógenos), bien dichas partículas mezcladas con una pequeña cantidad de bolas de acero (semiautógenos — volúmenes de llenado de llenado del orden de 0.06 a 0.1).

## **LA CLASIFICACIÓN DE LOS SÓLIDOS**

Tanto durante los procesos de conminución como en la etapa de concentración, es necesario llevar a cabo clasificaciones que permitan asegurar un tamaño determinado para un proceso concreto.

Así, en la etapa de trituración y molienda, las clasificaciones tienen por objeto sustraer los materiales excesivamente gruesos o finos con el fin de aumentar el rendimiento de los aparatos.

Por su parte, en los procedimientos de concentración el objetivo es proporcionar una serie de productos de dimensiones calibradas, permitiendo a cada aparato ser regulado de forma que alcance grados de concentración superiores a los que podrían obtenerse si la alimentación no hubiera sido previamente calibrada.

Esta clasificación, que no constituye una etapa propiamente dicha pues afecta a los diferentes procesos metalúrgicos puede llevarse a cabo según dos métodos:

- **POR VÍA DIRECTA** (cribado o tamizado), utilizando unas aberturas de dimensiones y formas dadas. Este método se aplica para separaciones de tamaño alrededor de 3 mm por tamices convencionales vibratorios y hasta malla 200 (74 micras) en tamices vibratorios de alta frecuencia.
- **POR VÍA INDIRECTA** (sedimentación diferencial): Este método se basa en la separación de varios productos en función de su diferente velocidad de caída en un fluido determinado, normalmente agua y se utiliza en un campo comprendido entre 1 mm y algunas micras. Este tipo de clasificación, en conjunto, es menos precisa que la vía directa. El fluido puede estar constituido por aire o agua, siendo éste último el más frecuente.

### 5.1.3 Separación de Componentes:

Una vez que el material se ha triturado y clasificado de forma adecuada, puede estar listo para su comercialización, como sucede, por ejemplo, con los áridos, o puede ser necesario llevar a cabo ulteriores procesos, por ejemplo en las menas metálicas, para obtener el producto final. En este segundo caso, el material presenta tres tipos de partículas: Con interés económico (el mineral propiamente dicho); Sin interés económico (estéril); Partículas con parte de mineral y parte de estéril (mixtos).

Las técnicas que se utilizan para la presente etapa se relacionan directamente con las propiedades físico- químicas y naturaleza de los minerales. Dejando al margen métodos ya en desuso como el estrío a mano (selección de los componentes manualmente) u otros cuya aplicación en el ámbito industrial está en fase

de desarrollo (p.e. los tratamientos microbiológicos), los métodos de enriquecimiento más utilizadas en la industria se basan en las siguientes propiedades físicas: (a) gravedad; (b) magnetismo y electrostática y (c) propiedades superficiales (flotación),

#### **MÉTODOS BASADOS EN LA GRAVEDAD**

Los procedimientos de concentración por gravedad utilizan el efecto combinado de la masa volumen, forma y peso específico de las partículas para obtener unas trayectorias diferentes en un medio líquido, estático o en movimiento.

#### **MÉTODOS BASADOS EN EL MAGNETISMO Y EN LA ELECTROSTÁTICA**

Ambos tipos de separación se basan en la fuerza que una partícula experimenta al ser sometida a un campo eléctrico o magnético. La magnitud de esta fuerza depende de las propiedades eléctricas o magnéticas de las partículas y de la naturaleza del campo aplicado. De acuerdo con las citadas propiedades, la fuerza de separación será mayor o menor, con lo que las trayectorias de las partículas serán diferentes, permitiendo su separación.

- **SEPARACIÓN ELECTROSTÁTICA:** La fuerza de separación se produce por la acción que un campo eléctrico efectúa sobre una partícula cargada.

El proceso supone dos funciones: primeramente, las partículas de interés económico deben ser cargadas selectivamente frente a las partículas estériles y, a continuación, se exponen a la acción de un campo eléctrico en el que la respuesta (trayectoria) es diferente según el tipo de partícula cargada. El proceso de carga selectiva se lleva a cabo de dos formas, bien por inducción o bien por bombardeo iónico. De acuerdo con esto, la propiedad que se explota en las separaciones electrostáticas es la diferente conductividad eléctrica de los minerales. Una consecuencia importante, por lo tanto, es que los materiales deben estar completamente secos.

- **SEPARACIÓN MAGNÉTICA:** La propiedad que se utiliza en las separaciones magnéticas es la diferente susceptibilidad magnética de los minerales. Según sea esta susceptibilidad, los minerales pueden incluirse en uno de los tres grupos siguientes:
  - **FERROMAGNÉTICOS:** Tienen muy alta susceptibilidad y experimentan fuertes fuerzas magnéticas en un campo no uniforme (vg. la magnetita). Sin embargo, la magnitud de las fuerzas es esencialmente independiente de la susceptibilidad magnética.
  - **DIAMAGNÉTICOS:** Los minerales poseen fuerzas de separación muy débiles, como por ejemplo la galena o el cuarzo.
  - **PARAMAGNÉTICOS:** Son débilmente magnéticos, aunque sus susceptibilidades magnéticas son un orden de magnitud mayor que las de los diamagnéticos y varios órdenes de magnitud menores que las de los ferromagnéticos. Ejemplos serían la pirita, la hematites y los sulfuros de cobre.

Las fuerzas presentes en los minerales diamagnéticos y paramagnéticos dependen de las correspondientes susceptibilidades, por lo que éstas pueden ser utilizadas para la separación entre estos tipos de minerales.

Por el contrario, en el caso de los ferromagnéticos, las partículas de diferente susceptibilidad no pueden ser separadas pues experimentan las mismas fuerzas. Estas son considerablemente mayores que las que poseen los día y paramagnéticos, por lo que la separación entre éstos y los ferromagnéticos es posible; pero no entre los diamagnéticos o paramagnéticos que necesitan la presencia de los campos magnéticos de muy alta intensidad.

Existen en el mercado diferentes aparatos que llevan a cabo la separación magnética. Básicamente pueden ser de cuatro tipos, en función de que se produzca en seco o en húmedo o tenga lugar en separadores de alta o baja intensidad en húmedo.

## **METODOS BASADOS EN LAS PROPIEDADES DE SUPERFICIE: FLOTACION**

Se denomina flotación al método físico-químico que consiste en la concentración de minerales finamente molidos. Este proceso comprende el tratamiento químico de una pulpa de mineral que crea condiciones de adherencia de las partículas minerales a las burbujas de aire. Estas burbujas emergen con los minerales seleccionados a la superficie de la pulpa y forman una espuma estabilizada, que es recogida mientras los otros minerales permanecen sumergidos en la pulpa.

El método de recuperación de minerales por Flotación es actualmente el más eficaz y el más extensamente usado en todo el mundo. Se distingue entre “Flotación Colectiva” (separación de minerales distintos, como los sulfurados y los no-sulfurados) y “Flotación Diferencial” (separación de tipos similares de mineral, como la separación de sulfuros de Cobre, Plomo y Zinc).

En la flotación por espumas, la separación mineral tiene lugar utilizando las diferencias en las propiedades de superficie de los minerales.

Dichas propiedades son específicas para cada especie mineral y vienen determinadas por — su composición química y tipo de enlace químico. Por ello, la flotación ofrece una capacidad de separación muy selectiva.

La aplicación de esta técnica como método de separación es la técnica más utilizada, esperándose, en el futuro el mantenimiento de esta tendencia. La importancia de la flotación reside en su relativa eficiencia y selectividad, su aplicabilidad a la mayor parte de las especies minerales ya sus altas capacidades por unidad de flotación.

Este último aspecto es el que permitido, con la utilización de la flotación, el tratamiento de menas con leyes muy bajas que, de lo contrario, no hubiesen podido ser explotadas.

Inicialmente desarrollada para el beneficio de los sulfuros de cobre, plomo y cinc, su utilización se ha expandido a otras especies minerales, como la hematita y la casiterita en el campo de los óxidos, e inclusive especies como carbonatos tipo malaquita y cerusita como ejemplo de fases oxidadas, e incluso, para menas no metálicas como la fluorita, los fosfatos o el carbón. La importancia económica de la flotación puede evaluarse al tener en cuenta que se utiliza en un 80% de los minerales que se tratan mediante operaciones de concentración.

El procedimiento se basa en el hecho de que ciertos minerales (los térreos) son hidrófilos, es decir, se adhieren al agua, mientras que otros (los metálicos) son hidrófobos, o sea, no tienen afinidad por el agua (no son impregnables o mojables por ésta o lo son en menor medida).

Por el contrario, el comportamiento de estos minerales frente al aceite es totalmente opuesto, es decir, los térreos actúan de forma hidrófoba y los metálicos hidrófilamente.

De esta forma, si en un líquido con ambos tipos de partículas (estéril y mena) introducimos un líquido oleaginoso y creamos burbujas, las partículas metálicas se adherirán, por afinidad, a las burbujas aceitosas y sobrenadarán con éstas (ya que el bloque formado tendrá menos densidad que el agua, debido a la presencia del aire contenido en la burbuja, que ocupa mucho volumen en relación con masa). Con ello, habremos conseguido la deseada operación de separación de las partículas estériles de las de interés económico.

Los mecanismos de separación que operan en la flotación están fuertemente condicionados por el tamaño de las partículas. Este debe ser suficientemente pequeño como para que las fuerzas de superficie que sostienen a la partícula adherida a la burbuja no sean superadas por la fuerza de gravedad. Si esto ocurriese el material se separaría de la burbuja y no tendría lugar el proceso de separación.

El límite superior de tamaño de partícula que permite llevar a cabo la flotación oscila alrededor de las 500 micras (0.5 mm).

El método descrito se compone de los siguientes procesos: Colección; Activación y Depresión, Espumación y Otras modificaciones, además hay que considerar el pH, las celdas de flotación y las nuevas tecnologías de columnas de flotación y celdas Jameson.

Los reactivos de flotación están en función del tipo de mena que se procesa, y toman la denominación del proceso en que intervienen; la clasificación habitual (sin carácter científico, pero de utilidad práctica) distingue entre promotores o colectores (procesos de colección), espumantes (proceso de espumación) y modificadores (procesos de activación, depresión, floculación, dispersión, sulfuración, estabilización, regulación del pH etc.).

- **COLECCIÓN:** Un colector es una sustancia normalmente orgánica que forma una superficie de tipo hidrocarburo sobre una partícula mineral contenida en una pulpa acuosa. El carácter hidrocarbonado viene condicionado por ser éstos los únicos que flotan.

Se denomina adsorción a la acumulación de una sustancia disuelta en un sólido. Suele ser frecuente añadir más de un colector al sistema de flotación, de tal forma que, en la cabeza del proceso, se introduce un colector selectivo cuyo objetivo es flotar los minerales fuertemente hidrófobos, mientras que, posteriormente, se añade otro colector, más potente pero menos selectivo, con el fin de recuperar los minerales de flotación más lenta. Existen multitud de productos que se utilizan como colectores, pudiendo citarse los xantatos, oleatos, etc., si bien son los xantatos los de mayor uso en Perú. Y en general, se trata de productos de carácter orgánico. Su naturaleza química es la de ácidos débiles, bases o sales químicas heteropolares (con una parte jónica que se adsorbe sobre la superficie del mineral por acción química o por atracción física electrostática). Se suelen clasificar en 2 grandes grupos:

- **COLECTORES ANIÓNICOS:** A su vez de dos tipos: El colector THIOL y los colectores OXHIDRILICOS:

COLECTORES TIPO THIOL: En estos colectores el grupo polar contiene azufre bivalente, el que normalmente se utiliza para flotar sulfuros. Dentro de este tipo de colectores los más importantes son: los XANTATOS y DITIOFOSFATOS. Le sigue en importancia la TIOCARBANILIDA y MERCAPTOBENZOTIAZOL, usados en algunos casos como colectores de refuerzo, y luego están los de menor uso actual que son los XANTOGENADOS (minerac).

COLECTORES TIPO OXHIDRÍLICOS: Son usados generalmente en la flotación de menas no-sulfuros. Dentro de este tipo se tienen los CARBOXILATOS, SULFATOS ORGÁNICOS Y SULFONATOS.

- **COLECTORES CATIÓNICOS:** Estos colectores producen hidrofobicidad debido a la cadena hidrocarbonada al que se le asocia un grupo polar de carga positiva. Entre estas se encuentran generalmente las AMINAS PRIMARIAS Y CUATERNARIAS. Las que se obtienen por lo general de grasas naturales. Con la finalidad de mejorar la solubilidad de los colectores aminas, estos se encuentran en forma de CLORUROS O ACETATOS. También existen colectores no-iónicos que permiten incrementar la hidrofobicidad lograda con los otros colectores previamente utilizados, debido a que fácilmente se adsorben sobre dichos colectores. Entre los más conocidos y bajo costo se encuentran el PETRÓLEO Y KEROSENE.

Los 4 tipos de colectores más habituales en Perú:

**LOS XANTATOS:** La palabra Xantato proviene del vocablo griego “XANTOS” que significa amarillo. Son colectores muy poderosos fabricados a partir de 3 elementos: bisulfuro de carbono, un álcali (potasa o soda cáustica) y un alcohol (metanol, etanol, etc.). Los más usados son el Xantato Isopropílico de Sodio (se emplea en la flotación de cobre, plomo y zinc, en minerales sulfurosos como la calcopirita, calcocita, enargita, galena, esfalerita, marmatita, piritita y pirrotita), el Xantato de Potasio (amílico o pentasol, muy potente, se usa para la flotación de sulfuros alterados u oxidados de cobre, minerales de plomo con Na<sub>2</sub>S, para tratar la arsenopirita, sulfuros de cobalto, níquel y hierro), el Xantato de Sodio (etílico), el Xantato de Potasio normal (butílico), el Xantato de potasio secundario, (etílico).

Todos los xantatos son de color amarillo o anaranjado claro, en forma de polvo o en pequeños cristales altamente solubles en agua, no suelen ser explosivos, pero arden con la misma intensidad que el azufre. Se descomponen fácilmente con el tiempo, en especial cuando están disueltos en agua. No son selectivos de un modo especial, ya que promueven la flotación de todos los sulfuros indiferentemente, no obstante, en proporciones reducidas, hacen flotar primero los sulfuros más susceptibles, pero si se usa en exceso, flotarán también los elementos indeseables, por ello, en la flotación diferencial o selectiva, los xantatos se usan selectivamente pudiendo trabajar en circuitos alcalinos o ácidos, siendo mejor su rendimiento a pH mayor de 7.

**THIO-CARBANILIDA o DI-FENIL-THIO UREA:** Tiene muy poca acción sobre la piritita, razón por la cual se emplea para flotar galena con una mezcla de piritita (sí se usara xantato, sin un depresor de la piritita, flotarían conjuntamente la galena y la piritita).

**EL AEROFLOAT LIQUIDO:** El ácido fosfo-cresílico o di-crosil-di-thio fosfórico es un compuesto fabricado por la American Cyanamid Co. (Cytec) Y que se comercializa bajo la denominación Aerofloat. Los aerofloats no exigen una dosificación tan exacta como los xantatos, de manera que un ligero exceso no es excesivamente perjudicial para la flotación. Además tienen poca selectividad sobre la piritita y se emplean para seleccionar otros sulfuros metálicos sin levantar la piritita.

Se les suele utilizar con preferencia a la THIO- CARBANILIDA, excepto cuando el sulfuro a flotar es la galena. Los aerofloats pueden trabajar en un circuito alcalino, pero son más efectivos en un circuito neutro. En caso de circuitos ácidos, son preferibles a los xantatos, pues éstos podrían descomponerse en dicho medio. El aerofloat líquido es muy corrosivo para los metales, además produce cierta cantidad de espuma en la pulpa lo que puede ser perjudicial cuando hay que usarlo en una pulpa que ya tiene espumante, provocando un exceso dañino

**EL AEROFLOAT SOLIDO:** Para evitar los inconvenientes del aerofloat líquido, se fabrica también el aerofloat de Sodio, que es sólido y soluble en el agua Su acción no es tan poderosa como, promotor, pero suele emplearse junto a los xantatos de etilo para la flotación de minerales que contienen piritas, cuando por alguna de las razones expuestas, el aerofloat líquido no es conveniente. Se suelen comercializar variantes con selectividad especial para cada tipo de mineral.

- **ACTIVACIÓN Y DEPRESIÓN:** Por regla general, una alimentación por flotación contiene una mezcla de muchos minerales, divisibles, al menos en parte, en grupos que están relacionados químicamente pero que son casi independientes entre sí desde el punto de vista tecnológico y comercial (e, incluso, en ocasiones, penalizables). La solución del problema puede enfocarse de dos maneras: evitar que una de las dos especies relacionadas responda a la acción del colector ( o provocar la susceptibilidad de una especie en un medio en el que, generalmente, no respondería a la acción del colector (activación) Los productos utilizados también son muy variados , dependiendo esta variabilidad, lógicamente, del tipo de mineral que se quiera activar o deprimir. Ejemplos de activantes y depresores son: cales, sosa, cianuros, sulfatos varios, silicatos, etc.
  
- **DEPRESORES: REFERENCIA AL CIANURO DE SODIO, SULFATO DE ZINC, CAL Y BICROMATOS:** En definitiva, los depresores son reactivos que impiden la flotación o deprimen algunos de los sulfuros presentes en un mineral, mientras se hace flotar otro u otros de ellos (por eso se les llama también inhibidores), los más usados son inorgánicos (cianuro de sodio, sulfato de zinc, cal y bicromatos) pero también hay depresores orgánicos como la cola de carpintero, la gelatina, el almidón y la caseína.

**EL CIANURO DE SODIO:** Absorbe los iones de cobre e impide la formación de xantato de cobre, que es el que provoca la flotación de este metal. Con la pirita, forma ferrocianuros, por lo que la deprime de manera casi permanente, necesiéndose un reactivo enérgico (ácido sulfúrico) para que recobre su flotabilidad. A la blenda la deprime solo temporalmente, bastando la presencia de sulfato de cobre para que ésta vuelva a flotar. Por estas propiedades, el cianuro de sodio se emplea en la flotación de la galena, para deprimir la pirita y la blenda, sin afectar a la flotabilidad de la aquella. La adición de sulfato de zinc al cianuro de sodio intensifica en general la acción depresora de éste sobre la blenda y la pirita.

**SULFATO DE ZINC:** Esta sal sola o en unión del cianuro actúa como depresora de la blenda, y, en menor medida de la pirita.

**CAL:** Se emplea en lugar del cianuro para impedir la flotación de la pirita en concentrados de otros minerales, como la calcopirita o la blenda. Es preferible al cianuro cuando se trata de deprimir solo la pirita y no la blenda. La acción de la cal es progresiva, al principio deprime solo a la pirita, pero si se incrementa la dosis, comienza a deprimir a la blenda y así sucesivamente a los demás sulfuros.

**BICROMATOS:** Deprimen la pirita en presencia del ácido sulfúrico en la flotación de la blenda. También deprimen a la galena, lo que permite separarla de la blenda y de la calcopirita.

- **ACTIVADORES: REFERENCIA AL SULFURO DE SODIO Y AL SULFATO DE COBRE:**  
Un activador es un reactivo que es capaz de restablecer la flotabilidad de un sulfuro que ha sido deprimido. Los dos principales son el sulfuro de sodio y el sulfato de cobre:

**EL SULFURO DE SODIO:** Se utiliza como activador para la flotación de la cerusita ( $PbCO_3$ ), a la que recubre de una película de sulfuro de plomo. Tiene el inconveniente que además actúa como depresor sobre todos los otros minerales.

**EL SULFATO DE COBRE:** Es universalmente empleado en la 2 etapa de las flotaciones diferenciales de sulfuros de plomo y zinc. En la primera se flota la galena, deprimiendo la blenda con el cianuro, con el sulfato de zinc o con ambos.

La blenda, una vez en las colas, es reactivada por el sulfato de cobre, volviendo a ser capaz de flotar. La presencia de cal o de carbonato de sodio no impide la operación, por lo que frecuentemente se usan a la vez, para deprimir la pirita que pueda acompañar a la blenda. Por el contrario, el empleo del sulfato de cobre con los xantatos puede ser peligroso porque se forma un xantato insoluble de cobre, que no tiene acción activadora. Para evitar ese efecto, los xantatos deben agregarse en el último momento.

Un ejemplo clásico de activación sería el uso del sulfato de cobre para activar la esfalerita. Este mineral no flota adecuadamente con los colectores usuales (p.e. xantatos), pues el producto formado, xantato de cinc, es poco soluble en agua, por lo que no se forma una buena película hidrófoba alrededor de la partícula. La flotabilidad podría incrementarse con el uso de grandes cantidades de xantatos de cadena larga, pero una mejor solución reside en el uso del sulfato de cobre, rápidamente soluble en agua. Esta disolución genera iones de cobre llevándose a cabo la actividad por la formación de moléculas de sulfuros de cobre en la superficie del mineral, las cuales reaccionan con los xantatos para formar xantatos de cobre insolubles, que confieren a la esfalerita el carácter hidrófobo. Por extensión, los sulfatos de cobre también mejoran la flotabilidad de otras fases minerales como la galena, pirita y calcita.

En cuanto a ejemplos de depresores, se puede citar el frecuente uso de los cianuros en la flotación selectiva de menas de plomo-cobre-cinc o cobre- cinc, con el objetivo de deprimir la esfalerita, pues el cinc es un elemento penalizable en los concentrados de cobre.

- **ESPUMACIÓN:** Los espumantes son líquidos orgánicos poco solubles en agua, y tienen por función asegurar la separación de las partículas hidrófobas e hidrófilas, Las burbujas creadas, generalmente por inyección de aire u otro gas o por agitación, tienen una duración muy corta (la duración de la vida de las burbujas en el agua limpia es del orden de una centésima de segundo), y tendencia a unirse entre si, por lo que, para asegurar la estabilidad de la espuma y evitar con e que las partículas captadas caigan nuevamente en la pulpa, perdiéndose la recuperación, se introducen unos compuestos espumantes, entre los cuales los más utilizados son el aceite de pino y el cresol (ácido cresílico). Es importante que el espumante no se adsorba sobre la superficie del mineral, ya que si actúa como colector, la selectividad del colector propiamente dicho se ve disminuida.

En los últimos años se tiende a la búsqueda de espumantes sintéticos (entre otros el metil isobutil carbinol ó MIBC y el polipropileno glicol éter), pues sus composiciones químicas suelen ser mas estables y aseguran un mejor control del proceso de flotación. Idealmente los espumantes actúan directamente en la fase liquida y no interaccionan con la superficie de las partículas. Sin embargo en la práctica existe una interacción entre los espumantes y los otros reactivos añadidos al proceso de flotación por lo que la selección del espumante adecuado para cada mineralización suele hacerse después de numerosas pruebas de laboratorio.

En definitiva los espumantes reducen la tensión superficial del agua e incrementan el grosor de la película que rodea a las burbujas, si bien existe un limite por encima del cual las burbujas no podrían reducir las partículas del mineral adheridas a su superficie (por ello no se usan solos el jabón u otras sustancias que producen efectos espumantes muy intensos, ya que reducen demasiado la tensión superficial del agua de forma insuficiente para la flotación).

El aceite de pino (Ap), se obtiene de la destilación al vapor de la madera de ciertas especies de pinos y es un espumante poderoso, que tiene la ventaja de emulsificarse y disolverse sin necesidad de agitación muy intensa. Sin embargo tiene el inconveniente que carece de selectividad, es decir, tiende a levantar todas las partículas metálicas.

El crisol o ácido cresílico ( $\text{CH}_3.\text{C}_6\text{H}_4.\text{OH}$ ) es un producto de la destilación del alquitrán de hulla y, a diferencia del aceite de pino, posee una cierta selectividad respecto de las especies más flotables de la pulpa.

- **OTROS MODIFICADORES: DISPERSANTES, FLOCULADORES, SULFURANTES, ESTABILIZADORES, Y, ANTIDOTOS:** En este grupo hay una gran variedad de reactivos, en su mayoría inorgánicos, que se emplean en la flotación con fines muy diversos, pero cuya función común es la de modificar en la forma que se desea y con un fin determinado, alguna o algunas de las condiciones en que se realiza el proceso de flotación. Se distingue entre:
  - **REGULADORES DEL pH:** Se agregan con el fin de hacer la pulpa alcalina o ácida, según convenga al tratamiento.
  - **FLOCULADORES O AGLUTINANTES:** Que tienen por objeto promover la formación de coágulos o grumos dentro de la masa de la pulpa, con determinados fines.

- **DISPERSANTES O DEFLOCULADORES:** Se usan para provocar el efecto contrario a los floculadores. Los reactivos dispersantes logran que las superficies minerales se vean libres de partículas finas o lamas que pudieran estar recubriéndolas entorpeciendo la flotación de algunas especies minerales deseadas.
- **SULFURANTES:** Se usan en la flotación de metales oxidados, con el objeto de provocar la formación de una película sulfurada en su superficie que permita su flotación.
- **ESTABILIZADORES O CONSERVADORES:** Se utilizan para proteger o impedir que algunos de los reactivos usados para la flotación se descompongan.

Dado que la mayoría de las sustancias modificadoras, pueden desempeñar dos o mas funciones, vamos a pasar revista a los principales reactivos que se usan como modificadores, indicando para cada uno las funciones que puede desempeñar:

- **LA CAL:** Tiene un efecto depresor sobre las partículas de ganga (parte no valiosa del mineral reduciendo la posibilidad de que floten, pero antes de producir ese efecto, la cal neutraliza la acidez de la pulpa y precipita las sales disueltas en el agua. La cal impide que los minerales piritosos (especialmente pirrotita y marcasita) eleven la acidez durante la molienda. Después de neutralizar la pulpa y precipitar los compuesto dañino soluble, el resto de la cal comienza a actuar como depresor e as gangas, y posteriormente de la pirita de hierro, si sigue aumentándose la dosis, impide que flote el plomo y puede también impedir que flote el oro. Además la cal actúa como aglomerante o floculador de las lamas muy finas y, dado que es muy barata, hay tendencia a exagerar su uso.
- **EL CARBONATO DE SODIO (SODA ASH):** Tiene las mismas facultades que la cal, pero no todos sus inconvenientes, salvo su precio. Es un alcalinizador enérgico, precipita las sales solubles mejor que la cal y tiene un efecto depresor sobre la ganga pero no sobre el oro y los sulfuros metálicos (excepto la blenda). Tampoco es floculante, teniendo más bien la tendencia contraria, es decir, la de dispersar las lamas finas.
- **EL SILICATO DE SODIO:** Se emplea como dispersor de la ganga que se encuentre finamente pulverizada, en los casos en que tenga tendencia a flotar y a ensuciar el concentrado.

Su uso es común en las flotaciones de colas o relaves antiguos, que contienen una elevada proporción de arcilla muy fina. También se usa en las flotaciones de oro y de molibdenita cuando la ganga cuarzosa está muy pulverizada y con tendencia a levantarse con la espuma.

- **EL ALMIDÓN:** Es un dispersor más enérgico que el silicato de sodio y no tiene la tendencia a deprimir el oro. Sin embargo, al ser demasiado caro el almidón soluble, hay tendencia a utilizar & ordinario, diluyéndolo con sosa cáustica. Un exceso de almidón puede provocar que actúe como depresor de los sulfuros o de metales nativos muy finos.
- **LA CERA:** Se usa para impedir que floten las lamas o partículas coloidales de sales de hierro y de magnesio.
- **EL CEMENTO:** Se emplea a veces en sustitución de la cal o del carbonato de soda. Es un fuerte dispersor, que también deprime la pirita y la pirrotita.
- **EL SULFURO DE SODIO:** Se emplea mucho por sus propiedades sulfurantes. Es un depresor enérgico de la mayor parte de los metales (si bien más de la blenda que de la galena), por lo que a veces se utiliza para separar los sulfuros de plomo y los de zinc. Es un promotor de la bauxita. Dado que ataca los aparatos de flotación, exige revestimientos especiales.
- **EL SULFURO DE BARIO:** Se emplea con los mismos fines que el sulfuro de sodio, con la ventaja de que es más estable.
- **EL SULFITO DE SODIO:** Posee propiedades deprimentes del zinc y de la pirita y molesta las flotaciones de casi todos los minerales.
- **EL SULFITO DE CAL:** Deprime la blenda, pero no a la pirita, lo que es de aplicación a las piritas auríferas.
- **EL ÁCIDO SULFÚRICO:** Se emplea para la regulación del PH, para acidificar la pulpa. Además es un fuerte promotor de las piritas de hierro y de algunos sulfuros de cobre.

Sirve también para disolver las películas de hidróxidos o sales básicas formadas en las superficies de los minerales sulfurados, por la acción del aire o del agua. Se emplean también para reactivar la pirita después de que haya sido deprimida por medio de cal o de cianuro. La tendencia es a usar cada vez menos este reactivo.

- **pH DE FLOTACIÓN:** De las diferentes variables que operan de forma significativa en la flotación, es probablemente el pH la que mayor incidencia tiene en el adecuado comportamiento de los diferentes reactivos.

La flotación se realiza a un pH muy variado que depende de la naturaleza de las especies a flotar, prefiriéndose los procesos en medio alcalino por la estabilidad de los colectores en dicho medio.

La alcalinidad se controla con el uso de componentes tales como la cal, el carbonato sódico y, en menor medida, el hidróxido sódico.

En ocasiones si es necesario disminuir el pH, se puede utilizar el ácido sulfúrico.

- **CELDA DE FLOTACIÓN:** El proceso de flotación se lleva a cabo en las denominadas celdas de flotación, que son equipos que consisten, esencialmente, en una cuba en la que entra la pulpa y agitador o turbina en su parte inferior que origina o facilita la creación de las burbujas. Estas, normalmente, se forman de dos maneras: bien mediante el propio giro del rodete del agitador, que crea un torbellino que introduce el aire a la parte inferior de la cuba, bien insuflando, además, aire comprimido en ésta. Las celdas, por lo común, se montan en bancos de varias unidades y, los bancos, en varias etapas en las que se realizan diferentes separaciones. Normalmente, un desbaste.

Los aparatos que llevan a cabo el proceso de flotación pueden ser de dos tipos, en función del método de agitación de la pulpa: neumáticos y mecánicos. Los primeros han ido dejando paso a los segundos dado el excesivo coste económico en aire comprimido y la excesiva turbulencia de las máquinas neumáticas. Existen variaciones entre los diversos aparatos no habiéndose demostrado que alguno de ellos produzca un mejor rendimiento que el resto, por lo que la elección suele hacerse después sucesivas pruebas en plantas piloto y con la mineralización objeto del tratamiento.

- **COLUMNAS DE FLOTACION Y CELDAS JAMESON:** En los últimos tiempos se han llevado a cabo mejoras en los procesos de flotación con la entrada en funcionamiento de las columnas de flotación y las celdas Jameson. Ambas son, esencialmente, máquinas neumáticas en las cuales la pulpa no se agita deliberadamente. El funcionamiento difiere de las celdas convencionales en una serie de aspectos importantes. En primer lugar, las burbujas se generan en aparatos especialmente diseñados para ello, lo que permite su control directo, al contrario que en los métodos tradicionales. Más aún, no es necesario el mantenimiento de la suspensión de las partículas por medios de agitación mecánica o neumática.
- **COLUMNAS DE FLOTACIÓN:** En las columnas de flotación, la pulpa fluye a lo largo de una columna vertical de hasta 10 metros. Las partículas simplemente se sedimentan y las burbujas se introducen a través de la parte inferior hasta encontrarse con las partículas. La altura de la columna es tal que permite un gran número de posibilidades para la adherencia partícula-burbuja.
- **CELDAS JAMESON:** En toda la celda Jameson las burbujas se introducen en la pulpa en la misma posición en que se alimenta la celda, produciéndose un flujo parejo de partículas y burbujas, lo que provoca un aumento en la tasa de adherencia partícula-burbuja.

Las ventajas que estos nuevos modelos residen en un menor coste de operación, una mayor probabilidad de adherencia entre las partículas y las burbujas, unas leyes de concentrado mayores y una reducción del número de celdas requeridas para una determinada aplicación.

## NOMBRES COMERCIALES DE XANTATOS

### Principales Xantatos utilizados en Perú

Item	Nombre Químico	Dow Chemical	Cytec	Renasa
1	Xantato etílico de potasio	Z – 3	A – 303	Igual que el nombre Químico
2	Xantato amílico de potasio	Z – 6	A – 350	Igual que el nombre Químico
3	Xantato isopropílico de sodio	Z – 11	A – 343	Igual que el nombre Químico
4	Xantato etílico de sodio	Z – 4	A – 325	Igual que el nombre Químico
5	Xantato Isobutilico de sodio	Z – 14	A – 317	Igual que el nombre Químico

### Principales Ditiófosfatos utilizados en Perú

DITIOFOSFATOS	
CYTEC	RENASA
AEROFLOAT 25	AR – 125
AEROFLOAT 31	AR – 131
AEROFLOAT 208	AR – 1208
AEROFLOAT 242	AR – 1242
PROMOTOR 404	AR – 1404
SODIUM AEROFLOAT	SODIUM DITIOFOSFATO

#### 5.1.4 Tratamiento de la Pulpa

Los productos que salen de las diferentes etapas de concentración suelen contener altos contenidos en agua, en ocasiones superiores al 90%. Para que este producto sea vendible, es necesario quitar, si no toda, sí al menos una parte muy importante del agua que posee. Esta etapa es la que se denomina secado o tratamiento de la pulpa. La mayor parte de los procesos industriales que llevan a cabo esta etapa incluyen, al menos dos etapas: el espesado y el filtrado.

##### **ESPESADO**

**El objetivo del espesado es concentrar la pulpa, es decir, aumentar el contenido en sólidos en suspensión, normalmente por procesos de sedimentación (gravedad).** El principio, en sí, es muy simple y consiste en introducir la pulpa en un recipiente durante un tiempo determinado, de tal forma que las partículas de sólidos tienden a sedimentarse en el fondo mientras que el agua de la parte superior del recipiente se va clarificando al disminuir su contenido en sólidos en suspensión.

Este proceso tan simple puede complicarse si el tamaño de partícula es muy fino, cosa muy frecuente, pues cuando más fino es el tamaño de los sólidos mayor es el tiempo necesario para su decantación. Por ello no es raro encontrarse situaciones en las cuales dicho proceso de decantación no se realiza de forma adecuada (en cuanto a tiempo y concentración de la pulpa).

Para aumentar la velocidad de sedimentación de las partículas, suelen utilizarse productos químicos que producen fenómenos de coagulación o floculación, disminuyéndose así el tiempo de decantación. Esto no sólo facilita el incremento en la velocidad de caída de las partículas sino que aumenta la clarificación de las aguas residuales. Los productos utilizados pueden ser muy variados, naturales o sintéticos, pudiendo citarse, como más comunes, el quebracho, los lignosulfonatos, las poliacrilamidas, etc., tratándose, en general, de polímeros de cadenas largas. Para asegurar el perfecto comportamiento de los floculantes, tanto su dosificación como las condiciones de turbulencia deben ser controladas, pues suelen ser controladas, pues suele tratarse de productos frágiles y de rápida ruptura si las condiciones del medio alcanzan cierta turbulencia.

Los aparatos más utilizados para llevar a cabo el proceso de decantación son los denominados tanques espesadores. Constan de un gran tanque cilíndrico, que puede alcanzar las decenas de metros de diámetro, con un fondo cónico hacia el centro. La pulpa es alimentada, de forma continua, en la zona central del tanque. En el fondo existen una serie de brazos mecánicos que van rotando lentamente para conducir la pulpa concentrada hacia el centro, donde se produce su recogida. Por su parte, el agua clarificada rebosa continuamente por el perímetro superior, siendo recogida y, normalmente, reutilizada en los circuitos de concentración del mineral. Dado que la alimentación es un continuo, el desarrollo del proceso lleva consigo el mantenimiento de diferentes zonas dentro del tanque espesador. Estas se caracterizan, en general por una mayor concentración de sólidos en suspensión según se va profundizando en el tanque.

## **FILTRADO**

Por filtrado se entiende el proceso de separación de la fase sólida y líquida presente en la pulpa, a través de un medio poroso. Dicho medio poroso retiene los sólidos y permite la evacuación de la fase líquida. Los sólidos se van acumulando en la pantalla de filtrado formando una torta (cake), que a su vez actúa en sí misma, como un nuevo medio de filtrado, permitiendo solo el paso de la fase líquida. El tamaño de los poros en el panel de filtrado se selecciona en función del tamaño y proporción de las partículas más finas presentes en la pulpa que va a ser filtrada. Tanto la torta como el panel de filtrado ofrecen una importante resistencia al paso del líquido, con lo que se disminuye el caudal de filtrado y, por ende, la formación de la torta. Esta resistencia viene determinada por la viscosidad del líquido, el tamaño de poros del panel y el tamaño de los intersticios dentro de la torta. Para evitar esta resistencia e incrementar la evacuación del líquido hasta caudales razonables, se aplica una presión al sistema, la cual fuerza la salida de la fase líquida, generándose una torta más seca. Posteriormente, la torta es extraída del sistema de diferentes formas, según la máquina que se utilice.

De acuerdo con lo dicho, es evidente que la filtración no es un proceso que tenga lugar en una fase, sino más bien se lleva a cabo en tres estadios: formación de la torta, secado y extracción. Este aspecto es lo que complica el diseño de los aparatos que llevan a cabo el filtrado, tamaño de poros en el panel, manipulación de la torta posible uso de floculantes, lavado del panel, etc.

La filtración por vacío es la más común a nivel industrial, existiendo diferentes aparatos que la realizan. El principio básico de funcionamiento reside en la creación de una presión diferencial efectiva a través del panel de filtrado y la torta por la acción de un vacío.

Este principio es utilizado por los diversos aparatos, residiendo las diferencias en aspectos que afectan a los tres estadios anteriormente comentados. Existen, básicamente, tres tipos de filtros: de tambor, de disco y los filtros de prensa, éstos últimos con un funcionamiento relativamente diferente a los anteriores.

En algunos casos, las necesidades (normalmente en forma de requisitos por parte del comprador) hacen que el contenido en agua tenga que ser muy bajo (alrededor del 5%), por lo que es necesario aplicar otros procesos de secado. Estos procesos suelen llevar ahogados costos económicos importantes, lo que hace que no se utilicen con frecuencia en los circuitos normales. Entre los diferentes métodos, se puede citar el secado térmico como el más común. Se basa en la utilización de flujos de gases calientes durante pequeños períodos de tiempo (3-4 segundos) como vía para llevar a cabo el secado.

## 5.2 DESCRIPCION DEL PROCESO MERRIL CROWE PARA EL ORO

A continuación se describe el método seguido para la extracción de oro por la empresa MINA DEL SUR

### 5.2.1 Método de Minado

El mineral del yacimiento se extrae de un tajo abierto ubicado en el Cerro X. El mineral es perforado dentro del tajo abierto de la mina en bancos de 10 m de altura, usando plantillas normales de perforación con taladros de 150 a 250 mm de diámetro con un espaciamiento aproximado de 6 a 8 m. de distancia. La zona de desmonte es también perforada utilizando bancos de 10 m de altura, usando plantillas similares de perforación. Tanto el mineral como el desmonte es disparado con explosivos compuestos de nitrato de amonio, empleándose un factor de carga promedio de alrededor de 0.29 Kg. de explosivo por tonelada de roca. La mina consumirá, en promedio, 19,000 Kg. /d de explosivos.

La roca removida es cargada con cargadores frontales de 20 m<sup>3</sup> a camiones de una capacidad de 136 toneladas. La roca de desmonte es acarreada a la zona de almacenamiento o desmonte o a zonas de construcción del Proyecto. Las distancias promedio de acarreo son del orden de 4 Km. El mineral se lleva en camión, ya sea a la chancadora o directamente a las pilas de lixiviación. El movimiento total de material se estima en un máximo de 25 millones de toneladas anuales durante 6 años (2001 a 2006)

### 5.2.2 Equipo:

EQUIPOS PRINCIPALES MINA	
DESCRIPCION	N°
Cargadores de 20m <sup>3</sup>	4
Camiones de acarreo 136 TM	16
Perforadoras para Taladros 160mm a 250mm	3
Tractores sobre Orugas	4
Tractores sobre Ruedas	2
Motoniveladoras	4
<b>EQUIPOS AUXILIARES</b>	
Grúas de 35t y 140t	2
Retroexcavadora	1
Camiones	10
Camión de Bomberos	1
Ambulancia	1



### **Banco de celdas de flotación y tanque agitador Flotación de Minerales de Oro y Plata**

#### **5.2.3 Almacenamiento de Minerales:**

Hay una zona de apilamiento de mineral al lado de la chancadora primaria para almacenar hasta 10 días de producción de mina (200.000 TM). Cerca de la plataforma de las pilas de lixiviación hay una pila de almacenamiento de mineral más pequeña con una capacidad de 20.000 toneladas.

#### **5.2.4 Roca de Desmorte:**

La roca de desmorte constituye aproximadamente 58 por ciento del material contenido en el tajo abierto. La roca de desmorte proveniente de la mina es cargada con cargadores frontales de 20 m<sup>3</sup> a los camiones de acarreo.

La granulometría promedio de las rocas es de aproximadamente 30 cm. con algunos pedazos de hasta 2 m. El material fino (de menos de 2 mm) suele constituir menos de 8 por ciento (en peso) de la roca de desmonte. La gravedad específica promedio de la roca de desmonte en la zona de almacenamiento es de 2,2, con una densidad media del orden de 1.63t/m<sup>3</sup>.

#### **5.2.5 Sistema de Lixiviación en Pilas:**

Las instalaciones de procesamiento de lixiviación en pilas comprenden las operaciones de chancado, lixiviación y manejo de la solución, una planta de recuperación de oro y una instalación de tratamiento de la solución pobre. El sistema de lixiviación en pilas ha sido diseñado con una capacidad nominal promedio de 27.000 t/d, aunque se espera que la carga diaria varíe. La operación propuesta de lixiviación en pilas trabaja en circuito cerrado, con una descarga controlada de la planta de tratamiento a la poza de limpieza.

Se aplica una solución diluida de cianuro, en pH básico, a las pilas de mineral y luego se capta y bombea la solución enriquecida a la instalación de recuperación de oro. Luego de la recuperación del oro, la solución pobre es reciclada nuevamente a las pilas.

#### **5.2.6 Chancado**

El mineral es acarreado desde el tajo abierto por medio de camiones que descargan directamente a la chancadora o a la pila de almacenamiento de mineral. El mineral es reducido a un tamaño nominal de 150 mm en la chancadora primaria. El mineral chancado pasa luego a través de una zaranda. La fracción menor de 40 mm. es descargado directamente a la faja transportadora de transferencia. Una balanza instalada en la faja transportadora registra en forma continua la masa de mineral que va al proceso de lixiviación. La faja transporta el mineral y lo descarga en una tolva de almacenamiento de mineral triturado de 3.000 toneladas de capacidad, ubicada cerca de las pilas de lixiviación.

En la descarga de la chancadora secundaria se ha instalado un sistema de alimentación de cal. Se agrega cal según se requiera para mantener el pH de la solución de lixiviación por encima de 9.0.

El mineral puede ser también transportado sin triturarse desde el tajo abierto, directamente a las pilas de lixiviación de mineral corriente de la mina.

El mineral puede ser también transportado desde la descarga de la chancadora primaria hasta las pilas de lixiviación como mineral primario. En ese caso, la cal se agregaría directamente a la pila.

### **5.2.7 Lixiviación**

La lixiviación del mineral aurífero se lleva a cabo en una instalación de pilas de lixiviación que esta totalmente resguardada. La instalación de pilas de lixiviación se ubica al sur del tajo abierto y adyacente a la zona de almacenamiento de desmonte. El sistema de lixiviación ocupa unas 166 ha. La capacidad diseñada para la plataforma de lixiviación es de 110 millones de toneladas métricas (peso seco del mineral).

Para la construcción de las pilas de lixiviación se utiliza una tecnología conocida como sistema de relleno del valle.

A través de las pilas de lixiviación, por encima del revestimiento primario hay un sistema de tuberías de drenaje para captar la solución rica de lixiviación y una capa de arena o grava fina para proteger al revestimiento contra perforaciones.

El mineral es apilado encima de la plataforma de las pilas de lixiviación en recrecimientos de 6 a 16 cm y será esparcido con un tractor. Para la capacidad de diseño de 110 Mt, el mineral apilado por encima de la base de la plataforma de lixiviación, alcanza una altura final de unos 135 m.

A medida que se apila el mineral en las pilas lixiviación, se usa una solución diluida de cianuro para extraer el oro del mineral. La solución pobre es almacenada en un tanque con una capacidad de 3.000 m<sup>3</sup>. Se añade cianuro de sodio, controlándose el pH, a medida que la solución es bombeada desde este tanque hacia el mineral almacenado en las pilas de lixiviación. A la solución pobre se agrega un producto anti-escamante y soda cáustica o cal según se requiera, para mantener el pH de la solución por encima de 9.0. La solución diluida y alcalina de cianuro conteniendo 100, 200 o 300 ppm de cianuro (0.01 a 0.03%) se aplica al mineral usando una red de emisores (a través de un sistema de riego por goteo, aplicadores ondulantes o aspersores), a un flujo nominal de 10L/s/m<sup>2</sup>.

La solución percola a través de la pila y disuelve el oro contenido en el mineral. La solución cargada de oro, denominada también solución enriquecida, rica o solución Pregnant, es entonces captada por las tuberías perforadas de drenaje de 100 mm de diámetro, ubicadas en la capa de arena entre el primer recrecimiento del mineral y revestimiento sintético. La solución rica en oro es drenada desde las pilas de lixiviación mediante gravedad hacia la zona de almacenamiento ubicada en la parte inferior de la plataforma de lixiviación. La zona de almacenamiento de la solución está diseñada para contener por lo menos 550.00 m<sup>3</sup> de solución enriquecida.

La solución enriquecida es entonces bombeada desde las pozas del interior de la zona de almacenamiento de la solución, hacia la instalación de recuperación de oro.

### **5.2.8 Manejo de la Solución**

El sistema de pilas de lixiviación está diseñado para recircular la mayor parte de la solución y para asegurar la contención de todas las soluciones. En condiciones normales de operación, la zona de almacenamiento ubicada al interior de las pilas de lixiviación contendrá entre 10.000 y 500.000 m<sup>3</sup> de solución de lixiviación. La capacidad de la zona de almacenamiento de la solución enriquecida es tal, que permitirá contener la misma en caso de presentarse condiciones de operación anormal de la planta y durante la acumulación de las soluciones durante la estación húmeda. El volumen de solución enriquecida almacenada al interior de las pilas se reduce durante la estación seca, debido a la evaporación.

La solución rica se bombea desde el área de almacenamiento hacia la instalación de recuperación de oro a través de tuberías de HDPE colocadas al interior del sistema de contención secundaria.

La instalación de contención secundaria consiste de una zanja con una base de suelo compactado, recubierta con un revestimiento HDPE de 1.5 mm. La zanja descargará a la zona de contención del sistema de lixiviación. El oro se recupera utilizando un proceso de precipitación Merrill-Crowe. Luego de la recuperación del oro, el pH de la solución pobre se reajusta según sea necesaria y se agrega cianuro y producto anti-escamantes antes de recircular la solución hacia las pilas de lixiviación.

### 5.2.9 Recuperación del Oro:

El oro se recupera de la solución enriquecida empleando un proceso de precipitación con zinc Merrill-Crowe. La solución rica se bombea al alimentador del clarificador, es mezclada con floculante y se hace circular a través de dos clasificadores de 14 m de diámetro x 10 m de altura para eliminar el material en suspensión. La descarga inferior del clasificador es retornada por bombeo a las pilas de lixiviación. El rebose del clasificador descarga por gravedad a un tanque de almacenamiento de la solución rica.

La solución rica es bombeada desde el tanque de almacenamiento a cuatro filtros clarificadores de presión (3 en operación y uno de reserva) para alimentar los sólidos finos restantes. El medio filtrante a emplearse es tierra diatomácea. La solución rica filtrada es bombeada a dos torres De-aeradoras Crowe.

Según sea necesario, se agrega nitrato de plomo, así como solución de cianuro y polvo de zinc a la solución rica de-aerada. La solución diluida es bombeada a cuatro filtros prensa de placa y marco (3 en operación y uno de reserva). El precipitado de zinc-oro-plata es recogido en los filtros prensa, secado con aire y luego descargado en bandejas. Las bandejas son transportadas con cargadores a la zona de retortas de mercurio para la vaporización y captación del mercurio. La solución proveniente de los filtros prensa es descargada al tanque de almacenamiento de la solución pobre.}

### 5.2.10 Fundición:

Basados en los análisis geoquímicas, se anticipa que el mineral suele contener trazas de mercurio. El mercurio es recuperado del mineral junto con el oro y la plata y removido del precipitado mediante cuatro retortas eléctricas de mercurio (3 en operación y una de reserva). Cada retorta eléctrica de mercurio tiene un colector, un post-enfriador con eliminador de rocío y filtro de carbón, y una bomba al vacío. El mercurio es recogido en frascos y vendido como sub-producto.

El precipitado de zinc, oro y plata proveniente de la retorta es transportado a la zona de fundición en carritos de carga.

El precipitado es mezclado con fundentes (sílice, bórax y nitrato) y cargado a los dos hornos de inducción de 1.800 kg. La mezcla es fundida para separar el oro y la plata de los otros metales, que se incorporarán a la escoria. El doré de oro/plata son vertidos en barras de 1.00 oz y empacado para su embarque. Los gases desprendidos de los hornos de inducción son captados y tratados en un depurador húmedo antes de ser descargados a la atmósfera y el flujo proveniente del depurador húmedo es retornado al circuito.

La escoria de los hornos de inducción es recogida y triturada en la refinaria, para ser luego procesada en una masa vibradora para recuperar cualquier doré residual. La escoria remanente es enviada a las pilas de lixiviación. Cualquier metal precioso captado es devuelto a los hornos de inducción para volver a ser fundido.

#### **5.2.11 Reactivos:**

Los principales reactivos que se emplean en el proceso de lixiviación son los siguientes:

- Cianuro de sodio (300g por tonelada de mineral a ser lixiviado). Es abastecido a la planta en bolsas de 1.000 kg. Y mezclado en dos tanques de mezclado cubierto, equipados con agitadores. La solución de cianuro será bombeada al tanque de solución pobre del sistema de lixiviación.
- Floculante (10 g por tonelada de minera a ser lixiviado). Se suministra a la planta en bolsas de 50 kg y se maneja a través de un sistema diseñado para el mezclado de floculante. El floculante se envía a un tanque equipado con agitador antes de ser bombeado al tanque de almacenamiento. La solución es alimentada a los clasificadores Merrill-Crowe mediante dos bombas dosificadoras de floculante. El floculante es alimentado también a la planta de tratamiento de la solución pobre y a la planta de tratamiento de agua.
- El circuito Merrill-Crowe se emplea también nitrato de plomo, tierra de diatomeas, polvo de zinc y anti-escamante, con un consumo anual de aproximadamente 22.1, 110.5, 37.2 y 137 toneladas, respectivamente.
- En la refinaria de emplear fundentes (bórax, nitrato de potasio, arena silícea), estimándose un consumo anual de alrededor de 368.4 toneladas.

- Se usan cal para el control del pH en el sistema de lixiviación, para ser mezclado con el mineral chancado y en los procesos de tratamiento de agua. El uso anual previsto es de aproximadamente 7.000 toneladas.
- Eventualmente se emplea la soda cáustica para controlar el pH en el sistema de lixiviación. El uso anual previsto de este reactivo es de menos de 100 toneladas.

### **5.3 RELACIONES INSUMO PRODUCTO EN LA FASE DE CONCENTRACIÓN:**

#### **5.3.1 Relación de Consumo de Energía y Chancado**

Dada la variedad de tamaños del mineral que ingresa al proceso, el consumo de electricidad no presenta una relación estable con las TMS de mineral tratados. El tamaño del mineral que entra en la chancadora primaria (granulometría) es variable dependiendo el tamaño de la empresa: Pequeña minería (de 6" - 12"). Mediana minería (12" - 24") y Gran minería (mayores a 24"). También influye en el consumo el tipo de alimentación con que cuenta la planta, ya que muchas empresas no cuentan con un alimentador (Apron Feeder), que es el que jala el mineral a la chancadora primaria e impide que el mineral se atore en la salida de la tolva de gruesos por los minerales finos húmedos. También cabe hablar en cierto modo de economías de escala derivadas del tamaño y diseño de la planta, el consumo de energía en el área de chancado de un planta metalúrgica oscila del 5 al 20% del consumo total.

#### **5.3.2 Relación de Consumo de Energía y Molienda**

Dada la variedad de dureza del mineral que entra en el proceso y de la relación entre las dimensiones de los trazos mayores que deben entrar a la molienda, determina el número de operaciones o de etapas que deberá tener la molienda, por lo tanto el consumo de electricidad no representa una relación estable con las TMS de mineral tratados. También es importante tener en cuenta, la ubicación de la planta, muchas de ellas aprovechan el desnivel del terreno a fin de reducir los costos en equipo de transporte, mantenimiento y energía, porque el material se desplaza por gravedad. el consumo de energía en el área de Molienda de un planta metalúrgica oscila del 30% al 50% del consumo total.

#### **5.3.3 Relación entre Consumo de Electricidad y Capacidad de la planta**

Las necesidades de energía eléctrica en plantas metalúrgicas son variables depende básicamente de la capacidad de planta y el tipo de proceso mineralúrgico utilizado, podemos establecer un promedio entre demanda de energía y capacidad así:

CAPACIDAD PLANTA	ENERGIA - DEMANDA Kw / TM
Pequeñas plantas 50 – 500 TM	2.5 – 3.5
Plantas medianas 600 – 5000 TM	1.5 – 2.5
Plantas grandes > 5000	1.2 – 1.8

#### 5.3.4 Consumo de Fuerza por Tonelada de Mineral Triturado

El consumo de energía en la etapa de trituración depende del tipo de equipo utilizado y de la dureza del mineral (indicado por el Work Index) también influye el tipo de circuito utilizado (abierto o cerrado) pero podemos establecer lo siguiente:

##### CONSUMO DE ENERGIA

DESCRIPCION	ROCA SUAVE	ROCA DURA
Trituración primaria	0.3 – 0.6 Kw – h / TC	0.7 – 1.2 Kw – h / TC
Trituración secundaria y terciaria	0.4 – 0.8 Kw – h / TC	0.9 – 2.0 Kw – h / TC

#### 5.3.5 Relación entre Consumo de Medios de Molienda (Bolas) y el Tonelaje seco tratado

La media está en 0.5 Kg./TMS tratada, con un rango de variación que va de 0.2 a 1.4. En el cuadro siguiente ese muestra las relaciones normales en función del material de las bolas, el tamaño de las partículas y el tipo de circuito.

### CONSUMO DE ACERO - MINERIA

Material de Bolas	Tamaño de partículas		Relación de consumo de bolas: kg /ton.	Circuito
	Alimentado	Molido		
Acero forjado al cromo	1 ½ " a 2"	Malla: 20 a 48	0.46 a 0.92	Cerrado
Acero forjado al cromo	1 ½ " a 2 "	Malla: 6 ó 10	0.23 a 0.69	Abierto
Acero al carbono	1 ½ " a 2"	Malla: 20 ó 48	0.69 a 1.38	Cerrado
Acero al carbono	1 ½ " a 2"	Malla: 6 ó 10	0.46 a 0.92	Abierto

#### 5.3.6 Proporción de Consumo de Energía en el Proceso de Concentración

La distribución de consumo energéticos para los diferentes procesos en una planta de tratamiento que utiliza la flotación por espumas como método de beneficio de los minerales suele ser la siguiente: 45% molienda; 25% flotación; 12% filtración y espesado, 10% Chancado y 8% los servicios auxiliares.

#### 5.3.7 Reactivos de Flotación: Parte General

A continuación se muestra los rangos de consumo habituales de los diferentes reactivos por tonelada seca de mineral tratada en planta. A continuación se reflejan, a título meramente indicativo los intervalos de consumo normales por TMS medios del conjunto del sector. Sin embargo, para cada proceso los rangos de consumo normales estimados de cada reactivo, pueden ser ligeramente diferentes al que denominaremos caso general.

ESPUMANTES (por TMS):

- Aceite de pino: De 20 a 65 gramos.
- Creóoslo: 150 grs. por TM d mineral tratada

PROMOTORES (por TMS):

- Xantatos: de 20 a 70 gramos.
- Thio cabanilida: de 20 a 100 gramos.
- Aerofloat líquido: de 50 a 150 gramos.
- Aerofloat sólido: de 5 a 25 gramos por TMS

DEPRESORES (por TMS):

- Cianuro de sodio: de 45 a 125 gramos
- Sulfato de zinc: de 125 a 400 gramos

ACTIVADORES (por TMS):

- Sulfato de cobre: de 150 a 900 gramos

OTROS MODIFICADORES:

- Cal: entre 1 y 8 Kg./TMS
- Carbonato de sodio: usualmente menos de 3 kg/TMS

### 5.3.8 Reactivos de Flotación de los minerales Sulfurados de Cobre:

Para la flotación del cobre, con o sin pirita, se emplea el aceite de pino como espumante y los xantatos o los aerofloats o ambos reactivos, como promotores. Para mantener la alcalinidad del circuito y deprimir la pirita se emplea casi siempre la cal. El consumo normal de reactivos es el siguiente:

#### CONSUMO - PRINCIPALES REACTIVOS - MINERIA

Reactivo	Unidad	Máximo	Mínimo	observaciones
CAL	Kg./TM	5	1.5	Según proceso
ACEITE PINO	Gr/TM	100	25	Según proceso
PROMOTORES	Gr/*TM	75	25	Xantatos y/o Aerofloats

Si se prescinde de los xantatos y se emplea exclusivamente aerofloats como promotores:

REACTIVO	UNIDAD	MAXIMO	MINIMO	OBSERV.
CAL	Kg./TM	1.5	0.2	Hasta pH entre 7 y 8
ACEITE PINO	gr./TM	25	8	Depende del proceso
AEROFLOAT	gr./TM	100	25	Depende del proceso
ACIDO CRESILICO	gr./TM	100	25	Depende del proceso

NOTA: Si n hay pirita que deprimir, la función de la cal se reduce y por tanto se consumo

### 5.3.9 Reactivos de Flotación de los Minerales Oxidados de Cobre

Los minerales oxidados de cobre no presentan la misma docilidad que los sulfuros, al proceso de flotación, requieren un tratamiento previo de sulfurización con sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), este reactivo le confiere al oxido un mayor grado de flotabilidad. Los óxidos principales de cobre son la Cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) y la Tenorita ( $\text{CuO}$ ). Los principales reactivos utilizados son:

FLOTACION OXIDOS DE COBRE	
Reactivo	Consumo promedio
• Sulfuro de sodio	0.5 – 1.8 Kg/TM
• Xantato amílico de potasio	120 – 180gr/TM
• Silicato de sodio	80 – 120gr/TM

### 5.3.10 Reactivos de Flotación de los Minerales Sulfurados de Plomo

Para flotar la galena (con un PH entre 7 y 8) se emplean por TMS, alguna de las combinaciones alternativas siguientes:

- De 20 a 100 gramos de ácido cresílico
- De 10 a 75 gramos de aceite de pino y de 25 a 100 gramos de creosota
- De 25 a 40 gramos de aerofloat y de 250 a 1500 gramos de cal o de carbonato de soda.

Cuando existe una cierta cantidad de blenda, puede deprimirse con cianuro de sodio con o sin sulfato de zinc, bastante unos 50 gramos por TMS de cualquiera de estos reactivos.

### 5.3.11 Reactivos de Flotación de los Minerales de Plomo Oxidado

Los únicos que pueden flotar en forma industrial son los minerales de plomo argentífero, cerusita y anglesita, previa sulfuración. Hay diversos métodos, pero los resultados en términos de insumo producto no son concluyentes.

### 5.3.12 Reactivos de Flotación de los Minerales Sulfurados de Zinc:

REACTIVO	UNIDAD	MAX	MIN	OBSERV.
SULFATO DE COBRE	gr./TMS	1000	250	
ACEITE PINO O ACIDO CRESILICO	gr. /TMS	100	50	
CREOSOTA	gr. /TMS	100	25	SOLO SI ES NECESARIA
COLECTORES	gr. /TMS			VARIA EN FUNCIÓN DEL TIPO (1)
CAL O CARBONATO DE SODA	gr. /TMS	1500	250	

(1).- Si se usa como colector Xantato de etilo se requieren entre 25 y 125 gr., si se usa aerofloat, entre 25 y 100 gr., si se prefiere Di-Thio-fosato, entre 10 y 25 gr.

### 5.3.13 Flotación de Minerales de Plomo y Zinc

Si se opta por la obtención por separado de ambos concentrados, entonces hay que utilizar la técnica de la flotación diferencial, flotando primero el plomo (con depresión previa del zinc por medio del cianuro de sodio, el sulfato de zinc o ambos) y después se reactiva y flota el zinc.

FLOTACIÓN DE PLOMO (por TMS):

Carbonato de soda o cal: 1 a 3 Kg.

Thiocarbamilida (si se necesita) de 25 a 50 gr.

Creosoto (si se necesita): de 25 a 100 gr.

Aerofloat (si no se usan xantato): de 25 a 75 gr.

Cianuro de sodio: de 50 a 200 gr.

Sulfato de zinc: de 150 a 600 gr.

Ácido cresílico o aceite de pino: de 10 a 75 gr.

Xantatos (si no se usa aerofloat): de 10 a 50 gr.

FLOTACION DEL ZINC (Por TMS):

Cal o carbonato de soda: de 500 a 2000 gr.

Sulfato de cobre: de 500 a 1000 gr.

Aceite de pino o ácido cresílico: de 25 a 75 gr.

Di-thio. Fosfato (si no se usan otros colectores): de 10 a 50 gr.

#### **5.3.14 Separación de Sulfuros de Cobre, Plomo y Zinc**

Hay diversos métodos, pero en general se suele comenzar por la flotación del bulk de los sulfuros de cobre y plomo presentes en el mineral, para ellos se usan los reactivos ya descritos para la flotación del plomo o del cobre y se deprimiría el zinc y, en su caso los sulfuros de hierro con la utilización de cianuro como depresor. El bulk obtenido (concentrado de plomo y cobre) se separa flotando primero el plomo, previa depresión del cobre con cianuro de sodio. Posteriormente se reactiva el cobre y por último se acomete la tarea de flotar el zinc. Se aplica en las 3 fases las proporciones comentadas.

#### **5.3.15 Flotación del oro (por TMS)**

Si se opta por este método, la escala normal de consumo de reactivos es la siguiente:

Aerofloat: de 25 a 100 gr.

Aceite de pino (si es necesario): de 5 a 15 gr.

Dithiofosfato: de 10 a 25 gr.

Xantato de Pentasol: de 10 a 25 gr.

Sulfato de cobre (si es necesario) de 50 a 125 gr.

Si fuera necesario para mantener la alcalinidad (PH entre 7 y 7.5) se agregara carbonato de soda.

### 5.3.16 Flotación de la Planta

La Plata flota conjuntamente con los minerales de plomo se denomina por ejemplo a la galena (PbS) con contenidos de plata como galena argentífera, a su vez la plata forma otras especies como las sulfosales denominadas Pirargirita ( $Ag_3 SbS_3$ ), Proustita  $Ag_3 As S_3$ , las cuales flotan de manera similar a los sulfuros de plomo.

### 5.3.17 Lixiviación de Óxidos de Cobre: El caso Minerales S.A.

#### **PROCESO HIDROMETALÚRGICO:**

Para detallar el proceso de hidrometalurgia pondremos como ejemplo el proceso que sigue la empresa Minerales S.A. para el tratamiento de minerales de cobre.

Es mediante la lixiviación que se recupera cobre del mineral de baja ley acumulado en los botaderos de las minas, el que luego de un proceso de electro-deposición se obtiene cátodos de cobre de 99,999% de pureza, la planta de extracción por solventes y electro-deposición (SX-EW).

#### **ETAPA DE LIXIVIACION:**

Lixiviación de óxidos planta 1: los óxidos de alta ley acumulados en "stockpiles" son reducidos de tamaño a menos de media pulgada mediante una operación de chancado primario y secundario, en una moderna instalación que permite procesar 1 000 tc/día. El material es aglomerado, para hacer más eficiente el proceso de lixiviación posterior.

Este material aglomerado se deposita en una cancha impermeabilizada o pad, donde reposa durante 14 días. Luego de este periodo, el material es regado con ácido sulfúrico diluido durante los subsiguientes 14 días, lapso en el cual la solución va percolando y se impregna de cobre. El pad de lixiviación dispone de una red de tuberías para recolectar la sustancia enriquecida con cobre denominada solución impregnada de cobre (o PLS por sus siglas en inglés). Esta solución es captada en una poza de colección desde donde es bombeada por tuberías hasta la planta SX-EW.

Lixiviación de óxidos planta 2: el proceso de lixiviación de los sulfuros de baja ley es más prolongado y emplea bacterias que ayudan a la disolución del metal.

Los sulfuros deben ser lixiviados durante 8 semanas, seguido por periodos de 24 a 30 semanas de reposo, tiempo en el cual se producirá la oxidación y disolución del cobre.

Los ciclos de lixiviación-reposo se repiten hasta que la recuperación del cobre sea económicamente viable. La solución producida es captada en represas de colección y bombeada a la planta SX-EW.

### **EXTRACCIÓN POR SOLVENTES (SX-EW):**

El proceso de extracción por solventes permite purificar y concentrar el cobre de la solución impregnada que llega hasta la poza de alimentación procedente de los sistemas de lixiviación. Un reactivo orgánico entra en contacto con la solución impregnada y captura selectivamente los iones de cobre dejando los otros iones no deseables en la solución de lixiviación.

En una etapa posterior, el cobre de la sustancia orgánica es re-extraído pasando al "electrolito" o solución de iones de cobre de alta pureza y acidez.

### **Electrodeposición.-**

En el proceso de electro deposición el electrolito discurre a través de 122 celdas electroquímicas. Estas contiene ánodos de plomo-calcio-estaño y cátodos de acero inoxidable sumergidas en el en el electrolito se adhiere a las planchas de acero inoxidable formando, por acumulación, una lámina de cobre de alta pureza en 7 días, deviniendo en cátodo d cobre. El electrolito procesado se recircula en el sistema.

El cobre depositado sobre las planchas de acero es retirado de ellas por medio de una máquina automática de deslaminación, también llamada máquina separadora de cátodos.

Las gruesas láminas de cobre o cátodos que pesan 50 kilogramos aproximadamente, cada una, pasan por un control de calidad y luego son empaquetadas antes de ser transportadas por ferrocarril hacia el puerto.

Las planchas de acero inoxidable retornan a las celdas de electro deposición para el siguiente ciclo de deposición del cobre.

### 5.3.18 Datos de Consumo Relativos a Algunas Empresas Mineras de Perú:

Para el análisis de ratios de consumo se ha elegido a 8 empresas mineras con variadas producciones 2 de gran minería (cobre) y 6 de mediana minería (4 polimetálicas, 1 de plata y 1 de estaño). Los resultados comparativos se muestran en los cuadros adjuntos.

Cuadros Resumen de consumos de cal/bolas de molino

Mina	Unidad	Polimetálica 1	Metales S.A	Cobre 1	Polimetálica 2
Producción	Tm	662.949	536.183	4.593.988	968.023
Consumo cal	Kg/tm	1,976	0,048	0,111	1,259
Bolas	Kg	489.000	108.580	2.230.000	422.319
Consumo bolas	Kg/tm	0,738	0,203	0,485	0,436
Energía	Kwh	14.626.660	27.511.134	86.693.205	19.774.244
Bolas/Energía	Kg/kwh	0,033	0,003	0,025	0,021

Mina	Unidad	Plata 1	Polimetálica 3	Cobre 2	Polimetálica 4
Producción	Tm	383.787	126.000	2.616.614	747.195
Consumo cal	Kg/tm	0,099	9,708	0,272	15,651
Bolas	Kg	438.000	78.973	1.821.000	460.000
Consumo bolas	Kg/tm	1,141	0,627	0,696	0,616
Energía consumida	Kw -h	9.946.000	16.180.195		27.884.313

Como podemos apreciar los consumos de cal son totalmente disímiles debido a que el uso que tiene es dependiente del proceso seguido y del tipo de mineral que se quiere flotar, así por ejemplo las minas con contenido importante de zinc son más intensivas en el uso de cal (Polimetálica 1, Polimetálica 2, Polimetálica 4) no así en Polimetálica 3 que lo usa para bajar acidez en su proceso.

En el caso de las bolas de molino los rangos de variación con menos pero siempre hay diferencias debido principalmente al tipo y dureza del mineral, así como debido a la eficiencia del proceso mismo.

Cuadro Resumen de consumo de reactivos:

Mina	Unidad	Polimetalica 1	Metales S.A	Cobre 1	Polimetalica 2
Producción	TM	662.949	536.183	4.593.988	968.023
Aerofloat	Kg./TM	No usa	No usa	No usa	0,007
Xantatos	Kg./TM	0,016	0,029	0,002	0,016
Espumantes	Kg./TM	0,015	No usa	0,005	No usa
Sulfato de cobre	Kg./TM	0,791	0,0003	No usa	0,476
Promotores	Kg./TM	No usa	0,439	0,002	No usa
Cianuro	Kg./TM	0,029	No usa	No usa	0,055
Acido sulfúrico	Kg./TM	No usa	0,045	0,0001	0,0002
Sulfato de zinc	Kg./TM	0,988	No usa	No usa	0,45

Mina	Unidad	Plata 1	Polimetalica 3	Cobre 2	Polimetalica 4
Producción	TM	383.787	126.000	2.616.614	747.195
Aerofloat	Kg./TM	0,040	0,035	0,015	No usa
Xantatos	Kg./TM	0,016	0,005	0,015	0,163
Espumantes	Kg./TM	0,055	No usa	0,018	0,055
Sulfato de cobre	Kg./TM	0,008	No usa	No usa	1,815
Promotores	Kg./TM	0,074	0,027	0,022	No usa
Cianuro	Kg./TM	No usa	0,001	0,017	0,232
Ácido sulfúrico	Kg./TM	No usa	No usa	No usa	No usa
Sulfato de zinc	Kg./TM	No usa	No usa	No usa	0,751

Como podemos apreciar tampoco existe una relación con respecto a los consumos de reactivos debido a muchos factores inherentes principalmente al tipo de minerales tratados, los minerales indeseables y el grado de acidez en la que se encuentra.

Por otro lado tenemos el consumo de las diez principales empresas mineras en lo referente a cal, xantatos, sulfato de zinc y bolas de molino.

Veamos a continuación un ejemplo del cálculo del consumo del reactivo Z11 (Xantato Isopropílico):

Ejemplo de Cálculo del Consumo de Xantatos (Z-11):

Enunciado:

Una planta consumo 900 c.c./minuto de Z-11 en su proceso metalúrgico tratando 1200 TM/día de mineral polimetálico; la solución de Z-11 tiene 4% del xantato isopropílico. Determinar el consumo diario y por tonelaje en Kg.

Solución:

En 1000 cc de solución de Z-11 al 4% hay: 40 gr. /TM de Z-11

En 900 cc/minuto de Z-11 habrá:  $40 \text{ gr. /TM} \times 0.9 \text{ TM/minuto} = 36 \text{ gr./minuto}$

La operación es de 24 hors por día, entonces el consumo diario será:

$(36 \text{ grs./minuto} \times 60 \text{ minutos/hora} \times 24 \text{ h/día}) : (1000 \text{ gr/Kg}) = 51.84 \text{ Kg./día} = 52 \text{ Kg./día}$

Por tonelaje en Kg:  $(52 \text{ Kg. Z11/día}) : (1200 \text{ TM mineral/día}) = 0.043 \text{ Kg. Z-11/TM mineral}$



**Prueba de flotación (laboratorio)**

## 6 FUNDICION Y REFINACION

### 6.1. ANALISIS DE LOS PROCESOS DE FUNDICION Y REFINACION

#### 6.1.1 Fundición:

##### FUNDICION DE CONCENTRADOS MINERALES

Consiste en la separación de los metales contenidos en los concentrados minerales mediante el uso del calor.

El procedimiento comienza con la eliminación del azufre. Para ello se aplica, en hornos de soleras múltiples. Un tostado a temperaturas moderadas (600-800 C) que cause una transformación del sulfuro presente en óxido (eliminando gran parte del azufre contenido inicialmente).

El proceso continúa en hornos de reverbero y convertidores a temperaturas más elevadas, con ellos se obtiene metales aún en forma impura y se consigue separar algunos elementos valiosos.

En la minería peruana hay dos procesos principales de función de concentrados, el de concentrados sulfurados de cobre y de plomo, en el caso de los concentrados de zinc estos de acuerdo a su proceso metalúrgico van a un proceso de tostación, lixiviación, electro deposición y refinación. Otros minerales valiosos como el oro, plata, selenio, telurio, etc. van contenidos en el cobre y plomo fundido y son recuperados en el proceso de refinación.

##### FUNDICION DEL COBRE

En el caso del cobre, en el proceso de fundición de los concentrados se obtienen el cobre ampoloso o blister con un contenido de cobre de 98%, recuperándose también bismuto. Selenio, telurio y arsénico, este proceso se realiza en tres operaciones.

- Obtención de la mata o cobre bruto por tostación de los minerales preparados seguida de función reductora, la mata contiene 20 a 40% de Cu, el resto azufre y hierro.

- Afino de la mata en el convertidos obtenido cobre de convertidor con 98% de Cu o bien tratado la mata en cubilotes o fundiéndola en hornos de reverbero después de una fusión previa para la concertación de aquella (75% Cu) convirtiéndola con cobre negro (90 a 95% Cu).
- El cobre de convertidor es enviado a la etapa de moldeo en donde es elaborado el cobre blister.

### **Precipitados**

Los precipitados de zinc, oro, plata, cobre y otros metales (algunos veces mercurio) obtenidos del proceso de lixiviación del oro derivados del proceso Merrill Crowe son sometidos a procesos de fundición

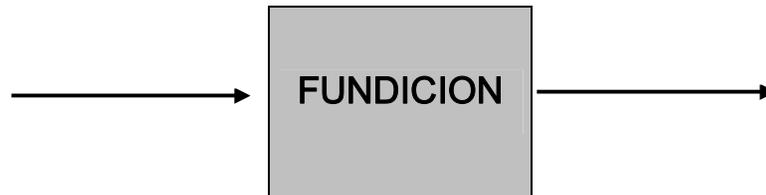
- Los precipitados húmedos son llevados a una retorta de mercurio (cuando contiene mercurio) en donde es rehogada con petróleo diesel en donde el 100% de mercurio es extraído mediante su vaporización y posterior condensación. El mercurio es embotellado en frascos de acero especiales y vendidos en el mercado.
- Los precipitados secos de la retorta son mezclados con los fundentes (sílice, bórax y nitrato de potasio) en una bandeja y luego fundidos en el horno. Después de la fundición de los precipitados se recoge la escoria producido en depósitos de acero.
- El bullion o lingote, es re-fundido y moldeado en barras doré, aleación impura de oro y plata, la cual es muestreada, limpiada, pesada y preparada para su embarque.

En el caso de Perú Oro S.A., se tiene lo siguiente:

Luego del proceso de la precipitación de los contenidos valiosos en el proceso Merrill Crowe, se somete este precipitado a un proceso de fundición en hornos basculantes, el año 1997 se tuvo los siguientes resultados:

Entra precipitación  
196 TM/año

Sale Doré  
42,90 TM/año



### 6.1.2 Refinación:

Esta etapa, al igual que la anterior, resulta necesaria para obtener metales aislados y con el alto grado de pureza que los hace versátiles y aptos para los procesos de industrialización y manufactura. Este proceso puede llevarse a cabo mediante tres procedimientos:

- **Piro metalúrgico:** En hornos especiales se somete al metal impuro a fusión y a la acción de oxidación, insuflando aire u oxígeno puro.
- **Electrolítico:** Mediante la acción de la electricidad, el metal impuro colocado en un polo (ánodo) se ioniza en el medio ácido en que se encuentra, para depositarse luego en forma pura en el otro polo (cátodo).
- **Hidro metalúrgico:** Consiste en la disolución o lixiviación de los minerales por medio químicos. Una vez obtenida determinada concentración del metal en solución se procede a la descontaminación de la solución, para someterla finalmente a un proceso de electro deposición, del que se obtiene un cátodo de metal puro.

## 6.2 RELACIONES INSUMO PRODUCTO EN LAS FASES DE FUNCIÓN Y REFINACIÓN:

### 6.2.1 En la Fase de Fundición:

#### INDICE DE CONSUMO EN FUNDICION DE COBRE:

INDICE DE CONSUMO	1996	1995	1994
t Cama/t calcina	1,061	1,006	0,926
t Calcina/t mata	1,540	1,758	2,479
t cama/t calcina	4,692	4,689	5,290
t escoria/t blister	3,067	3,082	3,537
t petróleo reverb/t blister	0,204	0,224	0,309
t petróleo/t calcina(Cu+As+direct.)	0,045	0,046	0,052
t petróleo/t mata	0,068	0,084	0,112
t petróleo circuito/t blister	0,321	0,351	0,459
MMBTU (petro) circuito/t blister	13,428	14,564	18,801
Kw-hora/t blister	401,8	432,5	517,4
MMBTU (electric) circuito/t blister	3,655	3,878	4,591
Kg refractario/t blister	13,4	46,9(*)	25,7
t O2/t blister	0,670	0,692	0,517
t O2/t petróleo	3,297	2,779	

RECUPERACIONES METALURGICAS	1994	1995	1996
Cobre (%Cu)	100,28	99,31	99,10
Plomo (% Pb)	35,78	33,93	34,31
Plata (% Ag)	105,39	103,58	102,33
Oro (% Au)	100,9	98,98	99,25
Bismuto (% Bi)	71,14	64,10	64,42
Antimonio (% Sb)	25,38	16,00	15,51

	Combustible			Energía eléctrica		
	t petróleo por t Cu	blister		Kwh por t Cu	blister	
PLANTA	1996	1995	1994	1996	1995	1994
- Preparación (*)	---	---	---	8,7	12,4	14,9
- Tostad. (Cu+As)	0,098	0,107	0,127	44,0	54,2	53,3
- Reverberos	0,204	0,224	0,309	31,4	34,8	64,8
- Convertidores	---	---	---	401,8	432,5	517,4
- Moldeo	0,020	0,022	0,022	(**)	(**)	(**)
- Cottrelles Cu (*)+As	0,001	---	0,001	75,3	79,1	83,0
Cable Carril (*)	0,000	---	---	15,7	No reg.	No reg.
Total Circuito	0,323	0,353	0,459	576,9	613,0	733,4

(\*) Prorrateado a fundición de cobre, en Cottrell el índice de combustible está referido al consumo de petróleo diesel.

(\*\*) Está incluido en convertidores.

DESCRIPCION	REFRACTARIOS		
	Kg refractario por t Cu blister		
PLANTA	1996	1995	1994
- Preparación (*)	---	---	---
- Tostad. (Cu+As)	1,416	5,073	3,617
- Reverberos	1,168	27,273	4,850
- Convertidores	9,056	13,388	14,935
- Moldeo	1,732	0,960	2,121
- Cottrelles Cu (*)+As	0,027	0,208	0,180
Cable Carril (*)	---	13,388	14,935
Total Circuito	13,398	46,902	25,703

(\*) Prorrateado a fundición de cobre, en Cottrell el índice de combustible está referido al consumo de petróleo diesel.

(\*\*) Está incluido en convertidores.

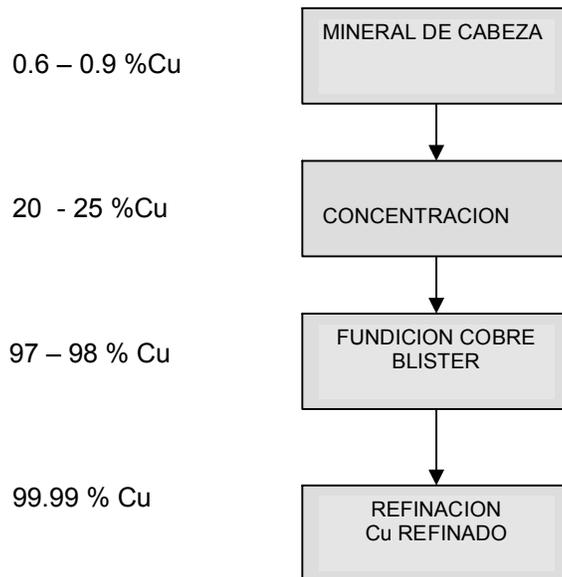
En el caso de Minerales S.A., se tiene lo siguiente:

Procesos de concentración, fundición y refinación piro-metalúrgica.

Minerales Extraído	59'457,012 TM
Concentrado cobre	976,541 TM
Concentrado molibdeno	7,751 TM
Blister producto	289,729 TM

De todo el blister producido este año 50,396 TM se vendieron y el resto pasó a la etapa de refinación.

### METALURGIA DEL COBRE



#### Plomo

1. Se trata los concentrados de plomo por aglomeración formando un sinter grueso.
2. El sinter grueso van a hornos de plomo formando el plomo de obra.
3. Este producto es enviado a ollas de espumado, la espuma de plomo es enviada a un horno de reverbero en circuito cerrado con las ollas de espuma.
4. Este producto es moldeado formando el plomo bullón.

#### INDICES DE CONSUMO EN FUNDICION DE PLOMO:

DESCRIPCION	UNIDAD	1993	1994	1995	1996
Petróleo R-6	t/t Pb bullón	0,0814	0,0727	0,0612	0,058
Petróleo V-2	t/t Pb bullón	0,0038	0,0039	0,0044	0,004
Coque grueso	t/t Pb bullón	0,3425	0,3142	0,3183	0,3154
Coque fino	t/t Pb bullón	0,0304	0,0243	0,0233	0,0293
Energía eléctrica	Kwh/t Pb bullón	335,258	282,30	292,978	295,766
Petróleo R-6	MMBTU/t Pb bullón	3,052	2,98	2,54	2,424
Petróleo D-2	MMBTU/t Pb bullón	0,163	0,17	0,19	0,177
Coque grueso	MMBTU/t Pb bullón	9,458	8,63	8,73	8,862
Coque fino	MMBTU/t Pb bullón	0,845	0,67	0,65	0,825
Energía eléctrica	MMBTU/t Pb bullón	1,144	0,96	1,00	1,010
Total	MMBTU/t Pb bullón	14,962	13,41	13,11	13,299

#### 6.2.2 En la Fase de Refinación:

#### REFINACION DEL COBRE

- **REFINACION ELECTROLÍTICA:** En el caso de la refinación electrolítica (La Oroya) es realiza a partir del cobre blister el cual es colocado como ánodo en las celdas electrolíticas y en el cátodo se coloca láminas delgadas de cobre refinada, que funcionarán como cátodo y se sumergen en una solución se sulfato de cobre, bajo la acción de la corriente eléctrica y se inicia un proceso electrolítico en la cual las partículas puras de cobre del ánodo (cobre blister) van hacia el cátodo, el cual se va engrosando y el ánodo se va desintegrando, en donde las partículas que no son cobre se precipitan en las celdas y forman los denominados lodos anódicos.

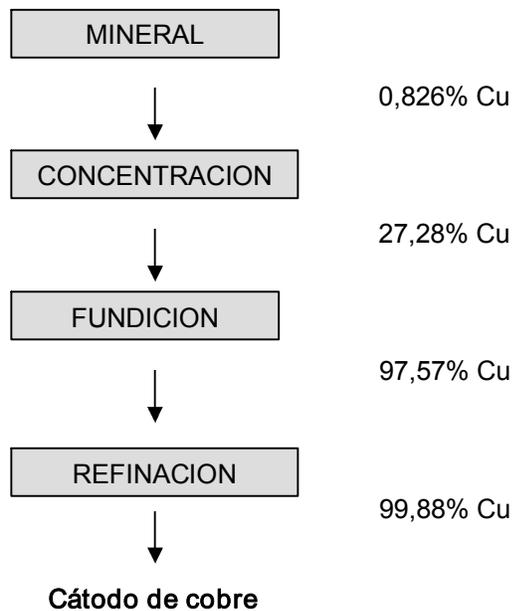
**INDICES DE CONSUMO EN REFINERIA DE COBRE ELECTROLÍTICA:**

INDICE DE CONSUMO	1995	1996
Eficiencia de corriente:		
Kwh/kg de cobre	0.54	0.53
Kg. de Cu/kw día	44.72	45.42
Cola	0.047	0.149

Thiourea	0.065	0.064
Reactivos químicos Kg./t:		
H2SO4	20.21	19.81
HCl	0.141	0.235
H2SO4 Kg./t sulfato	392.80	329.80
Cu	52.67	51.06
H2SO4	129.51	130.52
Cl	0,032	0,031
Sb	0.35	0.35
Producción de CuSO4 t	3,753.62	3,655.19
Productividad Kg. Cu-h	240.13	241.35

- REFINACIÓN PIROMETALÚRGICA:** En el caso del proceso de refinación piro metalúrgica esta se realiza en Minerales S.A., en donde el blister es fundido a altas temperaturas de fusión, el mayor insumo es la energía calorífica. Por otro lado se ha implementado la recuperación de minerales oxidados de cobre de baja ley que estuvieron depositados en canchas, los que han sido sometidos al proceso SX -EW (extracción por solventes: lixiviación y electro obtención). Los resultados obtenidos en el año 1997 fueron los siguientes:

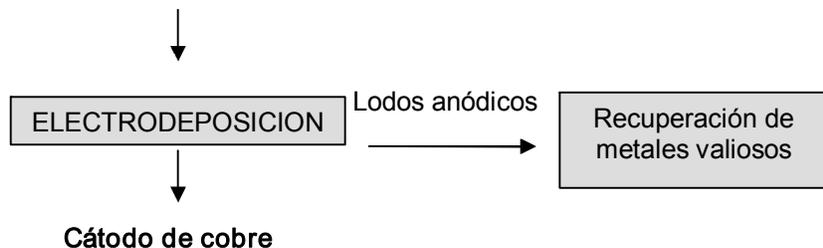
Producto		TM	Venta TM
Mineral tratado		50.129.156	
Concentrados			
	Cobre	976.541	32.510
	Molibdeno	7.751	7.753
Metales			
	Blister	289.729	50.396
	Cátodos	232.817	
	Catados Lix	44.522	
	Plata refinada oz.	2.462.336	
	Oro refinado oz.	8.888	



- **PROCESO SX-EW:** En el caso de la Mina El Apu, el proceso seguido es el de SX-EW (Extracción por solventes y electro deposición) es decir el mineral oxidado de cobre es lixiviado con ácido sulfúrico el cual disuelve el cobre para formar una solución de sulfato de cobre, el cual es posiblemente sometido al proceso de electro obtención o electrowinning (hidrometalurgia) mediante el cual la solución en la celda electrolítica es la solución de sulfato de cobre obtenido de la lixiviación, en el ánodo se coloca una plancha de acero y en el cátodo una plancha de cobre y se realiza mediante la corriente eléctrica el proceso de electrolisis, mediante el cual el cátodo se va enriqueciendo debido a que las moléculas de cobre se depositan sobre él.

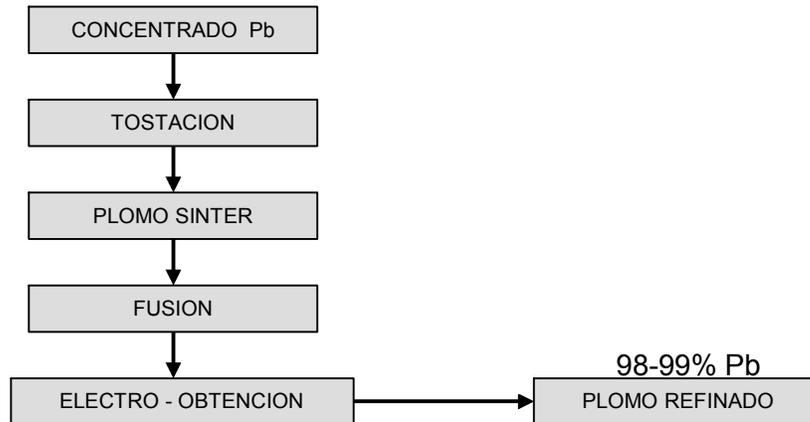
El insumo de mayor importancia en este proceso metalúrgico son el ácido sulfúrico y la energía eléctrica. Con el ácido sulfúrico se rocía el mineral en la etapa de SX (extracción por solventes) el consumo promedio es de 0.286 Kg. /TM de mineral.

Un esquema del proceso sería.



### **REFINACION DEL PLOMO:**

En el caso de la refinación del plomo, solo se cuenta en el Perú con la refinería de la Oroya, la cual tiene todos los procesos metalúrgicos de tratamiento de los concentrados de plomo según el esquema siguiente:



De los residuos de este proceso también quedan los lodos anódicos, importantes en la recuperación de metales valiosos como oro y plata.

#### **INDICES DE CONSUMO EN REFINERIA DE PLOMO:**

INDICE DE CONSUMO	1995	1996
Kwh/t de Pb producido	158.65	158.00
Contenido de plomo g/l	45.58	43.43
Contenido de H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> , g/l	101.01	93.45
Contenido de H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> libre, g/l	64.98	60.15
Reactivos orgánicos de adición:		
Cola, Kg./t Pb producido	0.53	0.54
Goulac, Kg./t Pb producido	0.52	0.54
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Kg./t de Pb producido	13.47	16.30
Petróleo bunker #6, Kg./t Pb producido	15.30	15.89
Kg. de Pb producido/h-H trabajadas	468.73	359.93

#### **REFINACIÓN DEL ZINC:**

En el caso del zinc el proceso es directamente de los concentrados, es decir no hay un proceso de fundición previo como en el caso del cobre o plomo en el caso de concentrados de esos metales base. Los pasos que se siguen para obtener zinc refinado son los siguientes:

- En el caso del zinc, los concentrados son sometidos a un proceso de tostación en horno de cama turbulenta, para transformarlo en ZnO (óxido de zinc) y otros metales presentes en el concentrado, también se obtiene SO<sub>2</sub> que se emplea para la obtención de ácido sulfúrico.
- Se procede a un proceso de lixiviación neutra para disolver el óxido de zinc.
- Lixiviación ácida para disolver el zinc asociado al hierro como ferritas.
- Precipitación de jarosita para eliminar el hierro.
- Purificación fría y caliente para remover todas las otras impurezas
- Electro deposición para obtener cátodos de zinc.
- Fusión y moldeo de los cátodos para obtener zinc refinado en diversas formas y aleaciones.

Además del zinc metálico, se obtienen usualmente los siguientes subproductos:

1. Ácido sulfúrico
2. Cadmio refinado
3. Indio refinado
4. Cemento de cobre
5. Sulfato de zinc
6. Polvo de zinc
7. Residuo de zinc-plata, el cual se trata para obtener un concentrado comercial.

#### **INDICES DE CONSUMO EN REFINERIA DE ZINC:**

<b>INDICE DE CONSUMO</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>
Petróleo residual t/ts concentrado tratado	0.0175	0.0190
Petróleo diesel t/ts concentrado tratado	0.469	0.475
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> t/ts concentrado tratado	0.079	0.084
Energía eléctrica kwh/ts concentrado tratado	156.69	157.17
Floculante Kg./ts concentrado tratado	0.004	0.004

### RECUPERACIÓN DE LOS LODOS ANÓDICOS:

En el proceso de refinación del plomo y del cobre quedan como residuos los lodos anódicos, a partir de los cuales es posible recuperar metales valiosos como bismuto, selenio, telurio, doré (oro y plata). Los que se obtienen como subproductos de la refinación del cobre y plomo respectivamente. Los lodos van directamente a la planta de residuos anódicos. Los índices obtenidos de la planta de residuos anódicos es el siguiente.

Producto/proceso /equipo	Material	Ratio	1995	1996
Bismuto	Cl <sub>2</sub>	Kg./T Bi producido	379.40	303.82
	NaOH	Kg./T Bi producido	62.71	43.88
	Zn	Kg./T Bi producido	281.25	219.80
Selenio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Kg/Kg. Se producido	6.28	7.70
	SO <sub>2</sub>	Kg/kg. Se producido	1.20	1.57
	Bisulfito	Kg/kg. Se producido	1.01	0.66
Telurio	NaOH	Kg./Kg. Te producido	1.13	0.92
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Kg./kg. Te producido	0.55	0.70
Selenio/telurio	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Kg./Kg. Se +Te	1.30	1.88
	NaOH	Kg./Kg. Se +Te	0.93	0.71
Doré	Na <sub>2</sub> CO	Kg/t doré	89.21	0.58
	NaNO <sub>3</sub>	Kg/t doré	252.15	222.37
Cottrell de reverberos	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Kg./tlodo tratado	8.15	6.16
Mist. Cottrell Copelas	NaOH	Kg./Kg. Se	1.13	1.76

### REFINACIÓN DEL DORÉ:

Para la refinación del Doré que es una aleación impura de oro y plata se lo somete a un proceso de ataque químico en el cual una solución de ácido nítrico ataca el dore atacando la plata y separando por tanto el oro de la aleación; posteriormente la plata se recupera electrolíticamente y el oro pasa al proceso de refinación.

### INDICES DE CONSUMO EN REFINERIA DE ORO Y PLATA:

Producto	Ratio	1995	1996
Plata	Kwh/kg Ag	3.356	2.932
	T/petróleo/kg. de Ag	0.0003	0.0002
	HNO <sub>3</sub>	0.055	0.054
	NaNO <sub>3</sub>	0.162	0.130
Oro	Gasolina	0.0022	0.0019
	Kwh/kg Au	19.634	17.900
	T/petróleo/kg de Au	0.029	0.026
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.132	0.123

## 7.-PERDIDAS Y RECUPERACIONES DE MINERAL EN CADA FASE CICLO MINERO:

### 7.1 RECUPERACION — VALORACIÓN – CONCENTRADOS

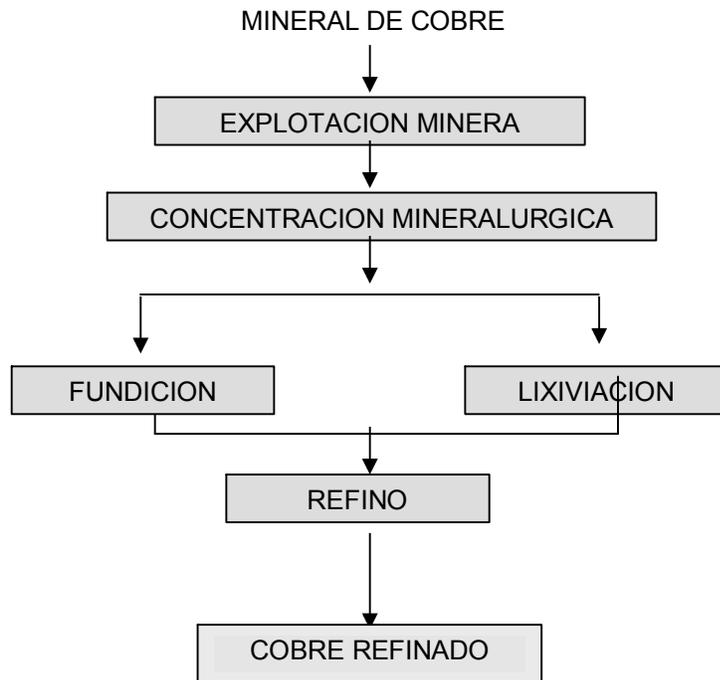
#### 7.1.1 Factores Técnicos que influyen en la Producción

##### DILUCIÓN Y RECUPERACIÓN:

Una vez evaluadas las reservas económicas de mineral, corresponde al laboreo de minas y a la mineralurgia establecer los grados de recuperación que pueden esperarse de acuerdo con los métodos seleccionados. Desde el punto de vista de previsión de producción/ingresos, lo que interesa es conocer, en virtud del grado de recuperación de las reservas y del programa anual de explotación, los años de vida del proyecto y las previsiones de producción correspondientes a cada año.

Al fijar el programa de producciones vendibles, hay que tener en cuenta también la dilución del mineral que se produce como consecuencia de la aplicación práctica del método de explotación. La dilución es el empobrecimiento del mineral económico con el estéril.

Por otro lado, cada etapa del proceso de producción de una sustancia (por ejemplo, desde el mineral hasta el metal final) se caracteriza por un factor de recuperación. En el caso de minerales metálicos, cada factor de recuperación expresa la relación de la cantidad de metal a la salida de una etapa y el contenido de metal a la entrada del mismo.



Pueden definirse las siguientes recuperaciones:

Recuperación minera:	$(H.h) / (l.i). 100 (\%)$
Recuperación mineralúrgica:	$(C.c) / (H.h). 100 (\%)$
Recuperación metalúrgica	$(M.m) / (C.c). 100 (\%)$
Recuperación total:	$(M.m) / (l.i). 100 (\%)$

Donde:

I	=	tonelaje de las reservas de mineral in situ
i	=	ley media de I (%)
H	=	tonelaje de mineral extraído y enviado al concentrador
h	=	ley media de H (%)
C	=	tonelaje de concentrado producido a partir de H
c	=	ley media de C (%)
M	=	tonelaje de metal producido
m	=	calidad de pureza de M (%)

En la práctica, las recuperaciones mineras oscilan entre el 65% y el 95%, dependiendo, claro está, del tipo de yacimiento y método de explotación aplicado. Las recuperaciones mineralúrgicas y metalúrgicas varían, normalmente, entre el 85% y el 95%, pudiendo ser menores cuando se trata de minas complejas cuyo mineral presenta dificultad en el tratamiento.

Centrándose en la recuperación minera, esta indica el grado de aprovechamiento de las reservas de un yacimiento e indirectamente, las pérdidas de mineral que se producen:

$$\text{Recuperación minera} + \text{Pérdida de mineral} = 100\%$$

Como pueden verse, teniendo en cuenta la variación posible de los grados de recuperación y dilución, la correcta previsión de ambos es fundamental para el perfecto establecimiento de presupuesto de ingresos/ventas del proyecto.

#### **TIPOS Y FUENTES DE DILUCIÓN:**

Se pueden distinguir dos tipos de dilución: la dilución de producción y la dilución estructural. La primera aparece durante el mismo proceso minero.

En operaciones mina con el método de minado con hundimiento por subniveles, la roca estéril que se desprende diluye el mineral.

En operaciones con relleno, el material que se utiliza para el sostenimiento se mezcla con el mineral troceado (con los actuales rellenos cementados, la dilución por este motivo es mínima).

En yacimientos filonianos y lenticulares, con potencias de 0.6 a 0.8 m, se mezcla el estéril con el mineral al ser preciso ensanchar los tajeos hasta el espacio mínimo de trabajo.

La dilución también es debida a los contactos irregulares entre el estéril y el mineral.

**La dilución estructural** es inherente a la disposición del depósito de mineral. Dos ejemplos son: la presencia de algunas intercalaciones de estéril dentro de la formación, de modo que no es posible una extracción selectiva, y la lixiviación que puede provocar in situ debido a la penetración de agua subterránea (por ejemplo en minas de cobre).

### **PÉRDIDAS DE MINERAL:**

Con respecto a las pérdidas de mineral, se distinguen dos tipos: las pérdidas generadas y las pérdidas de producción. Las primeras son intrínsecas a la disposición natural de los yacimientos y están constituidas por el mineral que se abandona in situ por motivos de estabilidad. Estas pérdidas normalmente, deben tenerse en cuenta en los cálculos finales de las reservas explotables.

Las pérdidas de producción engloban todas las demás pérdidas de mineral que se producen durante el proceso de extracción. Por ejemplo, el mineral que no se extrae de los contactos con el estéril o el mineral frágil fragmentado que se abandona en el método de hundimientos por subniveles, cuando en el punto de carga deja de fluir el mineral limpio y aparece una mezcla de éste con el estéril.

### **DILUCIONES Y RECUPERACIONES MINERAS SEGÚN LOS DISTINTOS MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN:**

La dilución depende, en buena parte, de la configuración y disposición geológica del yacimiento, del método de explotación seleccionado y de la forma de aplicar éste. Así, por ejemplo, cuando se trata de depósitos con rocas de hastiales débiles y contactos mal definidos se llega a diluciones altas. Igualmente ocurre cuando se trata de explotar vetas o filones estrechos, llegándose a dilución<sup>4</sup> 70-80% y aún mayores (recuérdese que la dilución = estéril / (mineral + estéril)). En los métodos de explotación por hundimientos, la eficiencia de la operación depende tanto del diseño del método en si como del control de leyes que se emplea.

Valores mas frecuentes de recuperación minera y dilución

DESCRIPCION METODO DE EXPLOTACION	FACTOR DE DILUCIÓN		
	CONDICIONES DEL TERRENO		
	Excelentes	Medias	Malas
<b>Barrenos largos</b>	1.20	1.30	N.D.
Corte y relleno	1.05	1.10	1.15
Cámaras almacén	1.10	1.15	1.25
Cámaras y pilares	1.05	1.10	1.20

Factores de pérdida para algunos métodos de explotación subterránea

METODO DE EXPLOTACION	FACTOR DE PERDIDAS
Barrenos largos	0.8—1.0
Corte y relleno	1.0
Cámaras almacén	0.9—1.0
Cámaras y pilares	1.0

Recuperación minera y dilución para algunos métodos de explotación subterránea

Método de explotación	Recuperación Minera	Dilución (%) (Estéril/Min. + Estéril)
Cámaras por subniveles	95 – 97	5—10
Cámaras almacén	93 – 95	10—15
Corte y relleno	93 - 95	15—30
Hundimiento por subniveles	85 - 88	10 — 15
Hundimiento por bloques	80 - 85	15—10

Factor de recuperación minera para algunos métodos de explotación subterránea

METODO DE EXPLOTACION	FACTOR DE RECUPERACION MINERA (%)	
	Intervalo	Medio
Barrenos largos	60 — 100	80
Corte y relleno	70— 100	85
Cámaras almacén	75— 100	90
Cámaras y pilares	50 — 75	60

Por último, hay que indicar que, como la determinación directa de la cantidad de estéril incluido en el mineral es prácticamente imposible, se recurre a medir la dilución a partir de las leyes medias del mineral in situ (i) y de mineral extraído (h), siendo la dilución:

$$\text{Dilución (\%)} = [(i - h) / h] \times 100$$

Evidentemente, esta fórmula sólo es válida cuando el estéril lo sea en el verdadero sentido de la palabra, es decir, cuando su ley sea cero.

#### **PERDIDAS EN EL TRATAMIENTO DEL MINERAL:**

Sólo en raras ocasiones un mineral, sea del tipo que sea, puede utilizarse o comercializarse tal y como sale de la explotación minera. Lo normal es que el mineral de mina sufra un proceso más o menos complejo con el objeto de:

- Enriquecerlo, aumentando su contenido en el metal o sustancia (s) objeto de la explotación.
- Clasificarlo por tamaños, de acuerdo con las exigencias y necesidades del mercado.
- Conseguir una separación diferencial de distintos productos, cuando el tipo de minerales de partida y las condiciones comerciales así lo aconsejen.

Los procesos de tratamiento a que puede someterse un mineral son muy variados, pasando desde los más simples, como son la trituración y clasificación, a los más complicados como flotación o separación magnética, pero, en cualquier caso, siempre hay que contar con una

pérdida de la sustancia objeto de la explotación, que dependerá tanto de la naturaleza del propio mineral como de las características del proceso aplicado.

Es obvio que es prácticamente imposible fijar unas reglas o normas que permiten estimar estas pérdidas de una forma teórica y generalizada. Lo lógico es, que, en cada caso, se hagan los ensayos particulares en laboratorio y, a ser posible, en planta piloto, de manera que se puedan establecer factores como el proceso de tratamiento más adecuado, las recuperaciones/pérdidas de mineral o sustancia vendible previsible, la calidad y características de los productos vendibles y la posibilidad de co-productos o subproductos con valor comercial que podrían obtenerse.

Si no se posee la experiencia suficiente con otro mineral comparable al que se desea beneficiar, será totalmente necesario recurrir a la realización de los estudios y ensayos necesarios para llegar a conocer el tratamiento a seguir y evaluar los resultados obtenidos.

#### **PÉRDIDAS EN LA TRITURACIÓN Y CLASIFICACIÓN:**

Cuando éste sea el único proceso al que ha de someterse el mineral, las pérdidas serán función de la granulometría mínima exigida al producto vendible, ya que cualquier material por debajo de la misma será rechazable. A mayor tamaño exigible y mayor fragilidad del producto que se está tratando, mayores serán también las pérdidas por este concepto.

Si la trituración y clasificación es un proceso intermedio o paso previo a un segundo proceso-flotación, gravimetría, etc. podrá ocurrir que este último imponga unos límites al tamaño de alimentación, en cuyo caso, se produciría la correspondiente pérdida de mineral.

#### **PERDIDAS EN LA CONCENTRACION:**

La concentración de menas consiste, en esencia, en separar las sustancias vendibles en el mineral del estéril. Como es prácticamente imposible que, por efectos de la explotación minera o por el tratamiento mecánico posterior a dicha explotación, se produzca una completa separación o disgregación de partes ricas y estériles, surge aquí una primera limitación de la concentración que obliga a plantear la línea de corte, por encima de la cual se consideran los productos como ricos o concentrados vendibles, quedando un rechazo por lo general, sin valor.

En algunos casos, como el del carbón cabe establecer dos líneas de corte, de manera que se obtenga un producto que podría considerarse de primera calidad y un rechazo, quedando, entre ambas, un producto mixto, con cierto valor comercial.

La máxima complicación en la concentración de minerales se da probablemente, cuando se trata de minerales metálicos complejos es decir que contienen varios metales-comunes o preciosos- que se pretende recuperar. Hay que acudir entonces a un tratamiento que permita llegar a productos comerciales utilizables por técnicas o procesos metalúrgicos con distinta especialización o dedicación.

En estos casos, además de las pérdidas de metales en el estéril o rechazo, hay que considerar que en el concentrado específico de cada metal se encontrarán también cantidades mayores o menores de los otros metales que, por lo común, no serán pagados, e incluso podrían ser penalizados.

Debido a la extremada variedad y complejidad de procesos resulta muy difícil estimar las recuperaciones. No obstante, a título orientativo, se indican en la tabla de recuperaciones en diferentes menas metálicas, así como las leyes típicas de los concentrados.

### **7.1.2 Manipulación y Transporte:**

Desde la salida del producto de la planta de tratamiento o concentración hasta que se efectúa la venta del mismo, este ha de sufrir manipulaciones y transportes en mayor o menor grado. Solamente cuando la venta se produzca en la mina, se podrán ignorar estas circunstancias a la

hora de hacer la estimación de los ingresos, ya que las operaciones a las que está haciendo referencia implican pérdidas o mermas que habrá que detraer de aquellos.

Las pérdidas por manipulación y transporte varían con las características de tales operaciones y, por supuesto, con las propias del producto. En algunos casos pueden llegar hasta el 4 6 5 % del volumen inicial.

<b>7.2 RELACIÓN DE CONCENTRACIÓN:</b>
---------------------------------------

Es un termino usado habitualmente para expresar el cociente entre el peso de la cabeza (mineral antes de la fase de concentración) y el peso del concentrado (mineral valioso resultante del proceso de concentración). Veámoslo con un ejemplo.

PRODUCTOS	PESO TM	LEY Pb	Pb contenido TM	DISTRIBUCION Pb
CABEZAS	100	20%	20	100%
CONCENTRADO	28.3	60%	16.98	85%
COLAS	71.7	4.19%	3.004	15%
PERDIDAS MECANICAS .....	0.016			

Recuperación en el concentrado:      85% del plomo original

Pérdida en las colas                      15% del plomo original

Relación de concentración:               $100/28.3 = 3.53$  a 1

### 7.3 EJEMPLOS DE RECUPERACIÓN EN PLANTAS CONCENTRADORAS:

#### 7.3.1 Compañía Minera Polimetálica 1

DESCRIPCION			% Cu	% Pb	% Zn	% oz./t Ag
Mineral extraído	TM	662.949	0,59	1,35	7,18	2,97
Concentrado de cobre	TM	8.786	23,27	9,12	6,48	66,27
Concentrado de plomo	TM	10.888	2,19	61,48	7,86	80,98
Concentrado de zinc	TM	78.291	1,61	0,81	54,49	2,97
<b>Recuperación Cc. Cobre</b>	%		<b>52,48</b>	<b>9,03</b>	<b>1,21</b>	<b>29,88</b>
<b>Recuperación Cc. Plomo</b>	%		<b>6,13</b>	<b>75,44</b>	<b>1,81</b>	<b>45,25</b>
<b>Recuperación Cc. Zinc</b>	%		<b>32,30</b>	<b>7,14</b>	<b>90,34</b>	<b>11,92</b>
Relave	TM	564.984				
<b>Ratio relave: concentrado</b>		<b>5,76</b>				
Consumo de energía eléctrica	Kwh	14.626.660				
Consumo de chancadoras (4)	Kwh	1.091.568				
Consumo de molinos (4)	Kwh	492.884				
Consumo total de energía	Kwh	35.609.598				
% Consumo planta	%	41,07				

### 7.3.2 METALES S.A.:

DESCRIPCION			% Sn
Mineral extraído	TM	536.183	6,00
Concentrado de estaño	TM	44,832	52,00
Recuperación Cc. Zinc	%		86,86
Relave	TM	491.351	
Ratio relave:concentrado		10,95	
Consumo de energía eléctrica	Kwh	27.511.134	
Consumo de chancadoras (4)	Kwh	1,837.387	
Consumo de molinos (5)	Kwh	6,865.721	
Consumo total de energía	Kwh	50,539.261	
% Consumo planta	%	54,43	

### 7.3.3 COMPAÑÍA MINERA POLIMETALICA 2:

DESCRIPCION			%Cu	% Pb	% Zn	oz/tc Ag
Mineral extraído	TM	968.023	0,23	2,43	6,73	3,67
Concentrado de plomo	TM	29.395	0,63	68,9	4,71	83,81
Concentrado Zinc	TM	107.269	1,16	0,99	55,05	3,65
<b>Recuperación Cc. Plomo</b>	%			<b>86,29</b>	<b>2,14</b>	<b>69,34</b>
<b>Recuperación Cc. Zinc</b>	%			<b>4,53</b>	<b>90,71</b>	<b>11,12</b>
Relave	TM	831.359				
<b>Ratio relave: concentrado</b>		<b>6,08</b>				
Consumo de energía eléctrica	Kwh	19.774.244				
Consumo total de energía	Kwh	57.465.116				
% Consumo planta	%	34,41				

### 7.3.4 MINAS DE PLATA 1:

DESCRIPCION			oz./tc Ag	oz/tc Au
Mineral extraído	TM	383.787	17,14	1,96
Concentrado Bulk de plata	TM	14.805	370,35	38,88
<b>Recuperación Cc. Bulk</b>	<b>%</b>		<b>85,56</b>	<b>80,57</b>
Relave	TM	368.982		
<b>Ratio relave: concentrado</b>		<b>24,92</b>		
Consumo de energía eléctrica	Kwh	9.946.000		
Consumo total de energía	Kwh	34.899.160		
% Consumo planta	%	28.49		

### 7.3.5 CÍA. DE MINAS EXPLORADORA S.A. – UNIDAD POLIMETALICA 3:

DESCRIPCION			% Cu	% Pb	oz./tc Ag	oz/tc Au
Mineral extraído	TM	126.000	0,29	2,72	14,80	0,06
Concentrado bulk	TM	7.088	4,49	44,18	232,60	0,35
<b>Recuperación Cc. Bulk</b>	<b>%</b>		<b>90,00</b>	<b>94,00</b>	<b>91,10</b>	<b>68,00</b>

Relave	TM	118.912
<b>Ratio relave: concentrado</b>		<b>16,77</b>
Consumo de energía eléctrica	Kwh	5.497.690
Consumo total de energía	Kwh	16.180.195
Consumo de planta	%	33.97

### 7.3.6 POLIMINAS S.A. - UNIDAD COBRE 2:

DESCRIPCION			% Cu	oz./tc Ag
Mineral extraído	TM	2.616.614	1,17	0,64
Concentrado bulk	TM	102.600	28,00	11,20
<b>Recuperación Cc. Bulk</b>	<b>%</b>		<b>93,43</b>	<b>71,22</b>
Relave	TM	2.514.014		
<b>Ratio relave:concentrado</b>		<b>24,50</b>		

### 7.3.7 COMPAÑÍA POLIMETALICA 4:

DESCRIPCION			% Pb	% Zn	oz/tc Ag
Mineral extraído	TM	747.195	2,5	5,1	4,2
Concentrado de plomo	TM	25.200	57,51	6,31	55,15
Concentrado de zinc	TM	79.200	4,32	50,74	18,88
<b>Recuperación Cc. Plomo</b>	%		<b>70,49</b>	<b>3,85</b>	<b>41,10</b>
<b>Recuperación Cc. Zinc</b>	%		<b>13,29</b>	<b>77,37</b>	<b>35,30</b>
Relave	TM	642.795			
<b>Ratio relave:concentrado</b>		<b>6,15</b>			
Consumo de energía eléctrica	Kwh	27.884.313			
Consumo total de energía	Kwh	33.374.313			
% Consumo planta	%	83,55			

## 8. TRATAMIENTO DE LOS MINERALES DE ORO.

### 8.1 INTRODUCCION

El oro es un elemento poco reactivo y da lugar a un número limitado de compuestos naturales, que van desde el oro natural, a los telururos de oro y de plata. Puede presentarse libre o asociado a otras fases minerales, los sulfuros en particular. Sus dimensiones varían del centímetro al micrómetro. La escasa variedad de la mineralogía del oro y alguna de sus propiedades físicas (densidad muy elevada, afinidad con el mercurio formando amalgamas, flotabilidad natural, solubilidad en las soluciones de cianuro), conducen al desarrollo de 4 grandes técnicas de tratamiento: tratamiento gravimétrico, amalgamación, flotación y cianuración. Hay otros procedimientos como la oxidación química, la tostación, la biolixiviación, la cianuración a presión y otros procesos nuevos de aplicación especial

Si bien la lixiviación por el cianuro será siempre el procedimiento de base para el tratamiento de los minerales de oro, nuevas técnicas han aparecido (al mismo tiempo que se abandonan otras, como la amalgamación con mercurio). Además hay que tener en cuenta que una gran parte del oro que se produce en Perú, proviene del tratamiento de concentrados de cobre, zinc y plomo, en los que es un subproducto valioso.

## 8.2 MINERALOGIA: PROPIEDADES DE LOS MINERALES DEL ORO

### 8.2.1 Principales Minerales Portadores:

MINERAL	COMPOSICIÓN	CONTENIDO ORO	DUREZA	DENSIDAD
Oro natural	Au	Mayor 75%	16-19	2.5-3
Electrum	(Au, Ag)	45%-75%	13-16	2-2.5
Calaverita	Au Te 2	40%	9.2	2.5-3
Crennerita	AuTe2	31%-44%	8.6	2.5
Silvanita	AuAgTe4	34%-30%	8.2	1.5-2
Petzita	(Ag,Au) 2Te	19%-25%	9.1	2.5
Hessita	Ag2Te	Menor 5%	8.4	2.5-3

Predomina el oro en estado natural, con dimensiones entre una decena de micrones y una decena de milímetros (las masas de oro de 50 Kg. o más se encuentran en vetas de cuarzo). La plata es su principal impureza (electrum es una aleación oro con plata en diversas proporciones), aunque también el cobre y el hierro.

Los telururos (calaverita, crennerita, silvanita, petzita y hessita) contienen además de plata, restos de mercurio, e incluso algunas veces están acompañados de oro natural (mineralizaciones volcánicas del terciario o mineralizaciones precambrianas).

Hay también contenidos de oro más ligeros asociados a sulfuros (como la pirita), el mispiquel, la pirrotina, la galena y la blenda, e incluso, aunque más raro, hay compuestos auríferos a base de bismuto y antimonio (auroestibina).

### 8.2.2 Bases del Tratamiento de los Minerales de Oro:

Los minerales de oro poseen algunas propiedades características, que se aprovechan en los diferentes métodos de tratamiento:

### **DENSIDAD:**

La densidad del Oro nativo es muy alta ( $19 - 21 \text{ gr./cm}^3$ ) y los minerales portadores de Oro por lo general también tienen una densidad alta ( $> 4 \text{ gr./cm}^3$ ) por lo que se desarrollo muchas técnicas de concentración gravimétrica, es eficiente cuando las partículas son mayores a 100 micrones y pierde eficacia con partículas menores a 50 micrones.

### **HIDROFOBIA:**

El carácter naturalmente hidrófobo de la superficie del oro natural le confiere una excelente flotabilidad.

### **SOLUBILIDAD EN SOLUCIONES DILUIDAS Y ALCALINAS DEL CIANURO:**

Esta propiedad del oro de disolverse en cianuro, ha hecho de esta técnica de tratamiento la más habitual en la práctica. El oro también es soluble a otros solventes (thiourea y thiosulfatos en ambiente ácido). Es precisa la presencia de un agente oxidante, papel que desempeña el oxígeno del aire en el caso de la cianuración. No obstante hay que tener en cuenta la influencia de los minerales acompañantes y de la naturaleza de la ganga en el consumo de cianuro y de los reactivos y oxígeno. En el siguiente cuadro se muestra la disolución de los minerales de cobre y de zinc en una solución de cianuro al 0.1% durante 24 horas, a 23°C:

MINERAL	FORMULA	DISOLUCIÓN EN %
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	5.6%
Crisocola	CuSiO <sub>3</sub>	11.8%
Tetraedrita	4Cu <sub>2</sub> S-Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	21.9%
Enargita	3CuS-As <sub>2</sub> S <sub>5</sub>	65.8%
Bornita	FeS-2Cu <sub>2</sub> S-CuS	70.0%
Cuprita	Cu <sub>2</sub> O	85.5%
Cobre	Cu	90.0%
Calcosita	Cu <sub>2</sub> S	90.2%
Malaquita	CuCo <sub>3</sub> Cu(OH) <sub>2</sub>	90.2%
Azurita	2CuCo <sub>3</sub> -Cu(OH) <sub>2</sub>	90.2%
Wilemita	Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	94.5%
Esfalerita	ZnS	13.1%
Hidrozincita	2ZnCo <sub>3</sub> -3Zn(OS) <sub>2</sub>	18.4%
Zincita	ZnO	35.1%
Smithsonita	ZnCO <sub>3</sub>	40.2%

Algunos minerales de plomo, arsénico y antimonio son solubles en cianuro, los cuales hacen más lenta la cinética de la extracción del oro y, en el caso del arsénico, este vuelve a aparecer con la precipitación del oro sobre el polvo de zinc y se genera AsH<sub>3</sub>, que es un gas muy tóxico. Por tanto, en presencia de arsénico o antimonio, el oro es en general concentrado por flotación y tostado.

La presencia de sulfuros de hierro (pirita, marcasita o pirrotita), dada la tendencia de éstos a descomponerse con la cianuración, suelen afectar a la cinética de la extracción. La pirita es poco soluble, la pirrotita en cambio es muy soluble en cianuro sobre todo a altas concentraciones de este (> 100 ppm).

Por último, la presencia de materias carbonatadas (grafito, restos orgánicos etc.) dada su propiedad de absorber el oro en solución, provocan importantes pérdidas de éste en los desechos del tratamiento.

### **AMALGAMACIÓN POR EL MERCURIO:**

Es una técnica antigua, que permite recuperar el oro libre mediante el uso del mercurio, formando una amalgama por contacto del Hg con el Au libre, tiene sin embargo muchas implicancias ambientales y ecológicas por la toxicidad del mercurio

### **DUCTILIDAD:**

El oro libre tiene tendencia a aplanarse y alargarse en las operaciones de molienda, por su naturaleza dúctil. El oro grueso por tanto es convenientemente recuperado por gravimetría antes de ser molido.

### **8.3 CLASIFICACIÓN MINERALURGICA DE LOS MINERALES DE ORO**

Según McQuinston y Shoemaker la clasificación de los minerales de oro, desde el punto de vista mineralógico es la siguiente:

#### **8.3.1 Minerales de Oro en los asientos:**

Están constituidos por las arenas o conglomerados poco o nada consolidados. El oro se presenta con un débil contenido bajo la forma de metal natural. Suelen explotarse por gravimetría.

#### **8.3.2 Minerales que tienen oro natural exonerable:**

Comprende los minerales no refractarios en los que el oro se presenta en estado nativo, no incluido en sulfuros. La cianuración es la técnica utilizada habitualmente conjuntamente con la gravimetría, para recuperar el oro grueso que eventualmente se presente. La amalgamación directa es un método que se está abandonando.

#### **8.3.3 Minerales con Sulfuros de Hierro:**

El oro se presenta en estos minerales, al mismo tiempo diseminado en los sulfuros y en estado libre. La pirita es el sulfuro más frecuente y su tratamiento habitual consiste en una flotación de sulfuros y del oro libre, seguido de una cianuración del concentrado, eventualmente remolido.

Un tostado previo a la cianurización permite liberar el oro cuando se presenta diseminado en inclusiones submicroscópicas en la pirita.

#### **8.3.4 Minerales con Sulfuros de Arsénico o de Antimonio:**

Generalmente el oro se presenta en estos minerales muy finamente diseminado en los sulfuros. El tratamiento habitual es una concentración de oro por flotación de los sulfuros, seguido de un tostado y de una cianuración del concentrado.

### **8.3.5 Minerales con Telururos de Oro:**

Se presentan a menudo acompañados de oro natural y de oro diseminado en los sulfuros. El tratamiento es más complejo, y consiste habitualmente en una flotación de los sulfuros, seguido de una cianuración, de un tostado de los residuos y de la cianuración de la calcina. Los residuos de flotación son también eventualmente cianurados.

### **8.3.6 Minerales con Ganga Carbonacea (carbonosa):**

Estos minerales contienen las materias carbonosas bajo una forma orgánica o mineral. Este carbón puede absorber el oro disuelto que se pierde entonces entre los residuos. El tratamiento necesita antes de la cianuración una etapa de oxidación del mineral, una separación por flotación del carbón o la añadidura de reactivo, como el kerosén o fuel oil, recubriendo la superficie de los minerales carbonáceos

### **8.3.7 Minerales de Oro asociado con los Metales de Base:**

Este tipo de mineral asegura una gran parte de la producción mundial. El oro es habitualmente recuperado con los concentrados de los sulfuros de los metales de base (cobre, plomo o zinc). Las partes estériles de flotación, cuando contienen todavía oro, pueden ser cianurados.

## 8.4 LAS TÉCNICAS DE BASE:

### 8.4.1 Amalgamación:

La tensión superficial a la oro-mercurio es muy inferior a la del agua con el oro, permite un contacto preferencia y favorece la combinación de los dos metales, que forman, entonces, conjuntos de compuestos metálicos llamados amalgama ( $Au Hg_2$  y  $Au_8Hg$ ), resultando una solución líquida de oro en el mercurio (0.1% oro) y uno o varios compuestos sólidos oro—mercurio. Los límites de la amalgamación son los siguientes: No concierne más que al oro natural. El oro natural debe estar liberado su superficie limpia y exenta de oxido de hierro o de reactivos hidrófobos (grasas, reactivos de flotación etc.). Si el oro es muy fino, puede tener tendencia a flotar en la superficie del agua o del mercurio. La presencia de ciertos sulfuros (en particular de arsénico) pueden provocar dificultades en la amalgamación. La aplicación de estas técnicas está casi abandonada, sobre todo por los peligros de la manipulación del mercurio. Después de la separación por gravimetría y el paso sobre las placas de cobre, la amalgama es prensada con una piel de gamuza para eliminar el mercurio residual y luego destilada a 350°C a 450°C. El mercurio concentrado es reciclado, el oro restante en el fondo es enviado a refinación.

### 8.4.2 La Gravimetría:

Constituyen el único tratamiento para los yacimientos tipo placeres, e incluso es complementario cuando aparece oro grueso. Los principios utilizados en su tratamiento son conocidos desde hace mucho tiempo: sluices (canaletas), jigs (concentrador), tablas de sacudir, espirales. Pero la explotación de los placeres es generalmente de escala artesanal, y por ello los aparatos utilizados son muy variables. La gravimetría es pues, un complemento de la flotación y cianuración.

### 8.4.3 La Flotación:

Hay una variedad de configuraciones, entre otras:

### **FLOTACIÓN DE LOS MINERALES DEL ORO ACOMPAÑADO DE SULFUROS, REFRACTARIOS O NO**

Se utiliza la flotación cuando se tiene oro asociado a los sulfuros básicos de plomo, hierro o zinc, por tanto al flotar los sulfuros flotara también el oro, también puede flotarse minerales que

contienen oro muy fino el cual puede ser refractario o no, el objetivo es obtener un concentrado de oro con el máximo recuperación.

### **FLOTACIÓN DE LOS SULFUROS DESPUÉS DE LA CIANURACIÓN DEL MINERAL QUE LLEGA**

Se utiliza para obtener una ganancia suplementaria del oro contenido en las piritas.

### **FLOTACIÓN DIFERENCIAL**

Permite la separación de telururos de oro- pirita u oro libre-pirita.

Los reactivos utilizados son similares a los empleados para la flotación de sulfuros se utilizan un pH < 10 regulado con hidróxido de sodio.

Cuando se realiza la cianuración después de la flotación la presencia de los colectores y demás reactivos puede afectar a la puesta en solución del oro. También pueden inhibir la absorción del oro sobre el carbón. La solución es una oxidación más larga y un remolido subido de los concentrados o un quemado.

Cuando, por el contrario, la flotación es superior a la cianurización, la presencia del ión CN puede deprimir los sulfuros, en particular la pirita. El remedio es destruir los cianuros restantes por S02 en pH ácido.

Más allá de los 250 micrones la flotación del oro se hace difícil, y necesita el empleo de colectores poderosos.

#### **8.4.4 La Cianuración**

Es el método más utilizado, descubierto en el siglo pasado, ha sido objeto de mejoras continuas.

### **CONDICIONES GENERALES DE LA CIANURACIÓN:**

La ecuación global de la Cianuración es la siguiente:



Esta ecuación pone en evidencia la necesidad de la presencia del oxígeno para que la reacción tenga lugar. El oxígeno es añadido en la solución por un simple agregado de aire.

El ataque por el cianuro es preferentemente conducido en medio alcalino y pH entre 10 a 11.5 para evitar la formación del ácido cianhídrico (HCN), que se produce en un medio ácido y conduce no solo a una pérdida de reactivos sino, sobre todo, a la emanación de un gas extremadamente tóxico.

La alcalinidad del medio es controlada, en general, por la adición de cal (la sosa es más costosa). El consumo de cal varía fuertemente según los minerales (entre 1 kg/t. De mineral a varios Kg./t en los casos más difíciles).

El cianuro utilizado es el cianuro de sodio (más raramente el de potasio), con consumos habituales que van de menos de 200 g/t a 6 Kg./t en los casos más difíciles.

La concentración de cianuro de sodio en solución, varía de 100 ppm a 500ppm de NaCN en la mayoría de los casos.

El tiempo de ataque es dependiente del mineral tratado y de la dimensión de los granos de oro, y suele variar de 16 a 40 horas.

La recuperación de las partículas de oro grueso por gravimetría permite reducir los tiempos de espera.

El ataque se realiza a temperatura ambiente, ya que este parámetro no tiene influencia más que sobre la cinética de extracción.

La cinética de extracción y los consumos en reactivos están grandemente influenciados por la mineralogía del mineral tratado.

## LOS PRETRATAMIENTOS:

Son aplicados cuando el oro es del tipo refractario (no libre) los métodos mas utilizados son:

- **TOSTADO:** Debido a sublevado costo operativo, esta técnica en general no es aplicada más que sobre los concentrados, obtenidos por flotación. Por el contrario, el tostado de los concentrados de oro es practicado de oro do cuando los sulfuros de hierro, de arsénico o de antimonio están presentes.

El tostado permite, además, liberar el oro sub-microscópico contenido en los sulfuros, eliminar el arsénico y, en menor medida, el antimonio (que son nefastos en la cianuración).

Permite también oxidar ciertos sulfuros como la pirrotina soluble a los cianuros y destruir los reactivos orgánicos (floculantes, colectores etc.).

También elimina las materias carbonatadas que pueden fijar el oro cianurado.

El tostado es conducido en las condiciones de oxidación controladas, adaptadas a cada caso, a una temperatura entre 600°C y 750°C (a más alta temperatura es nefasto).

Los productos tostados (calcina) son luego lavados con ácidos y remolidos para así favorecer la eliminación de compuestos de cobre y arsénico.

- **PRETRATAMIENTOS ACUOSOS:** Responden a muchos objetivos: Oxidación de algunas sustancias nocivas (pirrotita y los sulfuros en general); separación de ciertos elementos incómodos para la cianuración (vg. El cobre, que consume cianuro, puede ser eliminado por lavado ácido o básico). Desoxidación y liberación del oro natural recubierto de oxido de hierro o de otros compuestos, también para inhibir la absorción del oro por parte de los compuestos carbonáceos se añade kerosén a la pulpa antes de la cianuración.

- **LA CIANURACIÓN EN CUBA (tina):** El mineral, después de ser molido, es introducido bajo la forma de pulpa en los reactores (que son de 3 tipos: pachucas, agitadores Dorr y cubas agitadas), para ser puesto en contacto con el cianuro. Hoy día esta técnica se está abandonando, si bien la utilización de reactores tipo cubas agitadas, dado su menor consumo de energía, puede ser todavía viable económicamente.

• **LA CIANURACIÓN EN PILA** (montón): Este proceso, que presenta costos de bloqueo y de funcionamiento más bajos que la cianuración clásica, permite valorizar los yacimientos de más débil contenido o procesar los viejos residuos. Así yacimientos con contenidos de 1 a 2 gramos de oro por tonelada pueden ser explotados a cielo abierto con lixiviación en pila.

El funcionamiento de este proceso es muy simple: se colocan varias decenas de millares (hasta un millón de toneladas) de mineral en un montón (pila) y sobre un área impermeabilizada (con arcilla, plástico, asfalto, etc.).

La solución con cianuro es enviada por medio de distribuidores sobre lo alto de la pila drenando a través de la misma por gravedad.

Las aguas madres reunidas en la base de la pila, con la ayuda de una capa drenante, son colectadas y enviadas a la unidad de recuperación del oro (carbón activo en columna o precipitación sobre Zinc)

El proceso continúa hasta que la extracción de oro no aumente o lo haga muy lentamente.



**Sección Molienda – Planta Metalúrgica**

Este proceso no permite la aplicación de pre tratamientos al mineral, además la dimensión de los granos de oro debe ser lo más pequeña posible (los granos de oro grosero pueden necesitar demasiado tiempo para disolverse, de uno a 2 años).

Además el oro debe poder estar en contacto con el cianuro, bien por la porosidad de la roca, o bien por que la trituration lo ha liberado parcialmente.

Además el mineral no debe contener más que cantidades débiles de elementos cianicidas, tales como sulfuros parcialmente oxidados de Sb, Zn, Cu y As o de otros minerales que perturben la cianuración.

El mineral no debe contener materias carbonatadas que pudiesen absorber el oro en la pila y debe evitarse el exceso de sulfuro liberante del ácido, para evitar un fuerte consumo de cal. En fin el mineral debe presentar buenas características de percolación, es decir no tener partes muy finas ni muy arcillosas.

En general la recuperación de oro es del orden del 75% del obtenido por cianuración en cuba, pero a un coste infinitamente menor.

## 8.5 METODOS DE RECUPERACIÓN DEL ORO

### 8.5.1 Precipitación con Zinc o Aluminio:

El proceso comprende una separación líquida-sólida después de la cianuración (decantación contra corriente o filtración); una clarificación de la solución aurífera, una des - aereación de la solución, a tratar bajo vacío parcial. El aumento del polvo de zinc y de la sal de plomo, para que mejore la precipitación del oro y la recuperación del oro precipitado sobre un filtro, generalmente precubierto. Un cierto número de elementos (particularmente el cobre) pueden perturbar la reacción, tanto en términos de tiempo como de rendimiento. Las separaciones líquido-sólido y la clarificación son operaciones difíciles y costosas para ciertos minerales (pulpa de mineral fuertemente molida o mineral arcilloso).

### 8.5.2 Absorción con Carbón Activado:

El proceso descansa en la propiedad que tienen las materias carbonadas activas de absorber el oro contenido en las soluciones de cianuro. El carbón activado utilizado es preparado a partir del carbón vegetal duro (nuez de coco), tratado especialmente para desarrollar su capacidad de absorción y su porosidad. A la salida de la cianuración la pulpa mineral es enviada a otros agitadores mecánicos donde se añade el carbón activado y este es retenido evitando su fuga del reactor por un sistema de criba. Un cribado final permite separar la pulpa del mineral estéril, del carbón cargado. No es preciso pues la separación sólido/líquido y por tanto es recomendable para tratar minerales difícilmente filtrables o decantables. Por último, las soluciones auríferas son tratadas por electrólisis y el oro se deposita sobre los cátodos de lana de hierro. El proceso es especialmente recomendable en los casos en que las separaciones líquido/sólido son difíciles por la presencia de cobre en la solución madre o cuando el mineral tiene un débil contenido.

## **8.6 TRATAMIENTO DE MINERALES REFRACTARIOS A LA CIANURACION:**

### **8.6.1 Oxidación a Presión:**

Es un proceso de oxidación de los sulfuros ricos en oro y plata, se utilizan reactores a presión denominados autoclaves.

### **8.6.2 Cianuración a Presión:**

Consiste en cianurar la pulpa a alta presión y temperatura lo cual aumenta la velocidad de disolución del oro hasta 7 veces.

### **8.6.3 Oxidación Bacterial:**

El proceso de oxidación bacteriana consiste en aplicar bacterias como el thiobacillus ferrooxidans sobre la pulpa mineral, esta bacteria oxida el sulfuro presente liberando al oro que era inicialmente refractario, debido a esto se puede recuperar luego hasta un 85% del oro por cianuración del producto biooxidado.

## 8.7 LIXIVIACIÓN CON REACTIVOS DIFERENTES AL CIANURO:

### 8.7.1 Tiourea ( $\text{NH}_2 - \text{CS} - \text{NH}_2$ )

Tiene una cinética de disolución rápida para el oro, sin embargo solo se ha aplicado a nivel de laboratorio por las dificultades observadas a nivel industrial.

### 8.7.2 Tiosulfato

Fue el método preferido antes de que apareciera la cianuración, recientemente se han realizado mejoras en el proceso y se ha utilizado en lixiviación de oro y plata desde residuos de oxidación a presión y en concentrados sulfurados complejos, usando soluciones amoniacales de tiosulato.

### 8.7.3 Halógenos

Tanto los cloruros como el bromo y el yodo, se han usado como pretratamiento para minerales carbonáceos.

## BIBLIOGRAFIA

1. Universidad Nacional San Luis Gonzaga  
“Geología, minería y metalurgia del oro” — AVCOMMSA
2. Venancio Astucuri T.  
“Introducción a la flotación de minerales”
3. José Manzaneda Cabala  
“Procesamiento de minerales: molienda y clasificación, flotación”
4. Unión Española de Explosivos  
“Guía Práctica de Voladuras”
5. Instituto Tecnológico Geominero de España  
“Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto”
6. Simposio de mineralogía peruana – tecnologías para los años ‘90: respuesta al desafío de mañana  
“Molienda”
7. Simposio de mineralogía peruana - tecnologías para los años ‘90: respuesta al desafío de mañana.  
“Hidrometalurgia”
8. Simposio de mineralogía peruana — tecnologías para los años ‘90: respuesta al desafío de mañana  
“Flotación”
9. Carlos López Jimeno  
“Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras”
10. Instituto Tecnológico Geominero de España  
“Manual de perforación y voladura de rocas”

11. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú  
Curso corto sobre: “Técnicas modernas de Perforación y voladura”
  
12. Instituto Tecnológico Geominero de España  
“Manual de explotación económica de proyectos”
  
13. Novitzky  
“Manual de cielo abierto”
  
14. United Nations Economic Report  
“The international of mineral resource”
  
15. Bureau of U.S. Department International Mining  
“Mines of the Indexation system”
  
16. Carlos López Jimeno  
“Estudios de viabilidad en el desarrollo de proyectos mineros”
  
17. Mular A.L.  
“Cost Metallurgy Estimations”
  
18. Mular A.L.  
“Mineral Processing Plant Design”
  
19. Azcarate J.E. — Instituto Tecnológico Geominero de España  
“Introducción a la Metodología de Investigación Minera”



**Mesa gravimétrica**

ANEXO  
GLOSARIO DE TERMINOLOGIA MINERA

TERMINOS DE MINERIA

A

**Abandono:** Causal de extinción de los derechos mineros. Se configura cuando se incumplen las normas del procedimiento minero.

**Abra:** Ensenada o abertura que presenta el litoral entre dos montañas o colinas, y también la que forma la desembocadura de un río. Abertura o resquebrajamiento del terreno por la erosión o temblores; vacío que se forma en las rocas por acción de las aguas.

**Acco:** Quechuismo peruano para designar la arena.

**Acicular:** Son agregados cristalinos o concreciones que toman este nombre porque se hallan en finas agujas como el rutilo.

**Acreditar:** Probar o demostrar con certeza la existencia de una situación jurídica determinada.

**Acumulación:** Procedimiento administrativo que implica la fusión de concesiones o petitorios colindantes y vecinos, de un mismo titular. El título de la acumulación es expedido por el Registro Público de Minería.

**Afloramiento:** Minerales o rocas que se encuentra en la superficie plenamente visibles.

**Agitación:** Acto o estado de agitar o sacudir mecánicamente (Metalurgia), a veces se consigue incorporando aire comprimido.

**Aglomeración:** Agrupar, cohesionar partículas minerales con adición o no de compuestos denominados aglomerantes (cal, cemento, arcilla, etc.).

**Aglomerado:** Brecha volcánica compuesta totalmente de fragmentos de rocas volcánicas.

**Agua de drenaje de la mina:** Aguas freáticas que se bombean a la superficie de las minas. Generalmente, el agua drenada requiere tratamiento hasta alcanzar un tenor neutro antes de liberarla al ambiente natural.

**Alargador:** Componente de una trefilería de varillas cilíndricas utilizadas en la perforación con herramienta de diamante, es montado con diamantes y colocado entre la broca de diamante y el tornillo del banco de barrilete de muestras con la finalidad de mantener el diámetro de la perforación

**Aleación:** Compuesto de dos o más metales

**Alfámetro:** Medidor utilizado para medir partículas cargadas positivamente (partículas alfa), emitidas por algunos materiales radioactivos.

**Alta calidad:** Mineral rico. Se refiere a la minería selectiva del mejor mineral existente en un depósito.

**Alteración:** Cualquier cambio físico o químico que las rocas y minerales sufren después de su formación. Cambio más gradual y localizado que la metamorfosis.

**Alto horno:** Horno de reacción donde se funden cargas mixtas de minerales de hierro, flujos y materiales combustibles, inyectando chorro de aire caliente y aire enriquecido con oxígeno para reducir químicamente los minerales al estado metálico. El mineral de hierro es exclusivamente procesado en este tipo de horno.



## **Explotación Aluvial - Oro**

**Altura del banco "K",(metros):** Es la diferencia vertical entre el área superior horizontal y el área inferior.

**Aluvión:** Depósitos frescos de sedimento asentado es el fondo de un río, áreas de inundación, lago o en la base de las laderas de una montaña.

**Amorfo:** Término aplicado a las rocas y minerales sin estructura cristalina definida. Ej.: cuarzo amorfo.

**Anclajes de roca:** Acto de apoyar aperturas con pernos de acero anclados en hoyos perforados especialmente con este fin.

**Anfo:** Acrónimo de (ammonium nitrate and fuel oil) nitrato de amonio y óleo combustible, mezcla utilizada en muchas minas como agente detonador.

**Anomalía:** Cualquier desvío de una formación geológica regular capaz de indicar la presencia de mineralización en una capa rocosa subyacente. En geofísica y geoquímica área donde la propiedad que está siendo medida es significativamente mayor o menor que el área Más amplia circundante.

**Anticlinal:** Arco o pliegue de las capas de roca con forma de cresta de ola, contrariamente al sinclinal, que es semejante al seno de una ola

**Antracita:** Carbón de piedra duro y negro que contiene un alto porcentaje de carbón fijo y un bajo porcentaje de materia volátil.

**Ápice:** Punto más alto de un borde terminal de un filón situado en la superficie o el punto más próximo a la superficie.

**Arcilla:** Material finamente granulado que se compone de silicatos de aluminio hidratados.

**Agrupamiento:** Reunión de dos o más concesiones mineras de la misma clase o naturaleza, pertenecientes a un mismo titular, que forman Unidades Económicas Administrativas constituidas mediante Resolución de la Dirección General de Minería.

**Agua regia:** Nombre con que se conoce a una combinación de tres partes de ácido clorhídrico y una de ácido nítrico, que ataca el oro. El oro no es atacado por los ácidos nítrico y clorhídrico individualmente.

**Álcali:** Sustancia de propiedades químicas análogas a las de la sosa y la potasa (los álcalis son venenos violentos, cuyos efectos se combaten absorbiendo vinagre aguado).

**Alijar:** Aligerar o descargar una embarcación.

**Almacén:** Local donde se tiene mercancías para su custodia o venta.

**Almacenaje:** Derecho que se paga por guardar las cosas en un almacén privado o público.

**Ánodo:** Producto resultante de la fundición que entra a la refinación como polo positivo de una celda de electro deposición.

**Antidumping:** Método que consiste en vender en el extranjero a precios superiores a los nacionales, entonces, realiza el dumping en su propio país. En el Antidumping, la demanda del extranjero es menos elástica que la nacional, ya sea porque la competencia en el extranjero sea menor, o por cualquier otra razón.

**Apilar:** Formar pila o montón de los minerales.



**Planta de Cianuración – Tanques Agitadores**

**Arancel aduanero:** Tarifa oficial que determina los diversos derechos o impuestos que se deben pagar en las aduanas de la República, por internar o exportar mercaderías.

**Arbitrage:** Palabra inglesa que se utiliza para denotar la compra y venta simultánea de la misma cantidad en dos mercados diferentes, generalmente en Nueva York y Londres. Esto se hace cuando la estructura de precios de un mercado está muy fuera de línea de su contraparte en el exterior, luego de deducir la diferencia necesaria para cubrir fletes, etc.

**Arbitraje:** Acción o facultad de arbitrar, o el procedimiento para dirimir pacíficamente cuestiones entre Estados o individuos, consistente en designar un tercero como juez o árbitro para resolver diferencias entre dos partes.

**Arenas auríferas:** Arenas formadas por erosión de yacimientos auríferos, transportadas por corrientes de agua, generalmente depositadas en los lechos y terrazas de los ríos. Contienen partículas de oro libre.

**Atacar:** Hace actuar sobre un mineral ciertos reactivos químicos, con el objeto de obtener elementos en solución.

**Auto amparo:** Resolución emitida por las Jefaturas Regionales de Minería, mediante la cual el denunciante ejercía provisionalmente los derechos que otorga la concesión. Desde la vigencia del DEC. LEG. 708 ya no se dictan los Autos de Amparo.

**Average:** Término inglés que se utiliza en el comercio internacional para indicar el promedio o término medio que se toma como regla o patrón general.

**Avio:** Dinero, provisiones, herramientas o implementos, como insumos para trabajar una mina, obtenidos como préstamo o adelanto a cuenta de la venta de minerales, concentrados o metales.

**Azofar:** Palabra procedente del árabe que significa cobre y se emplea en castellano como latón.

**Azogue:** Nombre que se le da al mercurio.

## B

**Basalto:** Roca volcánica extrusiva compuesta básicamente de plagioclásicos, piroxénicos y cantidades muy pequeñas de olivino.

**Batea:** Recipiente metálico en forma de cacerola que se usa para lavar cascajo y arena, o muestras de roca molida, a fin de separar el oro y otros metales preciosos.

**Batolito:** Masa muy extensa y profunda de roca ígnea, con la parte superior en forma de bóveda, cristalizada bajo de la superficie, pudiendo quedar expuesta debido a la erosión de las rocas que la cubren. Las masas pequeñas de rocas ígneas son protuberancias de roca ígnea o masa de roca ígnea intrusiva.

**Banco:** Un banco puede ser comparado a un escalón en el terreno.

**Beneficio:** Conjunto de procesos físicos, químicos y/o físico químico que se realizan para extraer o concentrar las partes valiosas de un agregado de minerales.

y/o para purificar, fundir o refinar metales; comprende preparación mecánica, metalúrgica y refinación.

**Beneficiar:** Concentrar o enriquecer, usualmente aplicado a la preparación de mineral de hierro para fundir mediante procesos como sinterización, concentración magnética, lavado con chorro de agua y otros.

**Bentonita:** Arcilla con gran capacidad para absorber agua e hincharse.

**Bessemer:** Proceso para obtención del acero, también se denomina al grado o calidad del mineral de hierro con bajo contenido de fósforo utilizado en dicho proceso.

**BID:** Precio ofrecido y sujeto a confirmación (siempre que no se indique lo contrario) para la aceptación inmediata de una cantidad específica de un producto.

**Biosfera:** Parte de la tierra que contiene seres vivos.

**Biotita:** Mica de hierro-magnesio, que se fragmenta en escamas, común en las rocas ígneas.

**Blackjack:** Término usado por los mineros para indicar la esfalerita o blenda.

**Blister:** Son metales con mayor grado de pureza que los concentrados pero menor que los refinados, aproximadamente de 98.% a 99% de pureza.

**Bocamina:** Boca o entrada de una mina, usándose sobre todo en plural bocaminas.

**Bonanza:** Mineral muy rico

**Brecha:** Tipo de roca cuyos fragmentos tienen forma angular, contrariamente a las rocas conglomeradas, cuyos fragmentos son redondeados debido al desgaste.

**Broca:** Extremidad cortante de un taladro, generalmente hecha de un material muy duro, como diamante industrial o carburo de tungsteno.

**Brújula de inmersión:** Brújula con aguja montada de manera que oscile en un plano vertical; en la prospección es utilizada para determinar la atracción magnética de las rocas.

**Bullión:** Lingotes de oro y/o plata pre-refinados.

**Buscaneo:** Acción de buscar con cuidado las pequeñas vetas ricas en mineral que a veces pasan desapercibidas en las excavaciones mineras.

## C

**Calcáreo:** Depósito sedimentario estratificado que consiste, principalmente, en carbonato de calcio.

**Calcinar:** Proceso de calentamiento de un mineral o concentrado para la eliminación de compuestos volátiles como el azufre o su pre-tratamiento para un proceso posterior.

**Calcopirita:** Mineral de sulfuro de cobre y hierro. Mineral común de cobre ( $\text{CuFeS}_2$ ).

**Campamento base:** Centro de operaciones desde donde se dirige cualquier actividad de exploración de minerales.

**Canaleta:** Conducto o cuenca para transportar pulpa, agua o mineral en polvo bien molido.

**Carbón:** Roca carbonácea combustible.

**Carbón en pulpa:** Método de recuperación de oro y plata mediante soluciones saturadas de cianuro, absorbiendo los metales preciosos a gránulos de carbón activado con apariencia de cáscara de coco triturada.

**Carbón metalúrgico:** Carbón utilizado para hacer acero.

**Carbón térmico:** Carbón quemado para generar el vapor que acciona las turbinas generadoras de electricidad.

**Carbonificación:** Procesos metamórficos de formación del carbón.

**Carga circulante:** Pedazos grandes de mineral que retoman al fondo de un circuito cerrado de molienda, antes de entrar a la etapa siguiente del tratamiento.



## **Tanque para proceso carbón en pulpa**

**Ceniza:** Residuo inorgánico que permanece después de la ignición del carbón.

**Caballo:** Masa de roca estéril que ocupa parte de una estructura mineralizada y que, a veces, la divide en dos o más ramas.

**Cable carril:** Medio de transporte, generalmente para minerales o concentrados, constituido por uno o más cables tendidos entre dos puntos elevados sobre los que se mueve una vagoneta.

**Caducidad:** Causal de extinción del Derecho Minero. De acuerdo al nuevo ordenamiento legal, situación originada por el incumplimiento del pago del derecho de vigencia o de la penalidad según sea el caso.

**Cajario:** Límite inferior de una estructura mineralizada, término empleado en la sierra de La Libertad.

**Calendario de operaciones:** Documento en que se especifica las actividades necesarias para poner en producción una mina, con indicación de sus secuencias, duración y monto de inversiones requerido.

**Calicata:** Sondeo superficial para reconocer estructuras.

**Callana:** Del quechua "Kallana", recipiente para transportar metal fundido.

**Cámaras:** Compartimiento en los hornos metalúrgicos.

**Cambio de sustancia:** Se realiza mediante una solicitud escrita presentada por el interesado para transformar su concesión minera metalúrgica en una no metálica, o viceversa de acuerdo al procedimiento establecido.

**Cancha:** Espacio en el cual se acumula, tanto en la mina como en la planta, minerales, concentrados, desmonte, etc., en espera de su destino final.

**Cangalla:** Desperdicios de minerales.

**Capacho:** Bolsa, generalmente de cuero que utilizan los mineros para extraer-transportar mineral desde el interior de una mina.

**Cara libre:** Se llama cara libre de labor a una zona o roca que se quiere volar, a cada uno de los lados que están en contacto con el aire, según un cubo imaginario tomado para comparación

**Carrilano:** Trabajador minero dedicado a la instalación y mantenimiento de rieles, cambios, guardarieles, etc.

**Cartel de advertencia:** Mediante el cual se notifica al titular del derecho prioritario — concesión o denuncia — de que existe una solicitud de petitorio en trámite, cubriendo áreas de su derecho minero.

**Cartel:** Aviso de petitorio para publicarse en El Peruano y en el periódico local, para que el público tome conocimiento de que existe una solicitud de concesión minera en trámite.

**Carga específica ó factor de potencia (KG/M3):** Es la cantidad de explosivo usada por m<sup>3</sup> de roca volada.

**Carga de fondo "Lb", ( Kg/m):** Es la carga más potente que es requerida en el fondo del taladro, debido a que la roca es más resistente en esa parte.

**Carga de columna "Lp", (Kg. /m):** Es la carga encima de la carga de fondo. Puede ser de menor potencia ya que la roca, en esta parte, no es tan resistente.

**Caspa:** Oxido que se desprende del cobre.

**Catastro minero:** Registro de los derechos mineros, establecido metódicamente para estructurar su información, en cuanto a su ubicación, de manera ordenada, global y con certeza.

**Cateador:** Se llama a quien hace catas en busca de minerales. Y se aplica también al martillo usado por los mineros para partir las rocas que van a examinar.

**Catear:** Buscar, examinar, explorar los terrenos en busca de minerales.

**Cateo:** Acción conducente a poner en evidencia indicios de mineralización por las labores minerales elementales.

**Cátodo:** Parte de una celda electrolítica correspondiente al polo negativo de la misma, termino muy usado en refinación de metales.

**Cebadera:** Caja de palastro que se emplea para introducir la carga en el horno a través del cebadero.

**Cebadero:** Abertura por la que se introduce el mineral en el horno.

**Ceja:** Formación semicircular que se produce en la acción del bateado, de acuerdo al peso y/o densidad del material tratado. El material más pesado ocupa el centro de la batea y los de menor peso se desplazan hacia el borde.

**Celda:** Depósito en el que se efectúa procesos metalúrgicos para recuperar metales. Celda de flotación en los procesos de concentración de metales y celdas electrolíticas en los procesos de refinación eléctrica.

**Ceniza:** Residuo inorgánico que permanece después de la ignición del carbón.

## CH

**Chacras de oro:** Pequeñas áreas empedradas, sujetas con troncos en las playas de los ríos, se preparan durante el estío para que al llegar la época de lluvias produciendo la creciente de los ríos, deposite en los intersticios de los empedrados, los minerales depositados entre los cuales existe oro, recuperando por bateado el metal amarillo.

**Challar:** Rito mágico-religioso realizado por los mineros del sur andino, para pagar a las divinidades andinas (Pacha-Mama, Wamanis), con la finalidad de evitar sus iras e invocar su protección para que no se produzcan derrumbes, se pierdan las vetas o que los minerales no de bajen su contenido metálico. Se conoce también como "Kintor" en el Norte y Pagapu en el Centro.

**Chanquiri:** Quechuismo peruano para designar a quien chanca o separa el mineral de la ganga.

**Chaqueta:** Nombre con el que, de ordinario, se conoce a los forros de las chancadoras y molinos; son intercambiables y algunas reversibles, de superficie corrugado o lisa. Están fabricados de acero al cromo o al manganeso, para hacerlos más resistentes y se sujetan directamente a la mandíbula o paredes internas del molino.

**Chotana:** Barretilla de dos puntas, una de ellas curva, utilizada para deshinchar, generalmente de 6 pies con diámetro de 7/8 de pulgada

**Chute o echadero:** En la explotación de una mina se hace necesario movilizar frecuentemente grandes cantidades de mineral y relleno, todo este material se hace pasar a través de unas labores que se llaman echaderos o chutes y consisten en chimeneas verticales o inclinadas que se comunican a los niveles inferiores que terminan en un dispositivo para el carguío del material a los carros. Un buen chute, debe reunir los siguientes requisitos: una duración de por lo menos la del tajeo en que se halla, tendencia mínima a obstruirse, bajo costo de construcción y, que sea adecuado a las condiciones de explotación del tajeo.

**Cianuro de sodio:** Producto químico altamente tóxico usado en la extracción de minerales de oro para disolver el oro y la plata.

**CIF & E:** Es abreviatura de "Cost Insurance, freight and Exchange". Es una modalidad de la cláusula CIF empleada por los Bancos Australianos en sus aperturas de créditos documentarios en libras esterlinas. Significa que el precio facturado por el exportador comprende los gastos que puede dar lugar el cambio y la negociación de su letra. Estos gastos facturanse como adicionales o extraordinarios.

**CIF:** Es abreviatura de Cost Insurance, freight que es igual a Costo Seguro y Flete. Esta mención va seguida del nombre del puerto de destino. Expresión utilizada en la cotización de precios, y significa que el precio se entiende mercancía puesta en puerto de destino, flete pagado y seguro cubierto

**Cinabrio:** Mineral de mercurio de color rojo muy intenso

**Circuito cerrado:** Acción interminable en el proceso de molienda que permite que una parte seleccionada del producto de una máquina retorne hacia la cabecera de máquina para su terminación según las especificaciones; entre los ejemplos comúnmente usados en las plantas de mineralización, están los molinos que funcionan en circuito cerrado con clasificadoras.

**Cizallamiento:** Deformación de rocas por movimiento lateral a lo largo de innumerables planos paralelos; generalmente, esa deformación es provocada por presión y produce estructuras metamórficas, como el clivaje y la equistosidad

**Clarificación:** Proceso de clarificar el agua sucia removiendo los materiales suspendidos.

**Clasificador:** Máquina procesadora de minerales que los clasifica de acuerdo con el tamaño y la densidad.

**Cizalla:** Instrumento a modo de tijeras para cortar planchas de metal, y por ampliación se aplica también a la cortadura o trozo de metal.

**Clivaje:** Es la propiedad física más importante que tienen los minerales, según la cual éstos se separan en láminas paralelas, siguiendo la dirección de caras cristalinas. Esta propiedad también es conocida con el nombre de EXFOLIACION.

**Cobre ampollado:** Producto del horno convertidor usado en la fundición de cobre. Forma bruta de cobre donde se ensaya aproximadamente 99% de cobre, requiriendo un mayor refinamiento antes de ser utilizado para fines industriales.

**Cobre de cementación:** Cobre que fue recuperado de la solución de sulfato de cobre en agua subterránea o agua del drenaje de mina por precipitación de hierro viejo. Este proceso es muy usado en Estados Unidos.

**Cobre de pórfido:** Depósitos de minerales de cobre diseminados en un yacimiento grande de pórfido.

**COM.-** Son las siglas del Certificado de Operación Minera. Este certificado se presenta a fin de cada año, para solicitar autorización de consumo de explosivos para el año siguiente. La Dirección de Fiscalización Minera (perteneciente al Ministerio de Energía y Minas) revisa la información presentada en las COMs y sobre la base de estándares preestablecidos, procede a dar el Visto Bueno (V°B°) para el uso de explosivos.

**Compás de Brunton:** Compás de bolsillo equipado con visores y un reflector, útil para alinear, medir el declive y llevar a cabo un levantamiento preliminar.

**Conducto de extracción:** Pozo abierto del cual se extrae el mineral; en particular, el lugar en que el mineral detonado es pasado hacia una labor subterránea antes de ser izado al exterior.

**Contracielo:** Excavación subterránea vertical o inclinada que fue realizada desde el fondo hacia arriba.

**Contenido Metálico:** Cantidad que expresa el peso total del uno ó varios metales en una cantidad determinada de producto. Se calcula multiplicado el tonelaje de un producto por su ley y se expresa en toneladas, onzas, gramos, etc., dependiendo del metal en cuestión.

**Cochizo:** Parte más rica de una mina.

**Concentración:** Proceso metalúrgico mediante el cual se elimina la ganga o material estéril obteniéndose el concentrado del mineral respectivo.

**Concentrado:** Mineral de alta ley, obtenido mediante diversos procesos físicos o químicos en plantas especialmente diseñadas para este fin. Las plantas de flotación procesan el mineral extraído de la mina, mediante cribado, chancado, molienda, adición de reactivos, flotación selectiva, filtrado y secado.

**Concentradora:** Normalmente se usa con el sujeto que es planta, y en ella se realizan los procesos de concentración de minerales. La operación consiste en separar el mineral de la ganga, elevando su contenido metálico.

**Concesión minera:** Derecho minero que otorga la facultad de explotar un determinado yacimiento minero, emerge de un título consentido —Resolución Jefatural-. Bien inmueble distinto del predio en el que se encuentra ubicado y es además un sólido de profundidad indefinida, limitado por planos verticales cuyos vértices están referidos a coordenadas UTM.

**Concreción:** Masa de mineral formado irregularmente dentro de otra roca. Acumulación o depósito irregular de varias partículas que se unen para formar masas.

**Contenido crítico:** Es el contenido mínimo en metal de una mena para el que todavía resulte económica la explotación de minerales. Estos valores varían de un lugar a otro y con el tiempo.

**Contratos mineros:** Acuerdos de derecho privado y de derecho público previstos en la Ley General de Minería, los cuales deben ser inscritos en el Registro Público de Minería para que generen efectos jurídicos frente al Estado y terceros. Son contratos de derecho privado: el contrato de cesión minera, de transferencia, hipoteca, prenda minera, riesgo compartido, societario, de derecho público: el Contrato de Estabilidad Tributaria.

**Convertidor:** Es un horno que se le carga hierro fundido o cobre, en el cual se le inyecta aire, cuyo oxígeno oxida el carbono y otras impurezas. El convertidor es soldado con chapas gruesas de acero y revestido por dentro con materiales refractarios.

**Coordenadas UTM:** (Universal Transversal Mercator). Coordenadas planas, empleadas por el Instituto Geográfico Nacional en la Carga Nacional.

**Corte de línea:** Senderos rectos abiertos en la vegetación para permitir un examen visual antes de ejecutar un levantamiento geofísico o de otro tipo.

**Corteza oceánica:** Parte sólida relativamente fina de la corteza terrestre que reviste los océanos.}

**Cromo:** Elemento metálico grisáceo encontrado en el mineral cromita.

**Coque:** Sustancia carbonácea que se obtiene de la calcinación de la hulla y que al quemarse produce mucho calor.

**Criba:** Instrumento de diferentes tamaños manual o aparato mecánico utilizado para clasificar partículas.

**Cuadrícula:** Unidad básica del petitorio de 100 hectáreas delimitada por coordenadas UTM.

**Cuarcita:** Roca metamórfica formada por transformación de roca arenisca por la acción del calor y presión.

**Cuarzo:** Mineral común que forma rocas y se compone de silicio y oxígeno.

**Cuarzo Bastardo:** Expresión usada por los buscadores de oro para indicar el cuarzo blanco estéril de granulometría gruesa.

**Cubierta:** Pared o roca situada en la parte superior de un filón o depósito de mineral.

**Curar:** Tratamiento inicial del mineral con una solución de cianuro, seguida de un período de reposo, utilizado en el proceso del "Heap Leaching". Sirve para el mejoramiento de la cinética de cianuración, aunque implica un mayor consumo de reactivos.

## D

**DAC.-** Corresponde a las siglas de la Declaración Anual Consolidada. La DAC se presenta generalmente el 30 de junio de cada año, la misma que contiene información respecto al año fiscal anterior concluido. Los formatos de las DAC son diseñados por la Dirección de Fiscalización Minera (perteneciente al Ministerio de Energía y Minas).

**Declive:** Talud empinado o inclinación acentuada que acompaña el margen de una meseta, mesa o terraza.

**Depósito marginal:** Yacimiento de mínimo aprovechamiento.

**Depósitos primarios:** Minerales depositados en la mina durante el período original (o en los períodos originales) de metalización, diferentes a los que se depositan como resultado de alteración o de la intemperie.

**Desanche:** Método de retirar mineral para formar una cavidad o cámara subterránea en un depósito de filones estrechos, primero es dinamitada la roca de respaldo a un lado del filón y después el mineral.

**Denuncio:** Se denomina así a la solicitud de Concesión Minera ante la autoridad, solicitando el otorgamiento de la concesión sobre un yacimiento minero. Su trámite se regía por el Dec. Leg. 109 y demás disposiciones anteriores. Es el derecho minero en trámite hasta la expedición del título correspondiente.

**Derecho de vigencia:** Obligación del concesionario minero que consiste en el pago de un tributo de periodicidad anual cuyo monto es directamente proporcional de hectáreas peticionales.

**Desarrollo:** Es la operación que se realiza para hacer posible la explotación del mineral contenido en un yacimiento.

**Desquinchar:** Acción de forzar el desprendimiento de rocas sueltas, especialmente en el techo de las labores mineras subterráneas, utilizando una barretilla, para evitar accidentes.

**Diabase:** Roca ígnea básica común normalmente encontrada en diques o en filones capas (sills).

**Diámetro del taladro "Db" (milímetros o pulgadas):** Es el diámetro del agujero que se va a perforar, y que tiene forma de cilindro alargado.

**Diamante:** El mineral más duro que existe, compuesto de carbono puro; los diamantes de baja calidad son utilizados para preparar las brocas que perforan la roca.

**Digestión:** Ataque de la amalgama de oro con ácido nítrico diluido, para eliminar el mercurio como sal (nitrato de mercurio) y obtener oro metálico en forma de esponja.

**Dilución:** Residuos de roca de bajo grado, inevitablemente retirados con el material en el proceso de mineralización, que contribuyen a bajar el grado de mineral.

**Diorita:** Roca ígnea intrusiva compuesta básicamente la plagioclasa sódica, blenda córnea, biotita o piroxeno.

**Dióxido de azufre:** Gas liberado durante la fundición de la mayoría de los minerales sulfurosos, es transformado en ácido sulfúrico o disperso en la atmósfera en forma de gas.

**Diseminado:** Cuerpo de mineral que aparece en forma de hilos que atraviesan la roca en todas direcciones, o bien como puntos o motas de mineral en la roca matriz. Los cuerpos diseminados generalmente son de baja ley y tienen grandes tonelajes en grandes extensiones.

**Dique:** Cuerpo extenso, relativamente estrecho, de roca ígnea, en estado fundido, intrusivo en una fisura de rocas más viejas.

**DISCAMEC.-** Corresponde a las siglas de Dirección General de Control de Servicios de la Seguridad y Control de Armas, Municiones y Explosivos de Uso Civil. La DISCAMEC pertenece al Ministerio del Interior. Tiene función administrativa y de control de uso de explosivos.

**Drift o migración glaciar:** Material sedimentario constituido por arcilla y piedras grandes que fueron transportadas por los glaciares.

**Dry:** Edificio donde el minero viste la ropa de trabajo.

## E

**El atacado:** Es usado en la parte sin carga superior del taladro y consiste de arena seca, detrito ó similares. El propósito del atacado es, por ejemplo, evitar que al momento de la detonación los gases se dirijan hacia arriba arrastrando partículas de roca alrededor del collar (boca) del taladro.

**Electrolito:** Llamado también conductor de segunda clase, son compuestos en solución que dejan pasar la corriente eléctrica. Pueden ser soluciones de ácidos o sales.

**Electrólisis:** Corriente eléctrica transmitida a través de una solución que contiene metales disueltos y hace que los metales se depositen en un cátodo.

**Elementos de tierras raras:** Minerales relativamente escasos entre los cuales están el escandio y el itrio.

**En echelon (en escalera):** -Término de geología usado para indicar la estructura geométrica de los minerales encontrados casi paralelamente o en zigzag.

**Encaje:** Palabra aplicada al enmaderado o al hormigón que cierra la entrada de un pozo de la mina; también es usada para indicar la parte superior del orificio de entrada del molino.

**Enriquecimiento secundario:** Enriquecimiento de un filón o depósito de mineral por minerales que fueron retirados de una parte del filón o de rocas adyacentes, puestos en solución y depositados en otro periodo posterior.

**Ensayo:** Prueba química a la que es sometida una muestra de minerales con la finalidad de determinar la cantidad de metal útil o precioso que contiene.

**Entibar:** Apuntalar con maderas las galerías, con fines de sostenimiento, a medida que se va extrayendo el mineral.

**Entibo:** Madero que en las minas se emplea para entibar.

**Epígenéticos:** Cuerpos de minerales formados por fluidos y gases hidrotérmicos que provienen de otros lugares y fueron introducidos en las rocas huéspedes o encajadas.

**Erosión:** Rotura y remoción subsiguiente de rocas o material superficial, originado por el viento, lluvia, acción de las olas, congelamiento y deshielo, o por otros mecanismos.

**Errático:** Comportamiento no estable del contenido de un metal en una muestra mineral, muy aplicado a los contenidos de oro.

**Esclusas:** Son medios de aislación de incendios subterráneos. Tiene como fin crear una depresión en la corriente entrante cerca de los objetos de cierre, y en la corriente saliente una compulsión, por lo que se corta de un canal de ventilación, unido al ventilador aspirante o impelente.

**Escoria:** Partes indeseables que se eliminan durante el proceso de fundición.

**Esfalerita:** Mineral de sulfuro de zinc (ZnS), es un mineral de zinc muy común.

**Espaciamiento "E", (metros):** Es la distancia entre dos taladros, uno junto a otro en la misma hilera de taladros.

**Espesador:** Tanque redondo y grande que se usa en las minas para separar sólidos y líquidos; el tanque deja transbordar un fluido claro y las partículas gruesas y pesadas se hunden.

**Estación:** Lugar amplio que está ubicado en los niveles de una mina considerados importantes, donde se detiene la jaula para transportar personal, equipos, materiales, etc.

**Estalactitas:** Son agregados cristalinos de formas tubulares irregulares, compuesta por cristales que irradian perpendicularmente de la línea central o eje, son más gruesas en un extremo que en el otro. Formadas por soluciones que gotean en el techo de las grutas o cavidades.

**Esquisto:** Roca metamórfica foliada cuyos granos tienen una disposición aproximadamente paralela, generalmente se desarrolla por cizallamiento.

**Esquisto arcilloso:** Roca sedimentaria formada por la consolidación de lodo mineral o sedimentos.

**Estación de carga:** Ensanche de un pozo hecho para almacenar y manipular el equipo y para cavar galerías a determinada elevación.

**Estalladura de roca:** Liberación violenta de energía que resulta de una falla repentina de la pared o de los pilares de la mina como consecuencia del peso o presión de las rocas circundantes.

**Estanque de residuos:** Expresión rasa que es usada para confirmar los residuos y tiene por función básica dar tiempo suficiente para que los metales pesados sedimenten o para que el cianuro sea destruido antes que el agua sea descargada en el tanque de drenaje.

**Estratificación:** Disposición de rocas sedimentarias en estratos o capas.

**Estría:** Características de los minerales que es determinada rayando un trozo de porcelana desvitrificada con una muestra de mineral.

**Estriado:** Ralladuras de relieve dejadas en las rocas por la aproximación de heladas.

**Estudio de impacto ambiental:** Informe en escrito que es recopilado antes de iniciar la operación minera, este estudio examina los efectos que tendrán las actividades mineras sobre las áreas circundantes naturales de una propiedad de exploración.

**Estudio de resistividad:** Técnicas geofísicas utilizada para medir la resistencia que una formación rocosa ofrece a una corriente eléctrica.

**Exfoliación:** Propiedad de muchos cristales de romperse según caras planas de posición simétrica definida.

**Exfoliación:** Término geológico práctico, que define una estructura por virtud de la cual la roca tiene la capacidad de partirse a lo largo de ciertas superficies paralelas, más fácilmente que a lo largo de todas las otras.

**Exploración:** Actividad minera tendiente a demostrar las dimensiones, posición, características mineralógicas, reservas y valores de los yacimientos mineros. (TUO).

**Explotación:** Desarrollo de las operaciones mineras en sí, de un yacimiento dado.

## F

**FOB:** Iniciales de Free on board — franco a bordo. Abreviaturas de uso generalizado en el comercio internacional, debe ir seguido del nombre del Puerto de Embarque. Se utiliza para cotizar precios y significa que la mercadería es puesta a bordo del barco, con todos los gastos, derechos, impuestos y riesgos a cargo del vendedor hasta el momento en que la mercancía ha pasado la borda del barco, flete y seguro de transporte excluidos.

**Fraccionamiento:** Separación o división del conjunto de cuadrículas solicitadas por existir superposición en alguna de ellas, que quiebre la colindancia entre las mismas. Pueden ser de oficio a solicitud de parte.

**Franja:** En las masas mineralizadas de gran potencia y extensión superficial, el mineral se arranca por secciones horizontales que se denominan fajas o franjas. Una franja puede tener un espesor de 1.8 a 8 metros.

**Factor de roca:** Número de metros cúbicos de un tipo particular de roca necesario para formar una tonelada de material. Una tonelada de mineral de alto tenor de silicio puede ocupar 0.40 metros cúbicos, mientras que una tonelada de mineral de sulfuro denso puede ocupar apenas 0.25 metros cúbicos.

**Falla:** Resquebrajadura en la corteza terrestre por fuerzas tectónicas, que separaron a la roca; las fallas pueden extenderse por muchos kilómetros o tener apenas algunos centímetros de longitud; análogamente, el movimiento o desplazamiento a lo largo de la falla puede variar enormemente.

**Fanerítico:** Término usado para indicar la textura de granulometría gruesa de ciertas rocas ígneas.

**Feldespatos:** Grupos de mineral que forman rocas, como la microclina, ortoclasa, plagioclasa y anortoclasa

**Ferroso:** Que contiene hierro.

**Fisura:** Grieta, rotura o fractura extensa en una roca.

**Flotación:** Proceso de mineralización por el cual se inducen partículas minerales para que se adhieran a burbujas y floten, mientras que otras son inducidas a hundirse obteniendo así la concentración y separación de los minerales de valor.

**Fluctuantes:** Piezas de rocas que se quebraron o movieron, separándose de la roca y apartándose del lugar de origen por la acción de fuerzas naturales, como heladas o efecto glacial.

**Fólsico:** Término que indica rocas de color claro que contienen feldespatos, feldespatoides y sílice.

**Fondo del filón:** Capa intrusiva de roca ígnea de un espesor más o menos uniforme; en general ocupa una extensión lateral considerable y es forzada a introducirse entre los planos de estratificación de la roca existente.

**Fundición:** Proceso que consiste en la separación de los metales contenidos en los concentrados minerales mediante el uso del calor.

**Fusión:** Paso de un cuerpo sólido al estado líquido por medio del calor.

## G

**Gabro:** Roca ígnea oscura de granos gruesos.

**Galena:** Mineral de sulfuro de plomo, es un mineral común de plomo.

**Galería de acceso:** Galería horizontal abierta al extremo de una montaña o colina para permitir el acceso al yacimiento. Generalmente es conocida como túnel.

**Gama:** Unidad de medida de intensidad magnética.

**Ganga:** Material inútil que envuelve y acompaña a los minerales. Compuesto por sílice, alúmina, óxidos de calcio y otros materiales durante el proceso de fusión constituyen la escoria, material estéril que se desecha.

**Grado de compactación de la carga de fondo (kg/dm<sup>3</sup>):** Es el peso del volumen del explosivo en el fondo de la carga.

**Geofísica:** Estudio de las propiedades físicas de rocas y minerales.

**Geología:** Ciencia que se ocupa del estudio de las rocas que componen la tierra.

**Geoquímica:** Estudio de las propiedades químicas de las rocas.

**Geotérmica:** Es la actividad orientada al aprovechamiento de la energía térmica proveniente de la corteza terrestre.

**Gneiss:** Roca metamórfica cristalina en capas cuyos granos se alinean en forma paralela.

**Granito:** Roca ígnea (intrusiva) de granos gruesos compuestos por cuarzos, feldespato y mica.

**Gringa, La:** Nombre que dan a las vetas auríferas de las minas del Sur medio.

**Guías:** Rieles de madera instalados a lo largo de las paredes de un pozo para dirigir o guiar la jaula o transporte.

## H

**Herramienta de diamante para perforación:** Tipo de herramienta de diamante giratoria para perforación de rocas en la cual el corte es realizado por abrasión y no por percusión. La broca cortante es montada con diamantes y acoplada a la extremidad de varillas cilíndricas largas y huecas, a través de las cuales se bombea agua hacia la faz que será cortada. La broca corta un núcleo de roca que es recuperado en forma de fajas cilíndricas y largas de 2 o más centímetros de diámetro.

**Horse/Masa de roca:** Masa de roca inútil que intercepta un filón o cuerpo mineral.

## I

**Ilmenita:** Mineral de titanio que es un óxido de hierro y titanio.

**Inclinación:** Angulo de inclinación de un filón, estructura o capa rocosa con el plano horizontal, medido en ángulo recto con la dirección del filón.

**Inclinación:** Angulo vertical que el yacimiento forma entre el plano horizontal en dirección

**Inclinación de taladro:** Los taladros en un banco pueden ser perforados verticalmente ó inclinados. Cuanto más se inclinen los taladros, menos constricción tendrán ya que el ángulo de deflección en el fondo aumenta con el incremento de inclinación

**Infiltración:** Término de hidrología, movimiento de agua de la superficie al interior del suelo. Infiltración es igual a la precipitación total menos la pérdida debido a la intercepción por la vegetación, retención en las depresiones sobre la superficie terrestre, evaporación de las superficies húmedas y escorrentía.

**Instalaciones:** Edificio o grupo de edificios así como los equipos incluidos en ellos, en el/los cual/es se ejecuta un proceso o una operación; en la mina, se incluyen los almacenes, el equipo de grúas, los compresores, los talleres de mantenimiento, las oficinas y la molienda o concentración.

**Interesado:** Persona natural o jurídica vinculada al procedimiento minero; o titular del derecho minero que ejercita sus derechos ante las autoridades mineras.

**Inversión Mínima:** Montos mínimos de capital a usarse anualmente, según las condiciones que indica la Ley, para poder mantener vigentes las concesiones o permisos que en ella se otorgan.

**Investigación básica:** Investigación científica relacionada exclusivamente con los principios científicos, en contraposición a la investigación científica aplicada, que se ocupa de las aplicaciones comerciales de dichos principios.

## J

**Jaula:** Es un compartimiento metálico especial, como la de un ascensor, que se desliza por las guías de madera del pique y está suspendido por un cable de acero accionado desde la casa de winche, se emplea para subir o bajar a los niveles transportando personal, equipos, materiales, etc.

## K

**Keewatina:** Series de rocas que contienen principalmente lava e incluyen ciertos sedimentos; es la unidad de rocas del período precámbrico reconocida como la más antigua.

## L

**Labor en escalones:** Excavación en una mina en la cual el mineral está siendo o fue extraído.

**Labor General:** Es toda labor minera que presta servicios auxiliares, tales como ventilación, desagüe, izaje o extracción a dos o más concesiones de distintos concesionarios.

**Laboreo:** Son los diversos métodos de extraer minerales, se diferencian según el sistema de arranque y la configuración del espacio vacío dejado por la explotación.

**Lama:** Cieno blando y suelto, pero pegajoso con contenidos metálicos mínimos. Igual que Lodo.

**Lamiar:** Roca pulimentada por la acción de los hielos, y también el lugar mismo.

**Laminador de varillas:** Cilindro giratorio de acero utiliza varillas para triturar el mineral.

**Lamprófiro:** Roca ígnea compuesta de minerales oscuros y encontrada en la forma de diques.

**Laque:** Zona donde abundan cristales de cuarzo. Término utilizado en la zona de Pasto Bueno, La Libertad.

**Lasca:** Forma larga y plana de fragmentos rocosos o piedras desprendidas.

**Laterita:** Suelo característico de las regiones tropicales, alternativamente húmedos de color rojizo o amarillento por el óxido de hierro que contiene. Es un suelo estéril y está cubierto a menudo de una costra ferruginosa.

**Lava:** Flujo rocoso en estado incandescente que asciende desde el interior de la tierra, recorriendo a veces grandes distancias –Roca formada al solidificarse el flujo incandescente.

**Lavado coronado:** Proceso que permite percolar metales valiosos (en general oro y plata) a partir de un montón o capa gruesa de mineral triturado usando soluciones de percolación que gotean a través del montón y son recogidas por un revestimiento impermeable que queda por debajo de la capa de mineral en posición inclinada. Es muy utilizada en el sudoeste estadounidense.

**Lechadeado:** Proceso de sellar un flujo de agua existente en la roca, forzando la entrada en las fisuras de una cierta cantidad de pasta de cemento inconsistente o de algún producto químico; en general, esto es ejecutado en una de las perforaciones hechas con herramienta de diamante.

**Lecho de roca firme:** Roca sólida que forma la corteza terrestre, frecuentemente está cubierta por tierra y agua.

**Légamo:** Cieno, lodo o barro pegajoso.- Parte arcillosa de la tierra de labor.

**Lenar:** Hendiduras de las calizas, están separadas por vivas aristas y formadas por la acción erosiva del agua carbónica.

**Lente:** Término usado generalmente para describir el cuerpo mineral que es grueso en el centro y que se afina hacia los extremos.

**Lenticular:** Depósito que tiene la forma aproximada de lentes doblemente convexas.

**Ley:** Es el contenido de un elemento valioso en una unidad de peso de la roca. La ley mineral es el promedio de peso equivalente de la sustancia mineral o del compuesto químico, referido a una unidad de peso o de medidas, es decir es una medida cuantitativa de lo que existe aprovechable en la roca al momento de extraerlo, es decir un porcentaje de lo que realmente va a dejar ganancia o rentabilidad en su extracción.

**Ley:** Es el parámetro que expresa la calidad de un mineral, un concentrado, o cualquier producto que contenga especies metálicas. Normalmente la ley se expresa en porcentajes cuando se trata de metales básicos Onzas por tonelada corta (oz./TC) o onzas por tonelada métrica (oz./TM) o gr./TM cuando se trata de oro, plata u otro metal precioso.

Es importante recordar que la ley expresa la cantidad de un metal (%Cu, oz. Ag/tcs).

**Licuación:** Hacer líquida una cosa sólida. En mineralogía, fundir un metal sin que se derritan las demás materias con las que se encuentra combinado a fin de separarlo de ellas.

**Lignito:** Carbón blando, negro parduzco y de baja graduación.

**Limonita:** Oxido de hierro hidratado de color marrón.

**Limpieza de la galería:** Acto de retirar pedazos sueltos de roca del techo y de las paredes de una galería subterránea; generalmente es realizada con una barra de desincrustación manual o con un martillo picador montado al brazo de la grúa.

**Línea divisoria:** Línea de referencia marcada en una propiedad, con estacas de madera o cemento, para realizar un levantamiento y mapeo.

**Lingotes de hierro:** Hierro bruto fundido que sale del alto horno.

**Liquidaciones:** En materia minera las liquidaciones son documentos de carácter provisional o final según sea el caso, y que acompañan a la factura de ventas como un sustento de la misma.

**Lixiviación:** Disolución de sustancias solubles de roca (especialmente la sal y el calcio). A veces origina en la superficie terrestre la formación de cavidades cerradas.

**Lixiviación biológica:** Proceso de recuperación de metales de minerales de bajo tenor que se basa en liberar una solución de los metales con auxilio de bacterias.

**Lixiviación o Cianuración:** Proceso químico de extracción de minerales valiosos de las respectivas minas; también indica un proceso natural en el que el agua del suelo disuelve los minerales de las rocas, dejándola con algunos minerales en proporción menor que al comienzo.

**Longitud del taladro "H", (metros):** Es el largo del hueco perforado, el mismo que por una causa de la inclinación y la sobre-perforación, será mas largo que la altura del banco.

**Lodo.-** Fragmentos de piedra proveniente del corte con herramientas de diamante para perforación en un agujero abierto en la roca; a veces son usados para análisis.

**Lodo.-** Sinónimo de Lama. Lodo Anódico residuo que se obtiene como consecuencia del proceso de refinación del cobre y el plomo.

**Llamear.-** Peruanismo de uso restricto y casi abandonado. Significa llamear, cavar, laborar con la azada.

## M

**Madurez orgánica.-** Proceso de convertir turba en carbón.

**Máfico.-** Roca ígnea compuesta principalmente de minerales oscuros y ricos en hierro y magnesio.

**Magma.-** Material derretido en las profundidades de la Tierra, formando las rocas.

**Magnetita.-** Mineral de hierro magnético consistente en óxido de hierro que, cuando es puro, contiene 72.4% de hierro.

**Magnetómetro.-** Instrumento utilizado para medir la atracción magnética de rocas subyacentes.

**Magnetómetro aéreo.-** Instrumento utilizado a bordo de un avión para medir la fuerza del campo magnético del local.

**Magnetómetro de cesio.-** Instrumento usado en geofísica que mide la fuerza del campo magnético en términos de gradiente vertical y del campo total.

**Magnetómetro de dirección.-** Instrumento de geofísica que sirve para indicar la dirección del campo magnético local.

**Magnetómetro de precisión de protones.-** Instrumento geofísico que mide la intensidad del cuerpo magnético en términos de gradiente vertical y del campo total.

**Maquila.-** Cobro por gastos de tratamiento que el comprador del concentrado deduce al productor minero, es variable de acuerdo al tipo y calidad de los concentrados.

**Mármol.-** Roca metamórfica proveniente de la cristalización del calcio por aplicación de calor y presión.

**Mata.-** Es la aleación que se forma de los minerales durante la fusión de las menas sulfuradas o concentrados. La obtención de la transformación de la misma para extraer los metales preciosos son las operaciones en la pirometalurgia del cobre y del níquel.

**Mate.-** Producto de fusión en alto horno; contiene metal y un poco de azufre y precisa ser más refinado para permitir la obtención del metal puro.

**Material excavado.-** Material o roca que fueron disgregados por detonación.

**Matriz:** Material que está contenido en la roca o en la ganga y contiene minerales.

**Mecánica de las rocas:** Estudio de las propiedades mecánicas de las rocas, que incluye condiciones de tensión alrededor de las galerías y la capacidad de las rocas, y de las estructuras subterráneas de soportar estas tensiones.

**Medidor de gravedad o gravímetro:** Instrumento para medir la atracción gravitacional de la tierra, la atracción gravitacional varía de acuerdo a la densidad de las rocas existentes en las proximidades.

**Metal base:** Cualquiera de los metales no preciosos (cobre, plomo, zinc, níquel y otros).

**Metal nativo:** Metal que se presenta en forma pura en la naturaleza.

**Metal refractario:** Mineral que resiste a la acción de agentes químicos en los procesos de tratamiento normal, que puede requerir disolución a presión u otros medios para recuperar totalmente los minerales preciosos.

**Metales refinados:** Son metales completamente puros que han pasado por todo el proceso de refinación.

**Metalurgia:** Proceso utilizado para extraer metales desde los respectivos minerales.

**Metamorfosis:** Proceso por medio del cual se modifica la forma o estructura de las rocas por el calor y la presión.

**Mena.-** Se denomina así a toda acumulación de mineral con contenido valioso recuperable por algún proceso metalúrgico.

**Mercurio.-** Metal blanco y brillante como la plata, líquido a la temperatura ordinaria y más pesada que el plomo. El cinabrio (HgS) una combinación con azufre es la mena del mercurio. El mercurio se utiliza ampliamente para la recuperación del oro de los lavaderos y en operaciones artesanales y semi-mecanizadas de yacimientos

primarios, mediante amalgamación. Es sinónimo de azogue y se solidifica a 39°C, su símbolo Hg, su número atómico 80, su peso atómico 200. 61.

**Mercurio cargado.-** Mercurio al que se le ha añadido oro en el orden de 0.10%, el cual no puede separarse por proceso de filtración, aumentando de este modo su poder de amalgamación a temperatura de ambiente.

**Merma.-** Se refiere a las pérdidas de concentrados de minerales, metales, etc., por manipulación y transporte a lo que se agrega el porcentaje de humedad. En la práctica, se considera aceptable una merma del orden del 4 por ciento.

**Metal.-** Cuerpo simple, dotado de un brillo particular llamado brillo metálico, buen conductor, en general, del calor y de la electricidad, y que posee además la propiedad de dar, en combinación con el oxígeno, por lo menos un óxido básico.

**Método de la ruta crítica.-** Técnica utilizada para identificar el conjunto de actividades que determinan el tiempo de ejecución de una obra o conjunto de obras.

**Mina.-**Explotación, a base de pozos, perforaciones y galerías o a cielo abierto, de un yacimiento mineral.

**Mineral probable.-** Es aquel cuya continuidad puede inferirse con algún riesgo, en base a las características geológicas conocidas de un yacimiento.

**Mineral probado.-** Es aquel que como consecuencia de las labores realizadas, de los muestreos obtenidos y de las características geológicas conocidas, no prevé riesgo de la discontinuidad.

**Mineral.-** Es todo compuesto químico inorgánico, que tiene propiedades particulares en cuyo origen no han intervenido los seres orgánicos, y se encuentran en lo interior o en la superficie de la tierra, tales como metales, piedras, etc.

**Minerales:** Cuerpos homogéneos de origen natural que componen la corteza terrestre sean fruto de combinaciones químicas o elementos.

**Minería:** Actividad desarrollada por el hombre para la extracción de productos minerales que se encuentran en la corteza terrestre y que tienen algún valor económico.

**Mineralogía:** Ciencia que se ocupa de la descripción y el análisis de los minerales, sus propiedades físicas y químicas, su forma, composición, origen, yacimientos; estudia asimismo las leyes que determinan dichas características.

**Milivoltio:** Medida de voltaje de una corriente eléctrica, específicamente un milésimo de voltio.

**Mina de superficie:** Mina a cielo abierto, casi siempre de carbón, que se mina retirando la sobrecarga, raspando la capa de carbón y después mojando la sobrecarga.

**Mineral de reposición:** Mineral formado por un proceso en el cual ciertos minerales entraron en solución y fueron llevados a gran distancia, mientras los minerales preciosos contenidos en la solución se depositaron en lugar de los que fueron retirados.

**Mineral metálico de fresado (concentrado):** Mineral metálico que contiene mineral de alto valor en cantidad suficiente para ser tratado en el proceso de fresado.

**Mineral metálico diseminado:** Contienen partículas pequeñas de metales valiosos y se esparce en forma más o menos uniforme en todo el material de ganga, es diferente al mineral metálico macizo, en el cual los minerales valiosos existen en forma casi sólida con muy poco material residual.

**Mineral metálico en estado natural:** Término vago que es usado para indicar un mineral de calidad media.

**Mineral metálico:** Mezcla de minerales y ganga de la cual es posible extraer y vender con ganancia al menos uno de los metales contenidos en él.

**Minerales industriales:** Minerales no metálicos y no combustibles utilizados en su estado natural en la industria química y manufacturera, estos minerales requieren cierto beneficio antes de su uso. Ejemplos: amianto, yeso, sal, grafito, mica, gava, piedra de construcción, entre otros.

**Molienda:** Etapa de reducción de tamaño posterior al chancado que utiliza los equipos denominados molinos (estructuras giratorias continuas).

**Molienda autógena:** Proceso de moles de un cilindro rotativo, utilizando fragmentos o pedazos naturalmente grandes del material que está siendo molido, en vez de usar las bolas o barras de acero cilíndricas convencionales.

**Molienda semiautógena:** Método de moler la roca para obtener un polvo fino; en ese método, los medios de molienda son pedazos mayores de las propias piedras y bolas de acero.

**Molino de bolas:** Cilíndrico de acero, conteniendo bolas de acero, a donde el mineral al triturarse se alimenta. Cuando el molino de bolas rota, las bolas de acero funcionan en cascada, triturando el mineral.

**Molino de cilindro tubular:** Aparato que consiste en un cilindro giratorio, lleno por la mitad de varillas y bolas de acero en el cual es introducido el mineral triturado para una molienda más fina.

**Morrena basal:** Desechos de rocas glaciares no clasificada expuestas en la base de la columna de tierra, donde entran en contacto con la carnada de roca inferior.

**Muestra:** Porción pequeña de roca o de depósito mineral, retirada de modo tal que el contenido de metal puede ser determinado por ensayo.

**Muestra de canal:** Muestra de 10cm. de ancho x 2 cm de profundidad extraída de una pequeña zanja o canal, compuesta por segmentos de filones o de depósito mineral.

**Muestra de material excavado:** Trozo de mineral representativo retirado de un apiñamiento de material excavado, con el fin de determinar su calidad.

**Muestra de techo:** Fragmentos de rocas extraídas de la capa del techo de una galería subterránea, para determinar el grado de calidad del mineral.

**Muestra del dique:** Minerales extraídos de las columnas de las vigas de la mina para determinar el contenido del metal.

**Muestra en bruto:** Muestra grande de mineralización, generalmente centenas de toneladas seleccionadas exponiendo el yacimiento en potencial. Se utiliza para determinar las características metalúrgicas.

**Muestra fortuita:** Muestra retirada al azar para analizar si la roca contiene elementos valiosos.

**Muestra fragmentada:** Método de calco de la exposición de una roca expuesta, donde se rompe una serie regular de astillas de la roca a o largo de una línea transversal, a la faz de ésta.

**Muestreo:** Selección de una parte fraccionada, sin embargo, muy representativa de un depósito mineral para someterlo a análisis.

---

# N

**Nanotesla:** Unidad de medida de la densidad de flujo magnético en el sistema internacional.

**Nivel:** Galerías horizontales de un frente de trabajo existente en una mina; es usual trabajar las minas desde un pozo, estableciendo niveles a intervalos regulares, generalmente con una separación de 50 metros o más.

**Norita:** Roca ígnea de textura granular que sirve de huésped para los depósitos de cobre y níquel de la región de sudbury (Ontario).

**Notas de romaneo:** Son documentos que acompañan al mineral cuando éstos son trasladados de un almacén a otro, siendo ambos de propiedad de la compañía minera.

**Nulidad.-** Declaración de la autoridad minera en caso de existir un error sustancial o formal, puede ser de oficio a solicitud de parte.

## O

**Oficiar.-** Envío de un documento oficial por la autoridad minera a una entidad del sector público o privado, solicitando información determinada de cuyo informe dependerá la tramitación de un derecho minero.

**Omisión.-** Incumplimiento de los requisitos legales previstos en el Art. 17 del D:S: 018-92-EM, concediendo la Ley un plazo de 10 días hábiles para su subsanación

**Oposición.-** Procedimiento administrativo formulado por una persona natural o jurídica que se considera afectada en su derecho.

**Oro en barra (Dore bar):** El producto final vendible de una mina de oro. En general consiste en oro y plata

**Oro fino:** La ley es la proporción de oro o plata, barras y lingotes de oro, expresada en partes por mil. Por ejemplo, oro ley 925 indica que hay 925 partes de 1000 ó 92.5%. una onza ley es una onza troy de 99.5% de oro y 0.5% de plata.

**Oro visible:** Oro nativo que se percibe a simple vista.

**Orogenia u orogénesis:** Proceso de formación de montañas por doblamiento de la corteza terrestre.

**Oro refogado.-** Oro metálico resultado de la eliminación del mercurio de una amalgama por acción del fuego, empleado generalmente sopletes.

**Oxidación:** Reacción química provocada por la exposición al oxígeno modificando la composición química de un mineral.

## P

**Padrón.-** Número correlativo con el cual se identificaba a las Concesiones al ser inscritas en el Padrón General de Concesiones Mineras.

**Pechblenda:** Mineral de uranio importante que contiene un alto porcentaje de óxido de uranio. Es de color negro posee un brillo característico, untuoso y parecido al alquitrán y es altamente radioactivo.

**Pedido Ímite:** Petición efectuada por el cliente a un corredor, para comprar o vender acciones por un precio especificado o mejor.

**Pegmatita:** Mineral de sulfuro de hierro y níquel.

**Pepita:** Masa pequeña de metal precioso encontrada libremente en la naturaleza.

**Perforación direccional:** Método de perforación utilizando estabilizadores y cuñas para dirigir la orientación del hoyo.

**Perforadora:** Agujereador hidráulico para perforar las rocas formando agujeros de diámetro pequeño destinados a la detonación o a la instalación de pernos de anclaje para la roca.

**Perforación giratoria:** Máquina que perfora hoyos girando un calibrador tubular y rígido de varillas cilíndricas, el cual está conectado a una broca. Usualmente, es utilizada para perforar barrenos de diámetro grande en las minas a cielo abierto.

**Perforación específica ó factor de perforación (m/m<sup>3</sup>):** Es la expresión usada para el número de metros que deben ser perforados por m<sup>3</sup> de roca volada.

**Peridotita:** Roca ígnea intrusiva compuesta básicamente de olivino.

**Período o era:** Una de las grandes divisiones del tiempo geológico, un ejemplo es el período precámbrico.

**Pequeño productor minero.-** Titular de petitorios y/o concesiones mineras hasta el límite de 5,000 Has. Y

con la capacidad de producción y/o beneficio establecida en el Art. 91 del D.S: 014-92-EM.

**Permiso de prospección.-** Es el que se otorga a los particulares en determinadas áreas del país para realizar la prospección y el cateo con carácter de exclusividad en dichas áreas.

**Petitorio.-** Solicitud escrita en la que el peticionario solicita el otorgamiento de una determinada área, la misma que es demarcada por coordenadas UTM.

**Piedra o distancia de menor resistencia "V" (metros):** Es la distancia perpendicular entre dos hileras adyacentes de taladros. Se mide en ángulo recto con la inclinación del taladro. En taladros inclinados no será, pues, igual a la distancia que puede ser medida sobre la superficie superior del banco.

**Pilar:** Bloque sólido de mineral o de roca dejado en un lugar para sostener la estructura del pozo, de las paredes o del techo de la mina.

**Pirita:** Sulfuro mineral muy común, amarillo y brillante, compuesto de hierro y azufre, es conocido como "oro de los tontos".

**Pirrorita:** Sulfuro de hierro mineral menos común que la pirita, magnético y de color bronce, en ocasiones aparece asociado a minerales de níquel.

**Pizarra:** Roca metamórfica, equivalente metamorfoseada del esquisto.

**Placas tectónicas:** Teoría geológica que sustenta que la corteza terrestre está formada por innumerables placas rígidas que chocan, se frotan y se apartan entre sí.

**Placer:** Depósito aluvional de arena y grava que contiene metales valiosos como oro, estaño y otros.

**Placer:** Minerales pesados en forma de granos, placas o pepas de diferentes formas y tamaños, que están depositados en las arenas, lechos de los ríos o fondos marinos o valles glaciales.

**Pliegue:** Cualquier dobladura o estría en las capas de una roca.

**Pliegue secundario:** Resultado de la deformación plástica de una unidad rocosa, cuando se dobla o inclina de nuevo sobre sí misma.

**Plugs:** Nombre común para designar a una pequeña rama colateral de un batolito mayor.

**Plutónicas:** Rocas de origen ígneo, que proviene de regiones profundas de la corteza terrestre.

**Polarización inducida:** Método de hacer el levantamiento geofísico del suelo utilizando una corriente eléctrica para determinar indicaciones de mineralización.

**Polvo.-** En las minas se denomina polvo al material sólido finamente fragmentado, que se encuentran en suspensión en el ambiente. Es de composición y concentración diversa, siendo generado en mayor o menor grado durante las operaciones mineras; constituye un peligro para la salud del trabajador expuesto al aire contaminado, produce una serie de enfermedades conocidas con el término genérico de neumoconiosis.

**Prospección.-** Investigación que se realiza para determinar áreas de posible mineralización, por medio de indicaciones químicas y físicas, medidas con instrumentos y técnicas de precisión. (TUO).

**Pórfido:** Roca ígnea que contiene cristales relativamente grandes y vistosos que se llaman fenocristales y están depositados en una matriz de granulometría fina.

**Pórfido de cuarzo:** Litología común en las minas de oro.

**Portal:** Entrada a galería o túnel situado en la superficie.

**Poste testigo:** Puesto de pertenencia situado donde sería la línea de división para tomar el lugar de un poste de demarcación que no puede ser colocado debido al terreno.

**Pozo ciego:** Pozo situado en el interior de la mina.

**Pozo de chimenea:** Mina de superficie, abierta a la luz del día como una cantera. También es conocida como mina a cielo abierto.

**Precipitación ácida:** Nieve y lluvia cuyo pH deriva de la presencia de los gases dióxido de azufre y óxido nítrico provenientes de la actividad industrial liberados en la atmósfera.

**Prospecto:** Propiedad minera que tiene un yacimiento cuyo valor aún no ha sido comprobado por la exploración.

**Pulpa.-** Mena o mineral que ha sido chancado y molido y se encuentra preparado con los reactivos listo para su proceso en las celdas de flotación.

**Punto de acarreo:** Apertura subterránea en el fondo de una labor escalonada por donde escurre el mineral fragmentado extraído.

## Q

**Quebradora de quijada:** Máquina que utiliza placas de acero para romper las rocas.

**Quebradora de cono:** Máquina que tritura el mineral entre un cono de trituración montado en forma excéntrica y un cono truncado fijo llamado tazón. Tiene mayor capacidad que la quebradora de quijada.

## R

**Radioactividad:** Propiedad de emitir espontáneamente rayos alfa, beta o gama por la descomposición de los núcleos de los átomos.

**Radio de concentración:** Se define como la relación entre el peso de mineral al peso del concentrado. Dicho de otra manera, el radio de concentración indica las toneladas de mineral de cabeza necesarias para producir una tonelada de concentrado. No tiene unidades.

**Ratificación.-** Advertida una contradicción en los datos señalados por el titular de derecho minero y los emitidos por el informe del área técnica, la autoridad ordena ratificarse.

**Reconocimiento:** Estudio preliminar del terreno.

**Reconocimiento de ensayo:** Vista general de un área con la finalidad de indicar los valores del análisis y la localización de todas las muestras extraídas de la propiedad o lugar.

**Reconocimiento de radones:** Técnica de investigación geoquímica que detecta vestigios de gas radón, producto de la radioactividad.

**Reconocimiento EM:** Método de reconocimiento geofísico que mide las propiedades electromagnéticas de las rocas.

**Reconocimiento geofísico:** Método científico de prospección que mide las propiedades físicas de las formaciones rocosas. Entre las propiedades físicas más investigadas están el magnetismo, la gravedad, la conductividad eléctrica y la radioactividad.

**Reconocimiento topográfico aéreo:** Estudio topográfico realizado desde un aeroplano con la finalidad de obtener fotografías o medir propiedades magnéticas, radioactividad, etc.

**Recuperación:** Porcentaje del metal valioso en el mineral que se recupera por tratamiento metalúrgico.

**Rechazar.-** Decisión de la autoridad minera que niega el ingreso a trámite del petitorio que omite identificar la cuadrículas solicitadas; o también cuando no se presentan los recibos de pago del derecho

de vigencia o de tramitación.

**Recurso de Revisión.-** Medio impugnatorio mediante el cual el interesado solicita que se anule o revoque una resolución emitida por el Jefe del R.P.M. o por el Jefe de Concesiones Mineras. La instancia administrativa que resuelve dicho recurso, es el Consejo de Minería.

**Reducción.-** Acto administrativa ordenado por la autoridad minera para que el pedimento posterior se reduzca respetando el área del derecho anterior dentro del plazo establecido por ley.

**Refinación.-** Proceso para purificar los metales de los productos obtenidos en los procedimientos metalúrgicos anteriores. En los casos en que de un proceso metalúrgico se obtiene directamente metales purificados, la autoridad minera calificará en cada caso si el proceso es de refinación o de metalurgia.

**Refinación electrolítica:** Proceso de refinación del metal por procesos electroquímicos en celdas de electro deposición.

**Regalías:** Cantidad de dinero pagado a intervalos regulares por el arrendatario u operador de una exploración o propiedad minera. Generalmente, se basa en un porcentaje de la producción total o de las ganancias. Puede considerarse también como la tasa pagada por el derecho de usar un proceso patentado.

**Registro:** Proceso de registrar las observaciones geológicas de perforación, podría ser impreso en papel, o grabado en disco de computadora.

**Relación de residuo:** Relación entre el número de toneladas retiradas como desecho y el número de toneladas de mineral retiradas de una mina a cielo abierto.

**Relave.-**Material estéril que se obtiene durante el proceso de flotación de los minerales.

**Relleno:** Desecho de roca utilizado para rellenar el vacío que se forma al extraer un cuerpo mineral.

**Remontaje:** Elevación o abertura corta situada encima de una galería de avance con la finalidad de extraer el mineral de una ladera o permitir acceso a la mina.

**Resbaladero:** Abertura hecha generalmente de madera y equipada con una puerta por la cual el mineral es retirado de un salón elevado hacía los carritos de la mina.

**Reserva detonada:** Cantidad de mineral de una mina que fue fragmentada por detonación, pero aún no transportado hacia la superficie.

**Reservas indicadas para perforación:** Se refiere a la cantidad y a la calidad de un yacimiento mineral sugeridas en forma de agujeros hechos con mecha y separados por espacios grandes; es necesario investigar en mayor profundidad antes de poder clasificar las reservas como problemas o probadas.

**Residuos (escoria):** Material rechazado de la mina después de la extracción de la mayor parte de los minerales valiosos.

**Respaldo bajo:** Pared o roca situada debajo de un filón o de una estructura de mineral.

**Retirar la cobertura:** Retirar la piedra en exceso inútil que va siendo depositada en un yacimiento, dejándola preparada para mineralización a cielo abierto.

**Renuncia.-** Acto jurídico de carácter unilateral mediante el cual el titular renuncia a una parte o a la totalidad del área solicitada, cumpliendo con los requisitos establecidos por ley.

**Reservas de mineral.-** Se llama reserva de mineral de una mina a la suma de mineral probado y probable existente en ella, que sea económicamente explotable.

**Residuo anódico.-** Desechos que se obtienen de los ánodos mediante el proceso de refinación, contiene otros metales preciosos, como oro y plata en el caso de la refinación del cobre y plomo.

**Reverbero.-** Horno que se utiliza en las fundiciones para fundir minerales, a fin de separar la mata de la escoria.

**Riolita:** Roca ígnea de grano fino (extrusiva) que tiene la misma composición química del granito.

**Roca:** Cualquier combinación natural de minerales, las rocas forman parte de la corteza terrestre.

**Roca ácida:** En general, esta expresión se refiere a una roca ígnea que contiene un alto porcentaje de sílice (mayor de 65%).

**Roca intermedia:** Roca ígnea que contiene entre un 52% y un 65% de cuarzo.

**Roca intrusiva:** Roca ígnea formada por la consolidación del magma incrustado en otras rocas, en contraste con la lava (rocas ígneas efusivas) que se expulsa hacia la superficie terrestre.

**Rocas básicas:** Rocas ígneas con bajo grado de sílice, compuestas principalmente de minerales de color oscuro.

**Rocas de respaldo:** Unidades rocosas situadas a ambos lados de un yacimiento. Rocas del techo y las del piso de yacimiento.

**Rocas encajantes:** Rocas que rodean un depósito de mineral.

**Rocas ígneas:** Rocas formadas por la solidificación de material fundido que tuvo origen en el interior de la tierra.

**Rocas metamórficas:** Rocas que han sufrido un cambio de textura o composición a consecuencia de calor y presión.

**Rocas sedimentarias:** Rocas secundarias que se formaron a partir de materiales provenientes de otras rocas depositadas debajo del agua. Ejemplo calcáreo, esquistos arcilloso y arenisca entre otros.

**Rocas subterráneas:** Masa de rocas formadas por materia subyacente o más antigua. Generalmente, esa expresión se refiere a las rocas de período precámbrico que pueden ser cubiertas por rocas más jóvenes.

**Rocas volcánicas:** Rocas ígneas formadas del magma que fluyó hacia fuera o fue lanzado violentamente desde un volcán.

**Roldana:** Rueda grande con canaletas en la parte superior de un caballete de extracción sobre el cual pasa la cuerda de elevación.

## S

**Salón cautivo:** Salón que sólo puede ser alcanzado por una galería de acceso para el personal.

**Saturación.-**Término de uso meteorológico, definido como la condición en que la presión ejercida por el vapor de agua es igual a la máxima presión posible del vapor a la temperatura prevaleciente.

**Sedimentos:** Depósitos no consolidados de sedimentos finos que se encuentran generalmente en el fondo de los lagos.

**Segregación del magma:** Proceso de formación de una mina en la cual los minerales valiosos que tienen susceptibilidad magnética son concentrados por deposición a partir de un magma enfriado.

**Senilo:** Roca ígnea intrusiva que se compone principalmente de ortoclasa.

**Serpentina:** Mineral metamórfico verdoso que se compone de silicato de magnesio.

**Shiel:** Máquina usada para excavar un túnel en la tierra o en la roca, utilizando medios mecánicos en lugar de perforación o detonación.

**Siderita:** Espato de hierro que, cuando es puro contiene el 48.2% de hierro debe ser calcinada en el alto horno, antes de ser usada para eliminar el dióxido de carbono. (El producto calcinado de llama sinter).

**Sílice:** Oxido de silicio, el más conocido es el cuarzo.

**Silicoso:** Roca que contiene cuarzo en abundancia.

**Silvita:** Principal mineral de potasio (KCl)

**Sinclinal:** Pliegue arqueado en bajada que aparece en las rocas estratificadas.

**Singénético:** Término usado para indicar cuando se formó la mineralización en un depósito con las rocas huéspedes o rocas encajantes, en las cuales el mineral es encontrado. En este caso, la mineralización se formó al mismo tiempo que las rocas huéspedes o rocas encajantes (el opuesto es epigenético).

**Sinter:** Partículas de hierro muy finas que fueron tratadas con calor para alimentar al alto horno.

**Sistemas especializados:** Software que reducen al mínimo los procesos de razonamiento de un especialista humano.

**Slash:** Proceso de detonar la roca partiendo de un costado de una galería subterránea a fin de ensanchar la galería.

**Sombrero de hierro:** Revestimiento o mancha oxidada de color del hierro que se ve en un depósito mineral, generalmente formado por oxidación o modificación de sulfatos de hierro.

**Sondeo:** Reconocimiento, ensayos, mapeamiento, perforación con la sonda, y otros trabajos necesarios en la búsqueda de un mineral.

**Stock de materia prima:** Mineral fragmentado y amontonado en la superficie a la espera del tratamiento o del embarque.

**Sobre-perforación "U", (metros):** Es el exceso de longitud de un taladro, situado bajo el fondo teórico del banco.

**Sub-bituminoso:** Carbón negro intermedio entre el lignito y el carbón bituminoso.

**Subnivel:** Nivel u horizonte de trabajo situado entre los niveles de trabajo principales.

**Sublimación.-** Término químico que se emplea con bastante frecuencia en la meteorología. Es la transición de una sustancia directamente del sólido al estado de vapor, o viceversa pero sin pasar por su estado líquido.

**Subproducto:** Metal o producto mineral secundario recuperado en el proceso de molienda.

**Sustancia.-** Mineral económicamente explotable. Clases: Metálicos y no Metálicos.

**Sulfuro:** Compuesto de azufre y algún otro elemento.

**Susceptibilidad magnética:** Medida del grado de atracción de la roca por un imán.

## T

**Taconita:** Mineral de hierro extremadamente abrasivo.

**Tactita:** Palabra usada para indicar las rocas metamórficas que rodean una roca ígnea intrusiva en el lugar en que ésta entra en contacto con una formación rocosa de cal o dolomita.

**Talud detrítico:** Montón o pila de roca o mineral fragmentado y colocado en la superficie.

**Talus:** Montón de fragmentos de piedras de tamaño medio encontrado en la base de un despeñadero o de una montaña.

**Tarjeta de la operación.-** Una forma en que se resumen la secuencia de operaciones, el tiempo asignado y las herramientas especiales que se requieren para fabricar una pieza.

**Techo:** Techo o bóveda de una galería subterránea.

**Telururo:** Compuesto químico formado de telurio y otro elemento, generalmente oro o plata.

**Tepetate:** Roca mineralizada o no, que no es mineral.

**Tercerización:** Ensayos hechos por terceros para proveer una base para cerrar disputas entre compradores y vendedores de minerales.

**Tiro:** Excavación vertical o inclinada ejecutada en la roca con la finalidad de permitir el acceso a un yacimiento. Normalmente es equipado con una malacate en la parte superior que baja y levanta un dispositivo para transportar los mineros y los materiales.

**Título:** Documento público que contiene el derecho minero concedido por la autoridad minera y que deriva de un acto administrativo formal y consentido: La Resolución Jefatural.

**Tobera:** Abertura por donde se inyecta el aire en un horno o forja. Parte de un motor de reacción que sirve para la expansión del gas de combustión.

**Tonelada estadounidense:** 2.000 libras (avoirdupois) o 907 Kg.

**Tonelada inglesa:** Equivale a 2.240 libras (avoirdupois) (comparado con la tonelada americana equivale a 2.000 libras).

**Toneladas por metro vertical:** Unidad común usada para indicar la cantidad de mineral que hay en un depósito, multiplicando la altura de mineral por el ancho y dividiendo el resultado por el factor de roca apropiado, se tiene la cantidad de mineral por metro vertical de profundidad.

**Túnel:** Galería subterránea grande abierta artificialmente a través de un monte, por debajo de un río u otro obstáculo.

**Trueque:** Finanzas o provisiones de alimento u otras necesidades entregadas a un minero o catador de minas, a cambio de una participación en cualquier descubrimiento realizado.

## U

**U.E.A.-** Son las siglas de Unidad Económica Administrativa. El agrupamiento de concesiones mineras constituye una unidad económica administrativa.

## V

**Valor sin corte:** Valor real del ensayo de una muestra, contrariamente al valor neto, que fue deducido por alguna fórmula arbitraria.

**Valor bruto:** Valor teórico de mineral determinado por la simple aplicación del resultado del ensayo del metal (o metales) y del precio actual del mercado, representa el valor total de los metales contenidos en el mineral antes de descontarse los costos de dilución, pérdidas, recuperación en la molienda, mineralización, fusión y otros; solamente debe ser utilizado con cautela y después de una consideración bien analizada.

**Venta en descubierto:** Préstamo de acciones de un corredor para venderlas con la esperanza de poder comprarlas más tarde por un precio menor.

**Vestuario del personal:** Edificio especial que es construido en el lugar de la mina y sirve para que los mineros se cambien de ropa; en inglés se suele llamar dry.

**Veta:** Fisura, falla o rajadura de una roca llena de minerales que migraron hacia arriba, proveniente de alguna fuente profunda.

**Vetas:** Cuerpos de mineral en forma alargada, limitados por planos irregulares de rocas denominadas "cajas". Generalmente una veta es muy parada o vertical. Cuando la veta aparece tendida o echada en el Perú se le llama "manto".

**Veta o filón:** Depósito de mineral con una roca sólida.

**Veta provechosa:** Parte o segmento de veta u otra estructura del mineral valioso transportado en suficiente cantidad para ser extraído con ganancias.

**Veta provechosa:** Una concentración de valores minerales, es la parte de la veta o zona que contiene gran cantidad de grado mineral.

**Volcados:** Lechos sedimentarios que fueron deformados de tal modo que los lechos más antiguos están por encima de los lechos más recientes.

**Voladura de bancos:** La voladura de bancos es el método predominante, tanto para minas a cielo abierto, así como también para los diferentes trabajos de ingeniería civil. Además es aplicado, aunque en menor proporción, en trabajos subterráneos.

**Vulcanogénico:** Término utilizado para indicar el origen volcánico de la formación de minerales.

## X

**Xenófilo:** Fragmento de roca de composición diferente a la composición de la roca encajante, que es una roca ígnea.

## Y

**Yacimiento.-** Es un lugar donde se encuentra un fósil o un mineral. Normalmente se restringe al sentido de yacimiento, identificándolo con el yacimiento metalífero entendiéndose por ello toda acumulación o concentración de una o más sustancias útiles que pueden ser explotadas económicamente.

**Yeso:** Roca sedimentaria consistente en sulfato de calcio hidratado.

## Z

**Zanja:** Excavación larga y estrecha realizada en la sobrecarga u obtenida por detonación de la roca para exponer un filón u otra estructura.

**Zinc comercial:** El zinc del comercio, más o menos impuro, extraído del metal fundido en placas o lingotes.

**Zona:** Área de una mineralización bien definida.

**Zona de cizallamiento:** Zona donde se produjo cizallamiento en gran escala.

**Zona de oxidación:** Parte superior de un yacimiento que fue oxidada.

**Zona de piedra verde:** Término utilizado en el campo para describir cualquier roca volcánica verdosa y de grano fino; se aplica principalmente a la andesita.

## **TERMINOS RELATIVOS A COSTOS – ASPECTOS FINANCIEROS**

**Análisis de regresión.-** Una técnica estadística que se puede usar para estimar la relación entre el costo y la producción.

**Capacidad ociosa.-** Son las instalaciones de producción o distribución no utilizadas temporalmente.

**Contabilidad de costos.-** Se relaciona básicamente con la acumulación y el análisis de la información de costos para uso interno, con el fin de ayudar a la gerencia en la planeación, el control y la toma de decisiones.

**Costo.-** Los beneficios sacrificados para adquirir bienes y servicios. El valor del sacrificio hecho para adquirir bienes o servicios.

**Costos Administrativos.-** Los que se incurren en la dirección, el control y la operación de una empresa.

**Costo controlable.-** Es un costo sobre el que un jefe de un departamento puede ejercer influencia con relación a la cantidad gastada. Costos sobre los cuales pueden ejercer influencia directa los gerentes en un período dado.

**Costo de artículos vendidos.-** Representa la parte de los costos incurridos en el proceso de producción que fueron asignados durante un periodo a los artículos vendidos.

**Costos de conversión.-** Aquel costos incurridos en la transformación de los materiales directos en artículos terminados.

**Costo de oportunidad.-** El valor medible de los beneficios que pudiera ser obtenido al escoger un curso de acción alterno. Beneficios perdidos al descartar la siguiente mejor alternativa.

**Costos del período.-** Los costos no relacionados con la manufactura de un producto.

**Costos del producto.-** Los costos de producción incurridos en la manufactura de un producto.

**Costos directos.-** Los costos que la gerencia es capaz de asociar con artículos o áreas específicos.

**Costos Estándar.-** El costo por unidad, en que debería incurrirse en un proceso particular.

**Costos evitables.-** Costos que se pueden eliminar si se cambia o suspende alguna actividad económica.

**Costos fijos.-** Aquellos costos cuyo total permanece constante en un nivel dado de producción, mientras que el costo unitario varía con la producción.

**Costos indirectos.-** Costos que son comunes a muchos artículos y que por lo tanto son directamente asociables a un artículo o área específico.

**Costos indirectos de fabricación.-** Incluye todos los costos de manufactura distintos de materiales directos y mano de obra directa (los gastos de ventas, generales y de administración son costos del período y no se incluyen en los costos indirectos de fabricación) Se usa para acumular los materiales indirectos, la mano de obra indirecta y todos los otros costos indirectos de manufactura, tanto de costos indirectos fijos como de variables.

**Costo no controlable.-** Son los costos asignados a un departamento o centro de costo que no son incurridos o controlados por el jefe del departamento. Ejemplo de ellos son los costos del departamento de servicio u otros, controlados por un nivel más alto de la gerencia. Costos que no están directamente regulados por un determinado nivel de la autoridad gerencial.

**Costos presupuestados.-** El total de costos que se espera incurran durante un determinado período.

**Costos primos.-** Aquellos costos directamente relacionados con la producción de un artículo, aquellos costos directamente relacionados con la fabricación del producto.

**Costos totales.-** Es la suma de los costos fijos más los costos variables en un volumen dado.

**Costos variables.-** Aquellos costos que varían en su total, en proporción directa a los cambios en el volumen y cuyo costo unitario permanece constante dentro del rango relevante.

**Costo de mano de obra.-** Es el precio pagado por usar recursos humanos.

**Costos de pensiones.-** Son las cantidades con que el patrono contribuye a los beneficios de retiro de los empleados.

**Costeo directo.-** Es el método de costeo bajo el que sólo los costos que tienden a variar con el volumen de producción se cargan a los costos del producto.

**Costeo Estándar.-** Todos los costos fijos a los productos, que se basan en cifras estándar o predeterminadas.

**Costeo por órdenes de trabajo.-** Método de acumulación y distribución de costo por órdenes de producción.

**Costeo por procesos.-** El sistema de acumulación de costos de producto de acuerdo al departamento, centro de costos o procedimiento utilizado cuando un producto se fabrica mediante un proceso de producción masiva o un proceso continuo.

**Costeo promedio ponderado.-** Es un método de costeo por el cual los costos de trabajo en proceso inicial se agregan a los costos del período corriente y el total se divide por la producción equivalente para obtener el costo unitario. Los costos asociados con las unidades aún en proceso pierden su identidad por causa de la fusión. El inventario inicial se trata como si fueran costos del período actual. No hay distinción entre unidades terminadas y trabajo en proceso inicial.

**Costeo según las primeras en entrar, primeras en salir (PEPS).** — Es un método de costeo por el cual las unidades en el inventario inicial se reportan separadamente de las unidades para el actual período. En él se supone que las unidades de trabajo en proceso se terminaron antes de que se terminaran las unidades iniciales en este período. Los costos asociados con las unidades iniciales en proceso se separan de los costos de las unidades iniciadas y terminadas durante el período. Como secuencia de la separación, hay dos cifras del costo por unidad terminada.

**Gasto.-** Un costo que ha producido un beneficio y ahora ha expirado.

**Gastos de capital.-** Los costos que benefician más de un período.

**Mano de obra directa.-** Toda a mano de obra directamente relacionada con la producción de un artículo terminado, que pueda fácilmente ser identificada en el producto y que representa el principal costo de mano de obra en la producción del bien.

**Mano de obra indirecta.-** La mano de obra usada en la producción de un producto que no es considerado como mano de obra directa.

**Margen de contribución.-** Son las ventas menos los costos de manufactura variables, de ventas y administración.

**Materiales directos.-** Todos los materiales usados directamente en la producción de un producto terminado, que puede fácilmente ser identificada en el producto, y que representa el principal costo de material en la producción del bien.

**Materiales indirectos.-** Todos los materiales involucrados en la fabricación de un producto, que no se consideran materiales directos.

**Pérdida.-** El costo de los artículos o servicios que fueron comprados y perdieron su valor sin haber prestado ningún beneficio.

**Presupuesto.-** Es la expresión cuantitativa de los objetivos de la gerencia y un medio de control del avance hacia esos objetivos.

**Pronóstico de ventas.-** El volumen estimado de ventas base para preparar los presupuestos de ventas, producción y de financiamiento para un período dado.