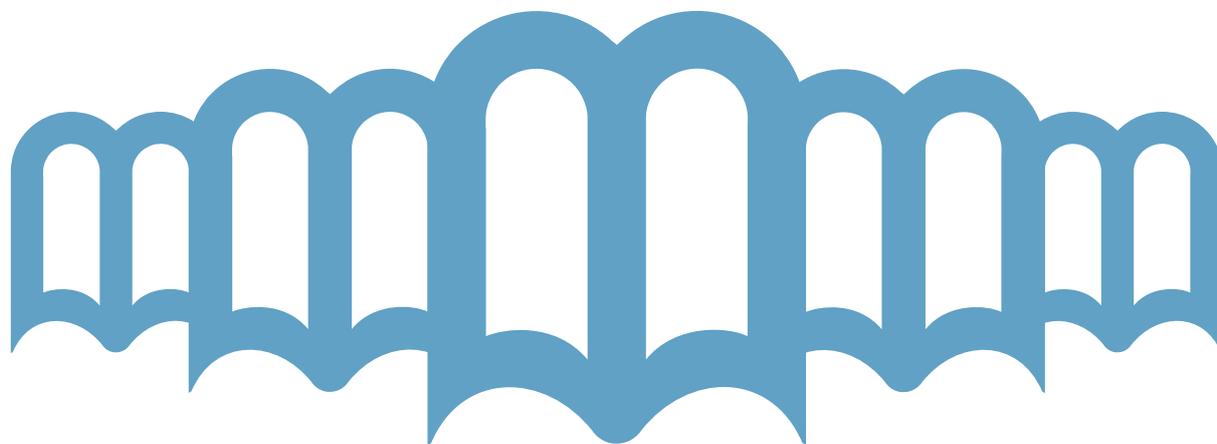


**MONOGRAFIA**



## **TECNOLOGIA DE EXPLOTACION DE LOS YACIMIENTOS**

Dra.C. Maday Cartaya Pire

Dr.C. José Otaño Noguel

Dr.C. Armando Cuesta Recio

Dr.C. Yoandro Dieguez García

## Página legal

Título de la obra: Tecnología de explotación de los yacimientos, 202pp.  
Editorial Digital Universitaria de Moa, año.2018 -- ISBN:

1. Autor: Dra.C. Maday Cartaya Pire  
Dr.C. José Otaño Noguel  
Dr.C. Armando Cuesta Recio  
Dr.C. Yoandro Dieguez García

2. Institución: Instituto Superior Minero Metalúrgico " Dr. Antonio Núñez Jiménez "

Edición: Lic. Liliana Rojas Hidalgo  
Corrección: Lic. Liliana Rojas Hidalgo  
Digitalización. Lic. Liliana Rojas Hidalgo



Institución de los autores: ISMM " Dr. Antonio Núñez Jiménez "  
Editorial Digital Universitaria de Moa, año 2018

La Editorial Digital Universitaria de Moa publica bajo licencia Creative Commons de tipo Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas.

La licencia completa puede consultarse en:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>  
Editorial Digital Universitaria  
Instituto Superior Minero Metalúrgico  
Ave Calixto García Íñiguez # 75, Rpto Caribe Moa 83329, Holguín Cuba  
e-mail: [edum@ismm.edu.cu](mailto:edum@ismm.edu.cu)  
Sitio Web: <http://edum.ismm.edu.cu>

# TECNOLOGÍA DE EXPLOTACION DE LOS YACIMIENTOS

Dra. C. Maday Cartaya Pire

Dr. C. José Otaño Noguel

Dr. C. Armando Cuesta Recio

Dr. C. Yoandro Dieguez García

## INDICE

Partes		Página
	<b>INTRODUCCIÓN</b>	4
<b>PARTE I.</b>	<b>EL DESARROLLO DE LAS MINAS Y AVANCE DE LOS FRENTES DE TRABAJO.</b>	6
I.1.	Algunos Conceptos básicos durante las etapas de explotación.	8
I.2.	Principales períodos de trabajo en la minería a cielo abierto.	19
I.3.	Esencia de los trabajos a cielo abierto.	31
I.4.	Condiciones geológicas de los trabajos mineros.	33
I.5.	Conceptos sobre los coeficientes de destape.	42
I.6.	Procesos productivos en los trabajos a cielo abierto.	47
<b>PARTE II.</b>	<b>APERTURA, PREPACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LOS CAMPOS DE MINAS Y NUEVOS HORIZONTES A CIELO ABIERTO.</b>	50
II.1.	Clasificación de los sistemas de apertura en las minas a cielo abierto.	50
II.2.	Elementos y parámetros de las trincheras.	51
II.3.	Métodos de laboreo de trincheras.	61
II.3.1.	Laboreo de trincheras con transporte ferroviario a toda su profundidad.	61
II.3.2.	Laboreo de trincheras por capas con transporte ferroviario.	64
II.3.3.	Laboreo de trincheras con transporte automotor a toda la altura del escalón.	66
II.3.4.	Métodos de laboreo sin utilización de transporte.	69
II.4.	Gráfico de organización de los trabajos de apertura y preparación de nuevos horizontes.	71
II.4.1.	Apertura con trincheras sucesivas interiores.	76
II.4.2.	Apertura con sistema de trincheras cerradas interiores.	82
II.5	<b>PREPARACION DE LAS ROCAS PARA SU EXTRACCIÓN A CIELO ABIERTO.</b>	88
II.5.1.	Generalidades sobre la preparación de las rocas para su extracción.	88

II.5.2	Formación de Escombreras.	91
II.5. 2.1.	Tecnología de laboreo de escombreras con excavadoras.	104
II.5.2.2	Tecnología del laboreo de escombreras con bulldozer.	110
II .6	SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO, PRINCIPALES ELEMENTOS, INDICES Y PARAMETROS.	117
II.6.1.	Generalidades y principales elementos del sistema de explotación.	117
III.6.2.	Clasificación de los sistemas de explotación, concepto de régimen y etapas de los trabajos mineros.	120
II.6.2.1.	Concepto de flujos de carga y circulación de carga en las canteras.	122
II.6.3.	Zona laboral de la cantera.	124
II.6.4.	Sistemas de explotación y sus clasificaciones.	126
<b>PARTE III.</b>	<b>APERTURA, PREPACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS PARA SU EXPLOTACION POR EL MODO SUBTERRANEO.</b>	136
III.1.	<b>Principales tipos excavaciones subterráneas.</b>	136
III.2.	Tipos de excavaciones y requisitos de seguridad.	139
III.3.	Clasificación de los esquemas de apertura según el tipo de excavación y su posición con respecto al cuerpo mineral.	144
III.3.1.	Evaluación comparativa de los métodos de apertura.	158
III.4.	NOCIONES FUNDAMENTALES DE LA PREPARACIÓN SUBTERRÁNEA.	159
III.4.1.	Esquemas de preparación.	161
III.4.2.	Elección del esquema de preparación.	167
III.5.	ELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN POR EL MODO SUBTERRANEO.	169
III.5.1.	Metodologías para la elección del Método de Explotación.	172
III.5.2.	Clasificación de los métodos o Sistemas de Explotación para yacimiento metalíferos dada por M. Agoshkov.	175
III.5.3.	Clasificación de los métodos o sistemas de explotación para yacimiento metalíferos dada por la clasificación Norteamérica. (M.L. Jeremic).	178
III.6.	Ejemplos de algunos métodos de explotación subterránea.	181
III.7.	Características generales del método de explotación subterráneo.	197
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	200

## INTRODUCCIÓN

La mina más antigua que se conoce en el mundo se localiza en el Cerro de Bomvu, en Swazilandia, y data del año 40.000 a.c, en ella el hombre de Neandertal, minaba hematita para ritos mortuorios (López Jimeno.1998). Resulta impresionante la tremenda perseverancia y desprecio por el riesgo que mostró el hombre desde los orígenes de la historia en sus intentos de perforar la tierra. Partió inicialmente, solo de sus propias manos y poco a poco confeccionó herramientas, rudimentarios martillos, picos, cinceles. Si a esta absoluta precariedad de utensilios de trabajo añadimos los elementales procedimientos de entibación empleados y la ausencia de sistemas de ventilación y evaluación o pronóstico de estabilidad de las obras, comprobamos que la minería implicaba en la antigüedad una formidable, enorme y sacrificada labor.

En la actualidad se puede decir que la explotación de yacimientos minerales posee un desarrollo ascendente que cuenta con novedosas tecnologías de explotación que permiten la extracción económicamente rentable y segura de los minerales útiles de las entrañas de la tierra. Por tanto, es evidente que la minería constituye la base de la economía en la mayoría de los países, por lo que es necesario el desarrollo planificado y el crecimiento de esta industria extractiva, de la cual se obtienen las materias primas minerales y los materiales de construcción necesarios para el desarrollo económico y social.

Los proyectos desarrollados en la minería deben responder en todas sus etapas al aprovechamiento racional y a la extracción segura de las materias primas minerales necesarias para la industria, que contempla desde la prospección, exploración, explotación, beneficio, transformación, infraestructura, mercado, negociación, así como la investigación y transferencia de tecnología asociados a ellas. Para garantizar esto se requiere de la aplicación de los métodos científicos de investigación en cada uno de los procesos productivos desarrollados en la minería, afiliados a la técnica indisolublemente ligada a la tecnología.

La extracción de materias primas y materiales, demanda de una adecuada tecnología de laboreo, así como el perfeccionamiento de ésta cuando sea necesario. Para ello se emplean métodos y técnicas, enmarcadas en la disciplina de Explotación Minera.

La explotación de los yacimientos minerales contempla una serie de etapas y procesos cuyo estudio constituye el objeto de la minería, tales como; destape, apertura o acceso, arranque; sostenimiento (fortificación), carga y transporte, perforación y voladuras, ventilación, ordenamiento y cierre, según el modo de explotación empleado.

El presente documento forma parte de las herramientas para enfrentar problemas complejos durante el laboreo de minas. Se parte del conocimiento de los métodos de investigación aplicados a la tecnología de laboreo de yacimientos que contempla tanto la apertura como la explotación en el desarrollo de las minas, el avance de los frentes de trabajo según el modo de laboreo y la argumentación y cálculo de la tecnología utilizada.

Los ejemplos y actividades teórico-prácticas que se presentan permiten sistematizar y evaluar el conocimiento sobre el tema y forman parte de la bibliografía que se ha publicado en los últimos años, a partir de la aplicación de los conocimientos y métodos científicos para la solución de problemas de esta magnitud en la minería.

## **PARTE I. EL DESARROLLO DE LAS MINAS Y AVANCE DE LOS FRENTES DE TRABAJO.**

En la literatura especializada se recogen dos grandes grupos de modos de explotación: *los clásicos o simples*, y *los geotecnológicos o especiales*.

*Los modos clásicos o simples*: son aquellos en que la separación de la mena del macizo se realiza por el método de perforación y voladura o el uso de máquinas de arranque como excavadoras, traíllas, combinadas, hidromonitores, entre otros. Contamos con: cielo abierto, subterráneo y combinados.

*Los modos de explotación especiales o geotecnológicos*: lo constituyen aquellos trabajos mineros que utilizan procesos físico-químicos, biológicos, térmicos, y otros para extraer la mena de la corteza terrestre.

Ejemplos: disolución subterránea, lixiviación subterránea, gasificación subterránea, explosiones nucleares, bacteriológicos, subacuáticos, extracción del calor de las rocas.

En cada modo de explotación (con excepción de algunos geotecnológicos), aparecen en mayor o menor grado los llamados procesos productivos o tecnológicos, los que a su vez se dividen en:

- **principales**
- **auxiliares**

***La tecnología de laboreo de los yacimientos***: está constituida por los métodos y equipamiento empleado para la apertura, preparación y extracción que facilitan el desarrollo y avance de la mina; mediante la interrelación de los procesos productivos principales y auxiliares.

Estas tecnologías y mecanización de los trabajos mineros, poseen un carácter sistémico y complejo, se basan en los principios de continuidad, simultaneidad e interdependencia de los procesos, el aseguramiento de la mínima distancia de traslación de la masa minera, la disminución del número y volumen de los

procesos auxiliares, el mínimo de gastos y el máximo de ingresos monetarios para el cumplimiento de los planes de producción.

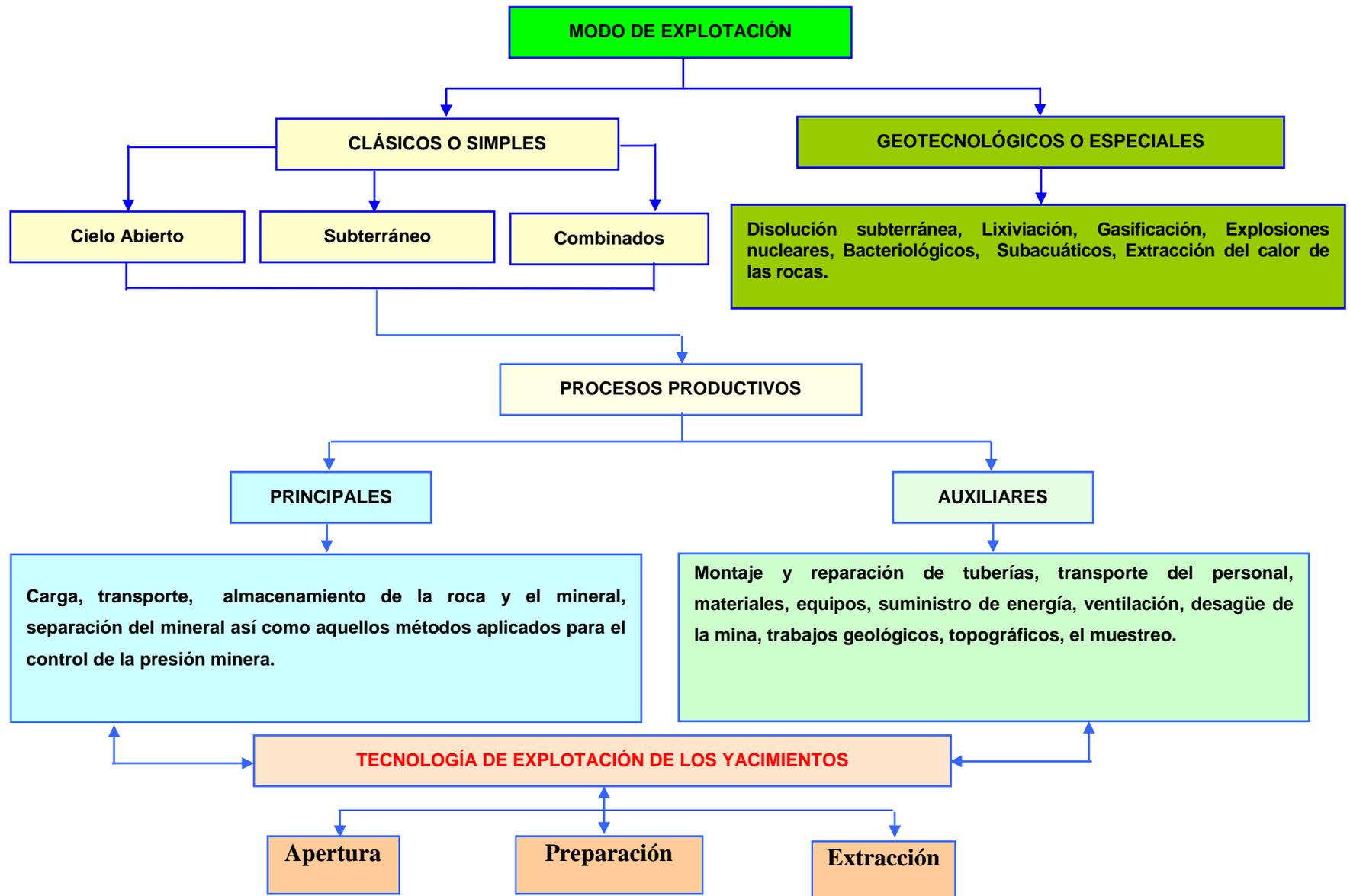


Figura 1. Procesos productivos y tecnológicos que forman parte de la actividad minera.

## **I.1 - Algunos Conceptos básicos durante las etapas de explotación a Cielo Abierto y Subterráneo.**

### Etapas de explotación minera

- 1) Búsqueda Geológica.
- 2) Exploración.
- 3) Construcción de la mina.
- 4) Explotación de la mina.
- 5) Cierre de mina.

Las etapas anteriores se manifiestan en cualquier Modo de Explotación (cielo abierto y subterráneo, combinado). Lógicamente que cada modo posee su tecnología de explotación y sus procesos tecnológicos específicos.

***Modo de explotación:*** Es la forma específica en que se realiza la explotación planificada de un yacimiento y la forma en que se conciben y excavan los espacios mineros, su orden de arranque, la ubicación espacial de sus parámetros, la forma en que se realiza el arranque de la mina, la transportación, el control de la presión minera, la ventilación, así como la manera apropiada de mover las rocas de caja.

**Para explotar la mina, de forma general, se necesita realizar una serie de operaciones que incluyen:**

- 1) Apertura
- 2) Preparación
- 3) Arranque – Separación (extracción)
  - Acarreo (carga - transporte)
  - Control de la Presión Minera

***Apertura:*** Conjunto de trabajos mineros subterráneos que permiten a través de ellos el acceso desde la superficie terrestre hasta el yacimiento para su

explotación. Mediante de estos se realiza la entrada y salida del personal y la carga.

**Preparación:** Son aquellas excavaciones que se realizan desde las excavaciones de apertura y dividen el yacimiento en escalones, niveles; bloques o paneles para su explotación.

Dentro de la preparación se destacan las excavaciones de corte: Son aquellas que se realizan dentro de los límites del bloque ya preparado, lo que permite el arranque masivo del mineral.

**Arranque:** Consiste en separar la mena del macizo a través de diferentes métodos. (Conjunto de operaciones que se realizan con el propósito de extraer el mineral de los bloques ya preparados).

### **Aspectos generales sobre la explotación a cielo abierto.**

este modo de explotación el yacimiento o la parte que se explota se realiza por una **mina a cielo abierto** (cantera o campo de minas) este no es más que una figura geométrica volumétrica caracterizada por las dimensiones en el plano y la profundidad, forma parte de la zona de la cantera que incluye además las rocas estériles extraídas, las plazoletas industriales y otras instalaciones productivas.

La explotación de las rocas en la cantera se realiza por capas, con adelanto en el plano de las superiores, habitualmente son horizontales aunque pueden ser inclinadas o abruptas.

En caso general el concepto de **capa** es más amplio que el de **banco** - parte separada de explotación de una capa de rocas que se presenta en forma de escalón. En la mayoría de los casos la capa y el escalón poseen la misma altura y dimensiones en el plano, excepto las capas abruptas.

Cuando las capas horizontales alcanzan gran altura (50 - 100 m) se pueden explotar con escalones inclinados.

Cada banco o escalón se caracteriza por una cota de altura que corresponde al horizonte donde se ubican las vías de comunicación. Estas cotas pueden ser absolutas (respecto al nivel del mar) o relativas (respecto a un punto fijo de la

superficie). Los escalones horizontales poseen cota constante, los inclinados poseen cota variable.

Las superficies horizontales o inclinadas que limitan al escalón por su altura se denominan **plazoletas superior e inferior**.

La superficie inclinada que limita al escalón con el espacio laboreado se denomina **paramento** del escalón, el ángulo formado por el paramento con la línea horizontal se denomina **talud del escalón** y las líneas que unen al paramento con las plazoletas de trabajo se denominan **bordes o aristas superior e inferior**.

Existen escalones activos o de trabajo e inactivos; en los primeros se realiza la extracción del mineral o estéril. Si en las plazoletas se ubican los equipos de trabajo necesarios para la explotación entonces ellas se denominan **plazoletas de trabajo**. Los escalones se dividen en **subescalones**, los cuales pueden explotarse con diferentes equipos de excavación o el mismo equipo simultánea o intermitentemente, pero poseen vías de comunicación comunes para ambos.

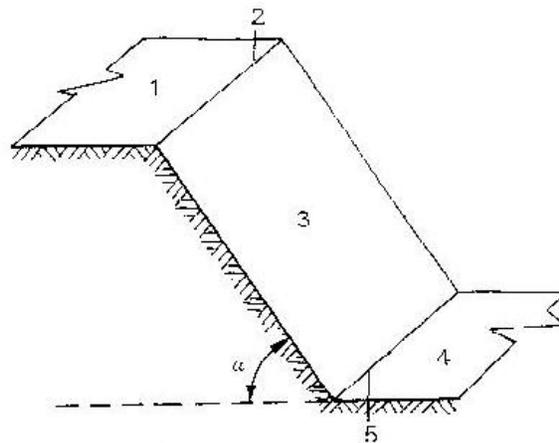


Figura No. 2. Elementos de una terraza o escalón: 1, plazoleta superior; 2, arista superior; 3, paramento; 4, plazoleta inferior; 5, arista inferior;  $\alpha$ , talud del escalón.

La parte longitudinal del escalón preparada para la explotación se denomina **frente de trabajo del escalón**, éste puede ser recto o curvilíneo y su longitud puede o no variar. La preparación del frente consiste fundamentalmente en las

vías de comunicación y la línea eléctrica para garantizar el trabajo de los equipos.

Como resultado de la explotación de las rocas ocurre el desplazamiento de los escalones, en las canteras se explotan varios y se van creando nuevos en la parte más profunda.

Las superficies laterales escalonadas formadas por los paramentos y las plazoletas se denominan **bordos de la cantera**.

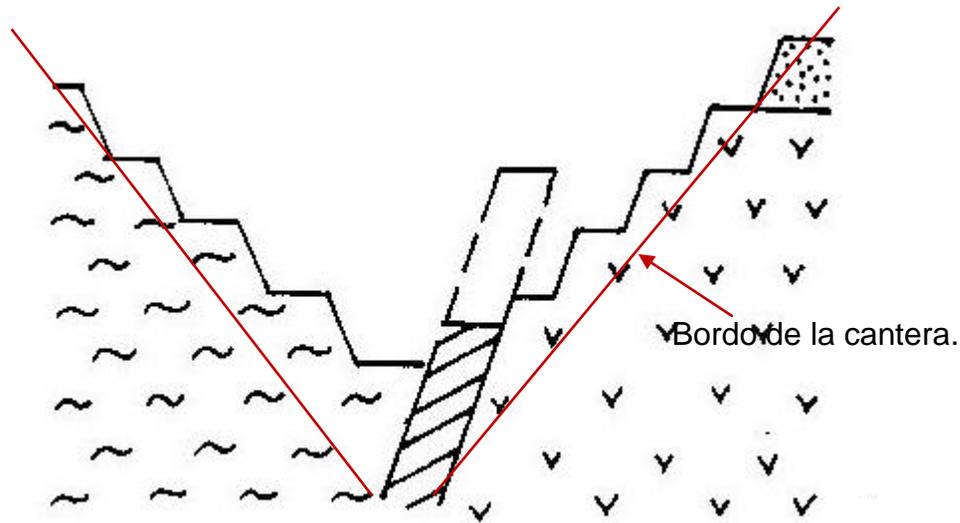


Figura No. 3. Bordos de la cantera.

El bordo formado por los escalones de trabajo se **denomina bordo activo o de trabajo**, cuando los escalones van alcanzando su posición final en el espacio se forma el **bordo final o inactivo**.

La línea que limita la cantera con la superficie terrestre se denomina **contorno superior**, y la que limita la cantera por el fondo **contorno inferior**.

En el momento de culminación de los trabajos mineros a cielo abierto la cantera alcanza la **profundidad final**, y las **dimensiones finales** en el plano.

Los paramentos de los escalones en los bordos inactivos, donde no se realizan labores, se dividen por **bermas de transporte** o de seguridad.

El conjunto de escalones que se explotan simultáneamente se denomina **zona de**

**trabajo de la cantera.**

Entre los elementos de las canteras también tenemos las **trincheras**, y **semitrincheras**.

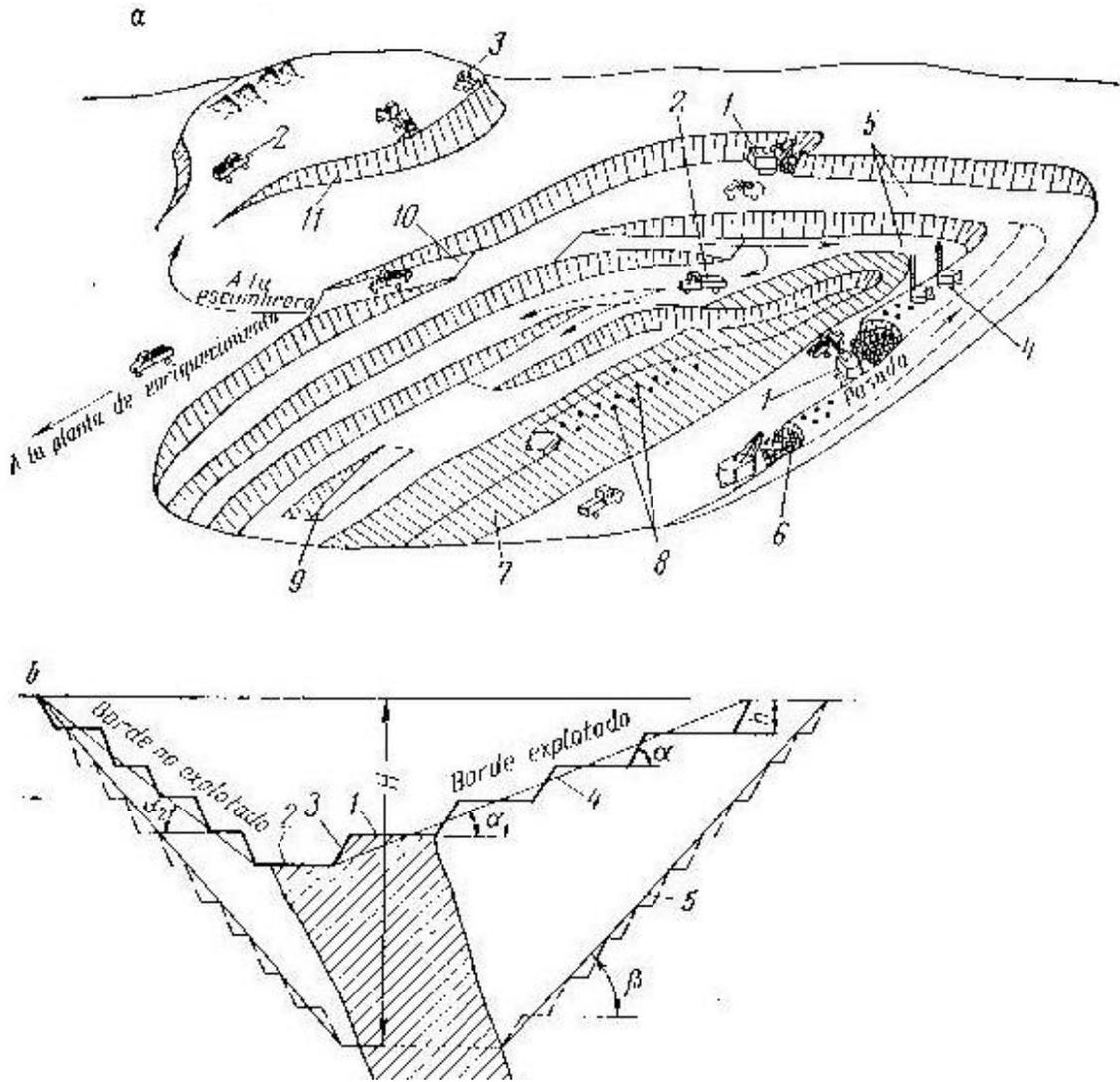


Figura No. 4a. Esquema de explotación y elementos de una mina a cielo abierto. 1, excavadora; 2, camión volcador; 3, bulldozer; 4, tren de perforación; 5, niveles de explotación 6, escombros de voladuras; 7, cuerpo mineralizado; 8, perforaciones; 9, trinchera de entrada en el 4<sup>o</sup> nivel; 10, rampa de entrada en el nivel; 11, escombrera.

Figura 4b. 1, Plazoleta superior; 2, plazoleta inferior; 3, paramento o escarpa; 4, bordes; 5, contorno final.

Los parámetros fundamentales de las canteras son:

1 - **Profundidad final** (H) - durante la explotación de cuerpos minerales inclinados o abruptos determina la potencia productiva y las dimensiones por la superficie. En los yacimientos horizontales y de pequeña inclinación es prácticamente constante durante toda la explotación;

2 - **Dimensiones por la superficie, largo y ancho**, determinadas por las dimensiones del cuerpo mineral, el fondo de la cantera, la profundidad y los ángulos de los bordos;

3 - **Dimensiones del fondo** - las determinan los contornos del cuerpo explotado en la cota final. Los valores mínimos se determinan por las condiciones de seguridad en la extracción;

4 - **Ángulos de los bordos de la cantera** - se determinan por la estabilidad de las rocas y la ubicación de las vías de comunicación, se toman lo más abrupto posible para disminuir el volumen de destape;

$$\tan \phi_a = \frac{\Sigma h}{\Sigma A_{pt} + \Sigma (hx \cot \alpha)}$$

Donde:

h - altura del escalón;

$A_{pt}$  - ancho de la plazoleta de trabajo;

$\alpha$  - talud del escalón;

$\phi_a$  - ángulo del bordo activo.

$$\tan \phi_i = \frac{\Sigma h}{\Sigma b_s + \Sigma b_t + \Sigma (h \cot \alpha)}$$

Donde:

$b_s$  -  $b_t$  - ancho de las bermas de seguridad y transporte respectivamente.

5 - **Volumen total de masa minera dentro de los contornos de la cantera.** Es un índice básico que determina la potencia productiva de la empresa, plazo de trabajo y otros.

En relieve llano se determina por la siguiente fórmula:

$$V = S_f \times H_f + \frac{P_f}{2} \times (H_f)^2 \times \cot \beta + \frac{\pi}{3} \times (H_f)^3 \times \cot^2 \beta$$

Donde:

$S_f$  - área del fondo de la cantera;

$H_f$  - profundidad final de la cantera;

$P_f$  - perímetro del fondo de la cantera;

$\beta$  - ángulo promedio de los bordos;

6 - **Reservas de mineral dentro de los contornos** - índice básico para determinar la posible magnitud de la extracción.

### **Aspectos generales sobre la explotación subterránea.**

Mediante la explotación minera subterránea se extraen los minerales útiles que no pueden ser extraídos desde la superficie, es decir, por medio de una mina a cielo abierto. Esto se efectúa a través de excavaciones mineras subterráneas las que se diferencian entre sí por variados aspectos tales como: *por su posición en el espacio* las que pueden ser *verticales, horizontales e inclinadas*, esta clasificación puede verse en la figura No. 69, se clasifican también según su destino como excavaciones subterráneas de carga, transporte, ventilación, entre otras. Por su forma en circulares, rectangulares, trapezoidales, paredes rectas y techo abovedado, elíptica.

Además de estas excavaciones en la minería subterránea se emplean también las excavaciones denominadas *estaciones o cámaras y los realces*.

**Las estaciones o cámaras** son excavaciones sin salida directa a la superficie y se emplean con diversos fines relacionados con la explotación del yacimiento, en estas se ubican estaciones de bombeo, depósitos de locomotoras, almacenes.

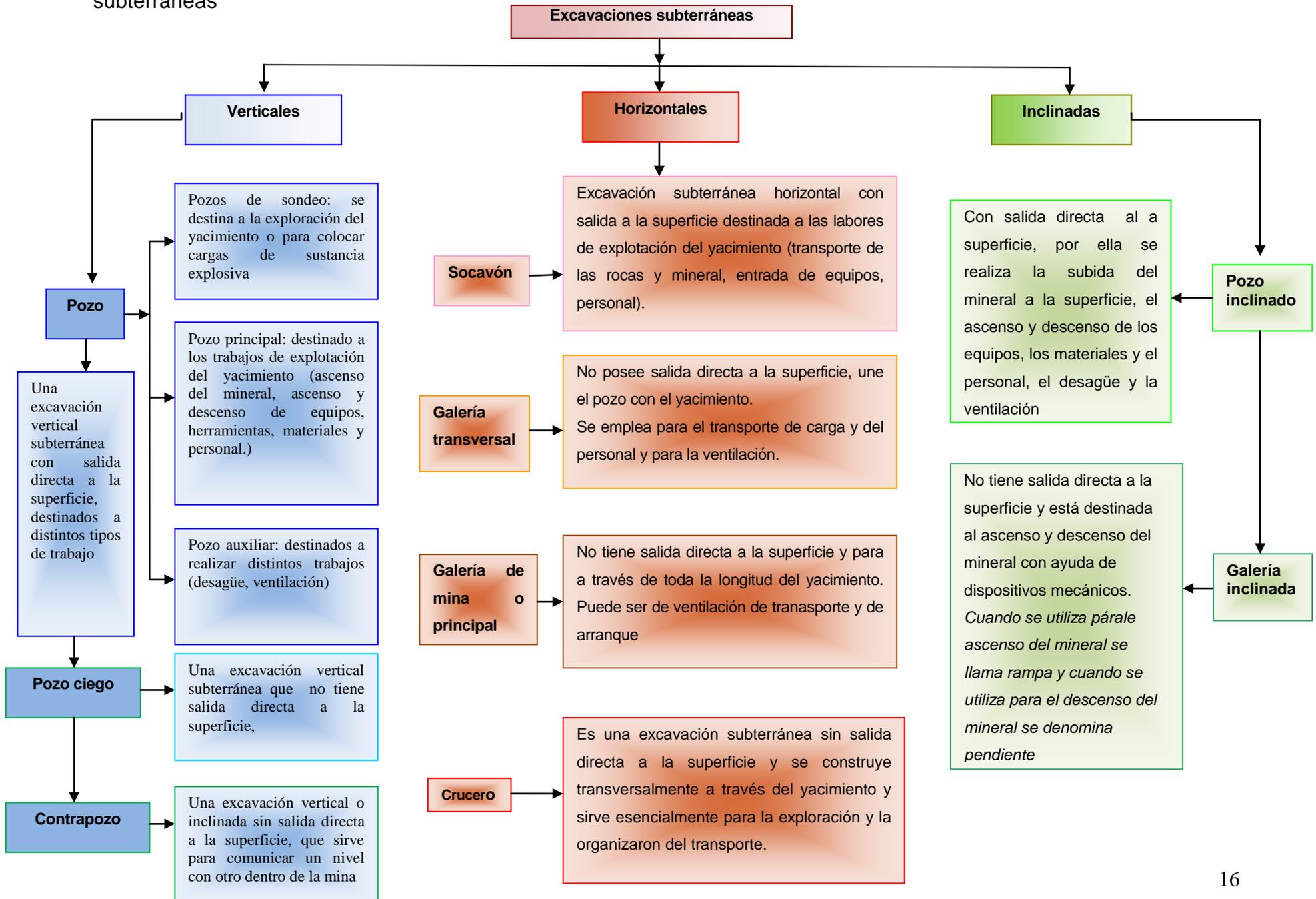
**Los realces** se forman durante el proceso de extracción del mineral, se laborean el yacimiento de abajo hacia arriba.

**La piquera** es una excavación sin salida directa a la superficie usada para el descenso del mineral o las rocas estériles por gravedad.

**La escalera** es una excavación que carece de salida directa a la superficie, destinada para el tránsito del personal, generalmente se construyen paralelas a las galerías inclinadas.

**El horno** es una excavación subterránea que no tiene salida directa a la superficie, se construye con la misma inclinación que la capa mineral y está destinada al transporte de cargas, al tránsito del personal y la ventilación, se utiliza mucho en el laboreo de los yacimientos de carbón.

Figura No.69. Excavaciones mineras subterráneas



El dimensionamiento y división del campo de mina para la explotación subterránea se realiza a partir de una serie de parámetros que a continuación se enuncian:

Para el *dimensionamiento* del campo de minas se consideran:

- 1) Largo (L)
- 2) Ancho(A) yacimientos horizontales o poco inclinados.
- 3) Longitud por el rumbo (L)
- 4) Número de niveles (N)

Para lo que se deben conocer de antemano los siguientes aspectos.

- La producción anual de la mina.
- El esquema de apertura.
- La altura del nivel ó el ancho del panel.

La determinación de estos parámetros se realiza con el empleo de diferentes métodos, el más usado es el de comparación de variantes que consiste en determinar valores arbitrarios del campo de mina con diversas variantes; se analizan para cada una, las inversiones hasta el final y los gastos de extracción con la tonelada de mineral extraído. Lógicamente se escogerá la que menores gastos ofrezca. Si por el contrario la diferencia entre las variantes no excede al 10 %, entonces se trabajará en la que brinde mayores ventajas técnicas.

Para la *división* del campo de mina:

Para su extracción el Campo de Mina se divide generalmente en:

- a) **Niveles, subniveles y bloques** - Yacimientos abruptos o inclinados.
- b) **Paneles y pilares de explotación** - Yacimiento horizontal o poco inclinado.

**Para Yacimientos abruptos o inclinados.**

***El Nivel:*** es la parte del campo de mina en un yacimiento abrupto o inclinado que limita por el rumbo con los propios límites del campo de mina y por el buzamiento con las galerías de transporte y la de Ventilación).

**Bloque:** Parte del nivel que limita por el rumbo con los contrapozos límites o con los límites del minado antiguo y por el buzamiento con la galería de transporte y la galería de ventilación  $h_n = h_b$

**Para Yacimiento horizontal o poco inclinado.**

**Los Paneles:** Grandes partes del campo de mina de un yacimiento total o parcial. Inclinado que por lo general tiene forma rectangular y está limitado por las galerías de panel y las galerías maestras y muchas veces (la mayoría) algunos de sus límites coinciden con los límites del campo de mina y poseen la inclinación del cuerpo mineral

***Pilar de explotación***

Parte del panel limitado por la galería de panel y la galería de explotación (a veces los límites geológicos del yacimiento). Como la explotación generalmente se laboreo en paralelo, estos sectores tienen forma rectangular

La altura del nivel  $h_{\text{nivel}}$  se calcula por.

$$h = \frac{A.T_p.W.(1-P)}{S\gamma.\eta}$$

Donde:

A- producción anual de la mina.

$T_p$ - duración de los trabajos de apertura.

## **I. 2.- Principales períodos de trabajo en la minería a cielo abierto.**

En caso general el trabajo en las minas a cielo abierto se caracteriza por tres períodos fundamentales:

I - Construcción de la mina y aumento paulatino de la productividad mineral hasta alcanzar la nominal.

II - Trabajo con productividad relativamente estable (mineral y estéril).

III - Extinción de los trabajos mineros.

La extracción de los minerales útiles del subsuelo se realiza como se ha dicho, a través de dos modos - A Cielo Abierto y Subterráneo, y del fondo del mar por el método submarino. La mayor difusión la obtuvo el primer modo, a través del cual se extrae el 75 % de todas las menas, alrededor del 100 % de los materiales de construcción y no metálicos.

La explotación a cielo abierto se realiza directamente en la superficie de la tierra e incluye dos tipos de trabajo – Destape y Extracción –. El primero tiene como objetivo asegurar el acceso al mineral útil y crear las condiciones para su extracción, consiste en el traslado del material estéril que rodea al mineral útil. Como resultado de la ejecución de los trabajos de destape y extracción se forma *la mina a cielo abierto (cantera)*, que no es más que el conjunto de excavaciones mineras a cielo abierto. El destape y la extracción se pueden ejecutar simultáneamente o no pero debe existir cierto desfasaje entre ellos en tiempo y espacio.

Por **tecnología de explotación** se considera al conjunto de métodos y medios empleados para la apertura, preparación y extracción, que facilitan el desarrollo y avance de la mina, mediante la interrelación de los procesos productivos principal y auxiliar. Para la explotación a *cielo abierto la tecnología de explotación* contempla; la apertura, el destape, la extracción; para la *explotación subterránea* incluye la apertura, preparación y los sistemas de explotación.

Los procesos mineros a cielo abierto consisten en la excavación, traslación, y

almacenamiento de los minerales útiles y el material de destape.

Los procesos básicos son:

- Preparación de las rocas para la excavación
- Excavación - carga de las rocas
- Transportación
- Almacenamiento de la masa minera
- Formación de escombreras
- Preparación mecánica del mineral.

A cada proceso tecnológico básico le corresponden procesos auxiliares que permiten o facilitan su ejecución, entre ellos tenemos el abastecimiento eléctrico, ventilación, drenaje, reparación de los equipos, control de la calidad de las menas extraídas.

### **Ventajas y desventajas comparativas de los trabajos mineros a cielo abierto respecto al subterráneo.**

- Mayor seguridad del trabajo y mejores condiciones productivas
- Mejores índices económicos. La productividad del trabajo es superior en 3 - 7 veces
- Mayor ritmo de crecimiento de la productividad del trabajo
- Menores plazos de construcción que conllevan a menores gastos específicos capitales
- Facilita la extracción selectiva, menor pérdida y empobrecimiento

### **Desventajas.**

- Cierta dependencia de las condiciones climáticas
- Se necesitan grandes áreas para las escombreras
- Grandes gastos capitales en cortos plazos de tiempo
- Afectación al medio

Las condiciones de utilización del método a cielo abierto son variadas, se pueden explotar yacimientos de cualquier forma de yacencia, con cualquier fortaleza de las rocas y volumen de estéril entre 10 - 15 metros cúbicos por tonelada de mena útil.

### **Condiciones de utilización de los trabajos a cielo abierto.**

Los yacimientos minerales laboreados a cielo abierto, se distinguen por diferentes condiciones naturales y de yacencia, entre las cuales tenemos:

Número y potencia de cada cuerpo

Angulo de caída

Potencia de las rocas de recubrimiento

Factores topográficos

Índices cualitativos y cuantitativos del yacimiento

Propiedades físico mecánicas de las rocas de recubrimiento, encajantes y del yacimiento mineral

Estos factores y también el valor de la materia prima mineral, la hidrogeología y el clima de la región, la presencia en ella de recursos laborales y materiales, de vías de transporte y otras, influyen sobre la elección del método de laboreo del yacimiento, de los medios técnicos y el orden de realización de los trabajos.

Los tipos de yacimientos minerales se diferencian por las siguientes características.

Forma. (Figura No. 5)

Relieve de la superficie. (Figura No. 6)

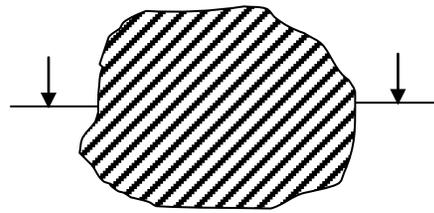
Posición del cuerpo con relación a la superficie. (Figura No. 7)

Angulo de caída del cuerpo. (Figura No. 8)

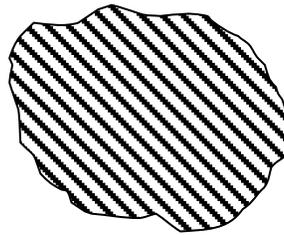
Potencia del cuerpo. (Figura No. 9)

Estructura del cuerpo. (Figura No. 10)

**Isométricos** - se desarrollan casi igual en todas las direcciones.

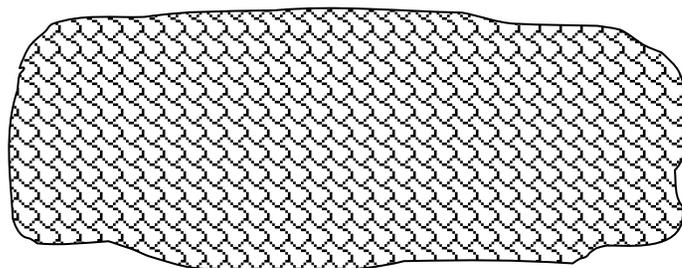
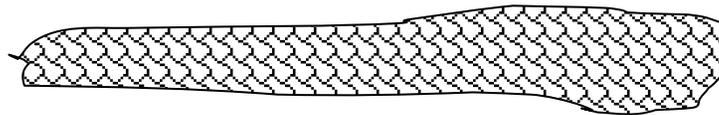


Corte vertical

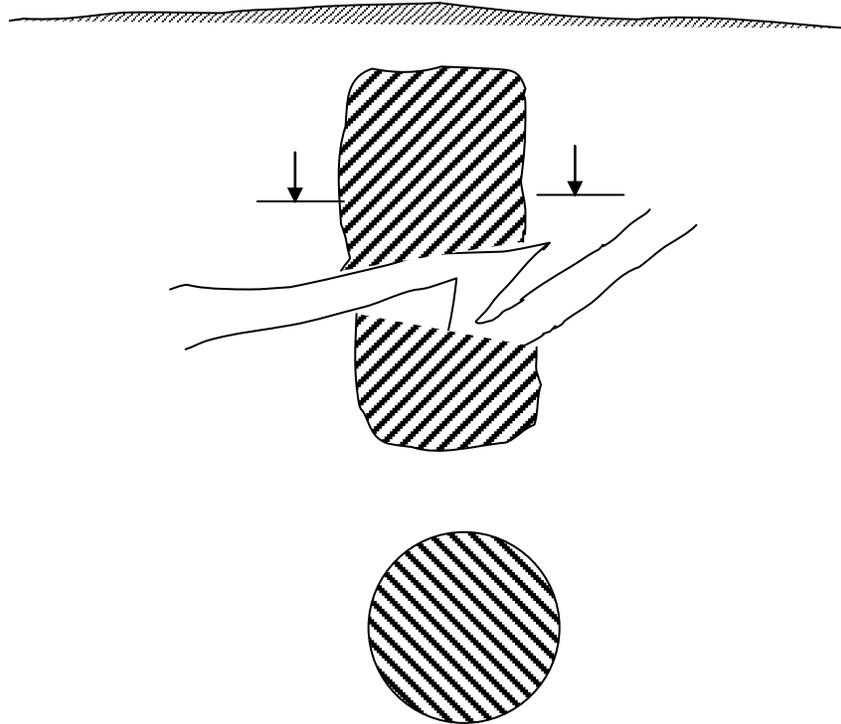


Vista en planta

**En forma de capas.** - Desarrollados en dos direcciones con potencias pequeñas.



**Tubulares.** (columnares )- Se desarrollan en una sola dirección.



**Intermedios.** – Están entre las formas señaladas anteriormente (lentes, vetas, filones).

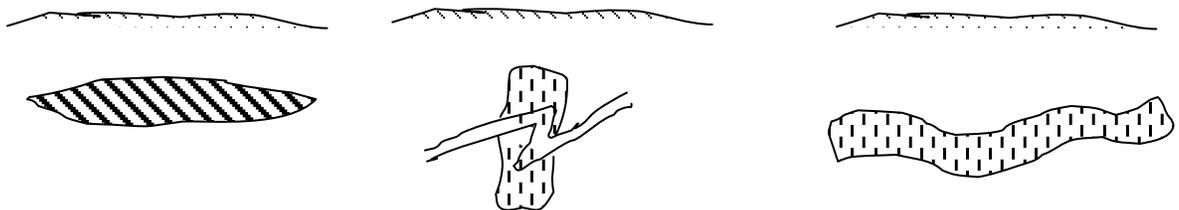


Figura No. 5. Clasificación de los de yacimientos minerales **Por su forma.**

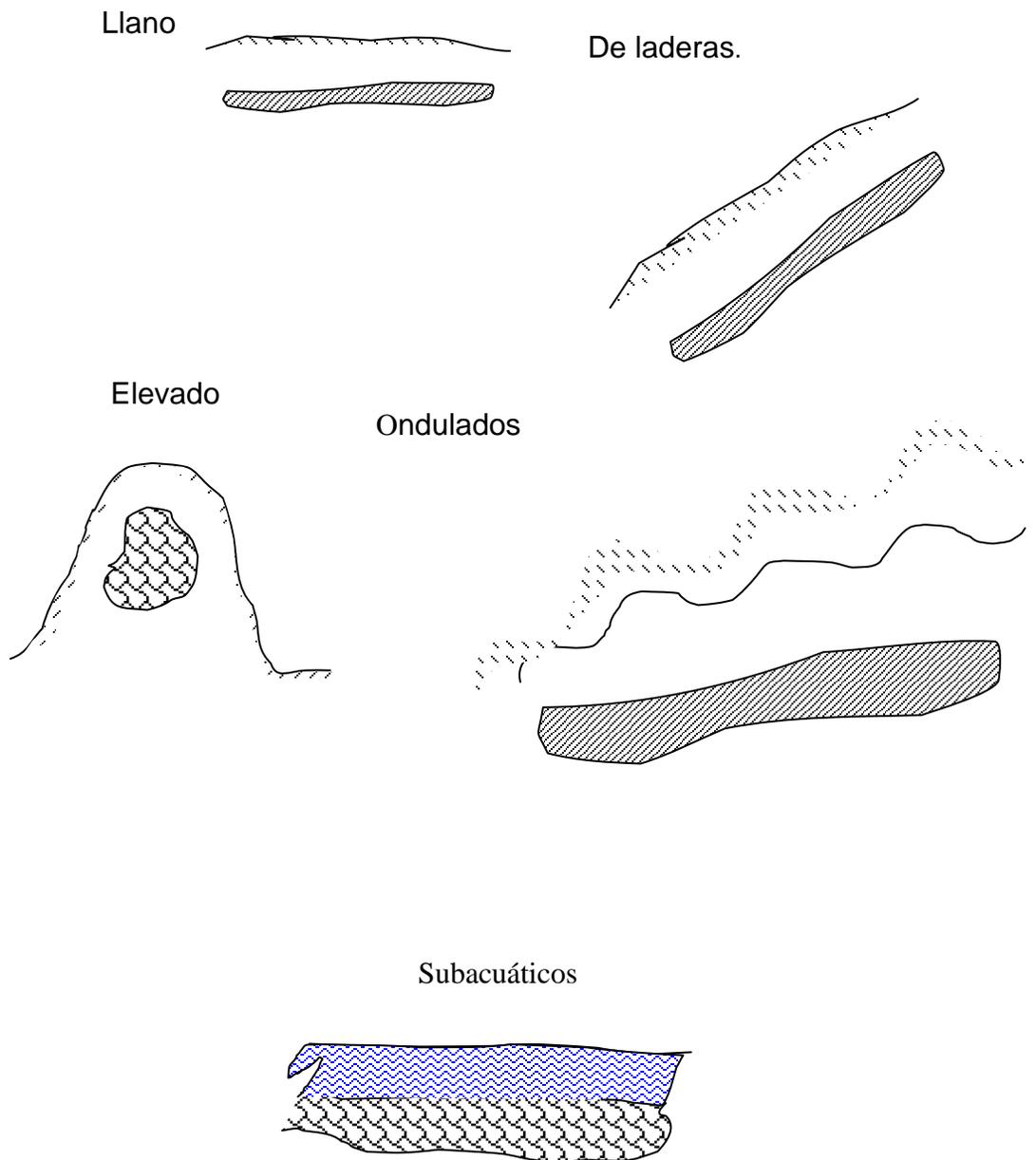
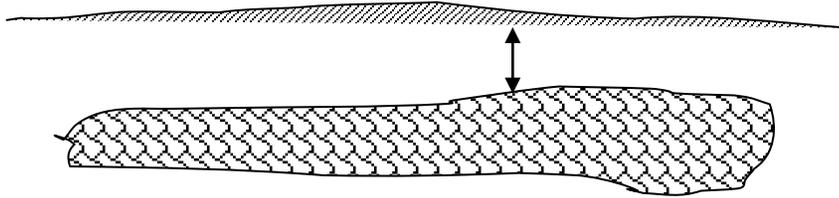
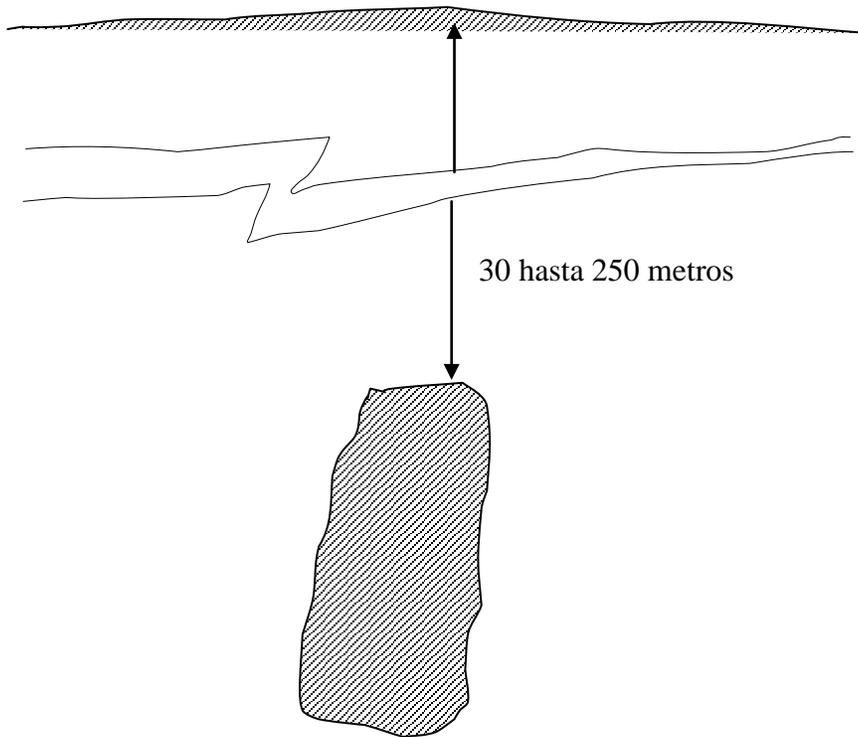


Figura No. 6. Clasificación de los de yacimientos minerales **por el relieve de la superficie.**

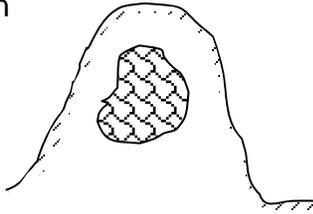
**Superficiales.** Ubicados directamente en la superficie o cubierto por aluviones con potencias hasta 20 –30 metros



**Profundos.-** Las rocas de recubrimiento varían desde 30 hasta 250 metros y más



**Elevados.-** Ubicados en una elevación



**Elevados y profundos.-** Ubicados por encima y por debajo del nivel predominante de la superficie terrestre

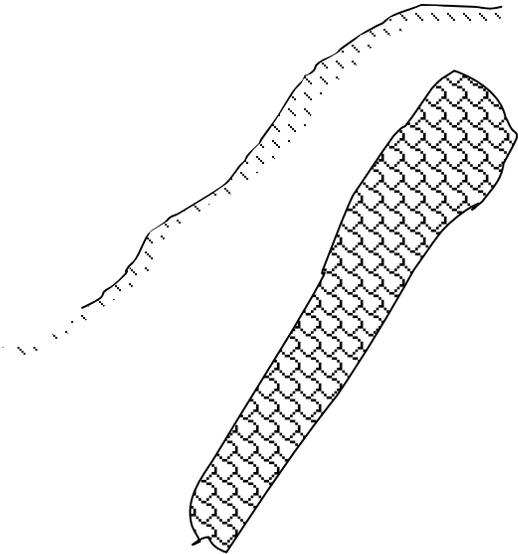
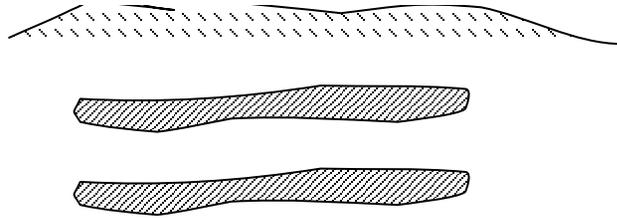


Figura No. 7. Clasificación de los de yacimientos minerales **por la posición respecto a la superficie terrestre.**

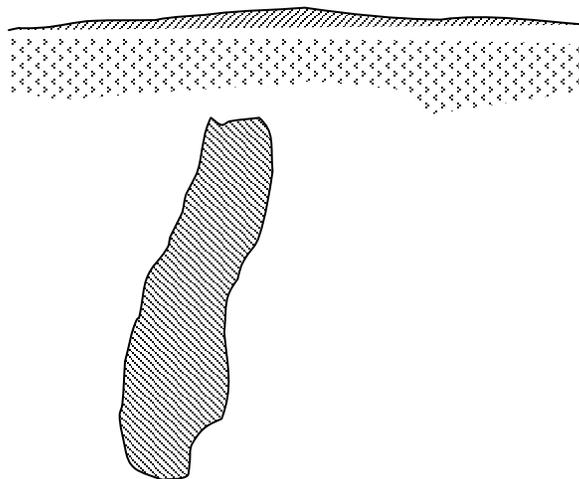
Horizontales y poco inclinados. Hasta  $0^{\circ}$ - $25^{\circ}$  grados



Inclinados.-Desde  $20^{\circ}$  -  $25^{\circ}$  hasta  $45^{\circ}$  -  $60^{\circ}$



Abruptos.- con ángulos mayores de  $45^{\circ}$



De yacencia compleja.- La dirección de caída es variable, característica de los plegamientos y rupturas geológicas

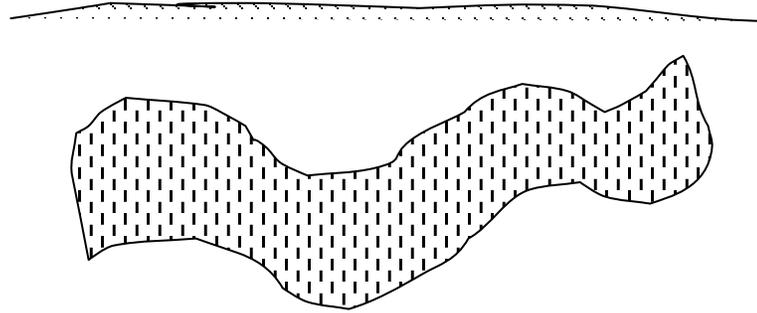


Figura No. 8. Clasificación de los de yacimientos minerales **por el ángulo de caída del cuerpo mineral.**

Denominación	Potencia horizontal (m)	Potencia vertical (m)
	Horizontales	Inclinados y abruptos
Muy poco potentes	2 - 3	20 - 40
Poco potentes	4 - 20	20 - 40
Potencia media	15 - 40	50 - 120
Potentes	20 - 40	80 - 150

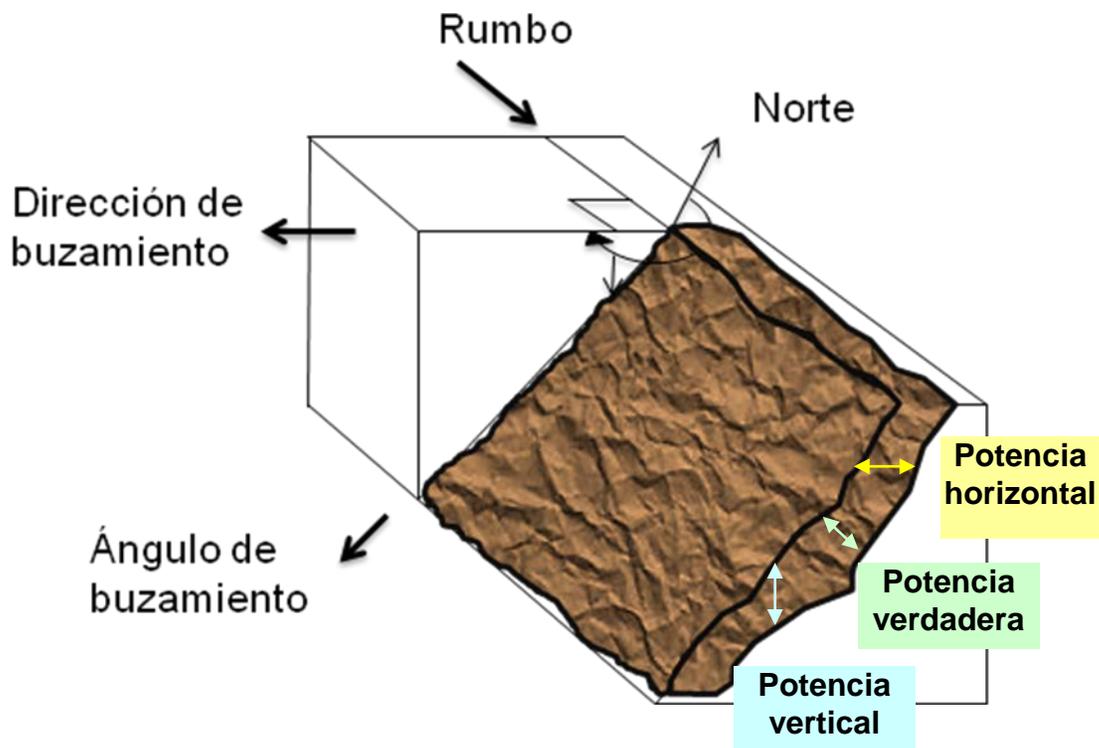


Figura No. 9. Clasificación de los de yacimientos minerales por la potencia del cuerpo.

**Simples.-** Estructura homogénea sin intercalación



**Dispersos.-** De estructura compleja sin una ley de distribución de las clases de mineral, condicionado y no condicionado

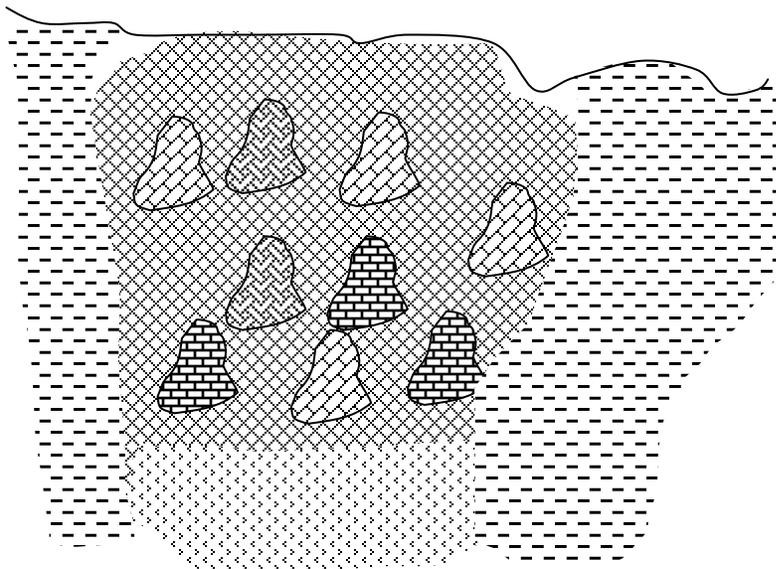


Figura No. 10. Clasificación de los de yacimientos minerales **Estructura del cuerpo mineral.**

### I.3.- Esencia de los trabajos a cielo abierto

Los trabajos a cielo abierto se realizan desde la superficie de la corteza terrestre con el objetivo de realizar la extracción de diferentes minerales. Al conjunto de las diferentes excavaciones mineras que se forman durante este trabajo se le denomina mina a cielo abierto (cantera)

- Cuando se laborean cuerpos horizontales o poco inclinados se alejan solo las rocas que los recubren; las rocas del costado yacente (piso) no se extraen.

Figura No. 11

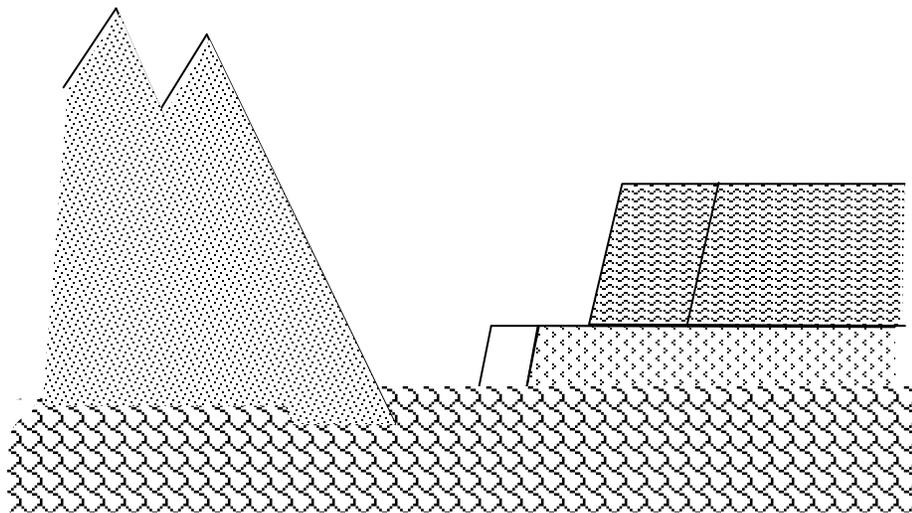
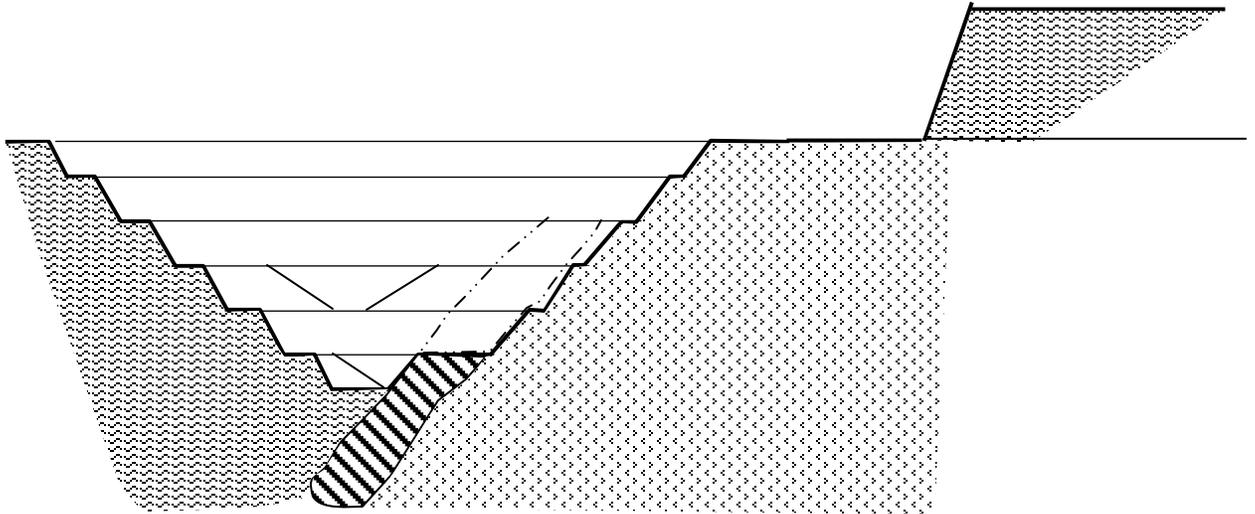


Figura No. 11. Laboreo de cuerpos horizontales o poco inclinados.

- Al laborear cuerpos inclinados y abruptos, además de las rocas de recubrimiento es necesario alejar parte de las rocas encajantes para crear los accesos del transporte a las distintas partes del cuerpo en profundidad y alcanzar la estabilidad del macizo de las rocas encajantes después de la extracción del mineral. Para

estos fines el ángulo del talud del macizo de roca no debe pasar de  $25^{\circ}$ - $35^{\circ}$ . Cuando se laborean yacimientos inclinados, las rocas de recubrimiento se alejan solo del lado colgante del cuerpo. Figura No.12 y 13.



Al laborear abruptos es necesario alejar las rocas del lado colgante y yacente.

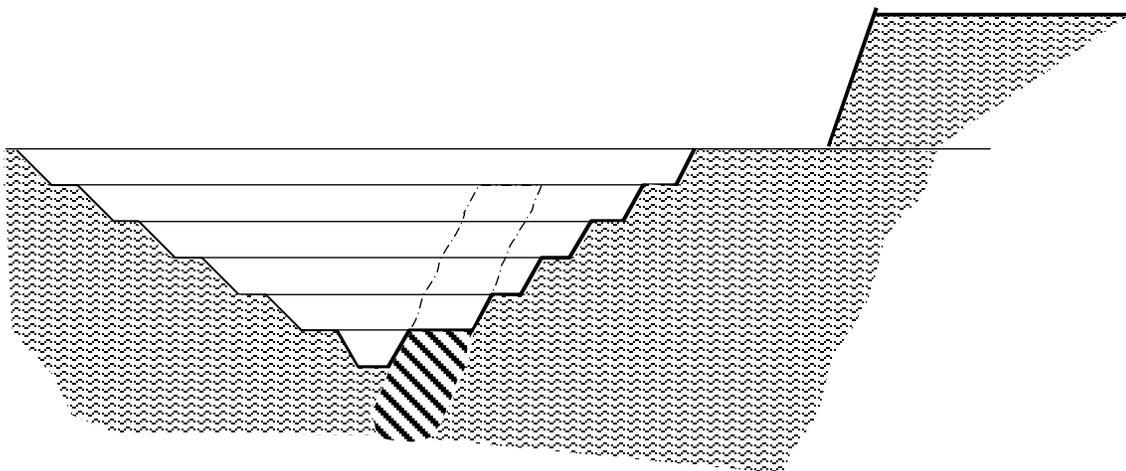


Figura No.12 y 13. Laboreo de cuerpos inclinados y abruptos

El alejamiento de grandes masas de rocas de recubrimiento y encajantes es la particularidad fundamental de las explotaciones a cielo abierto. Como regla, los volúmenes anuales de rocas desplazadas sobrepasan considerablemente los volúmenes de minerales extraídos.

Los gastos fundamentales en laboreo a cielo abierto corresponden al desplazamiento de las rocas que recubren o encajan el cuerpo. Por eso al laborear cuerpos horizontales y poco inclinados, se tiende a desplazar las rocas de cubierta por la distancia más corta al espacio laboreado con anterioridad.

Al laborear cuerpos inclinados y abruptos, excepcionalmente, las rocas de destape se pueden ubicar en el espacio laboreado, si no, que normalmente se transportan fuera de los límites de la cantera.

La seguridad en la realización de los trabajos a cielo abierto se alcanza observando las reglas de las técnicas de seguridad por los trabajadores, y realizando las labores espaciales para la eliminación de las aguas superficiales y subterráneas, el sostenimiento de los paramentos de los escalones, proclives al deslizamiento y los derrumbes y otras. En las canteras, a causas de la realización de los diferentes procesos productivos, el polvo y los gases en la atmósfera con frecuencia alcanzan niveles que sobrepasan las normas admisibles, por lo que es necesario ventilar los frentes de trabajo, deprimir el polvo y otras actividades que aseguran las condiciones higiénico-sanitarias de trabajo.

#### **I.4.- Condiciones geológicas de los trabajos mineros.**

A través de este método se explotan yacimientos de variadas formas como hemos visto y en disímiles condiciones naturales.

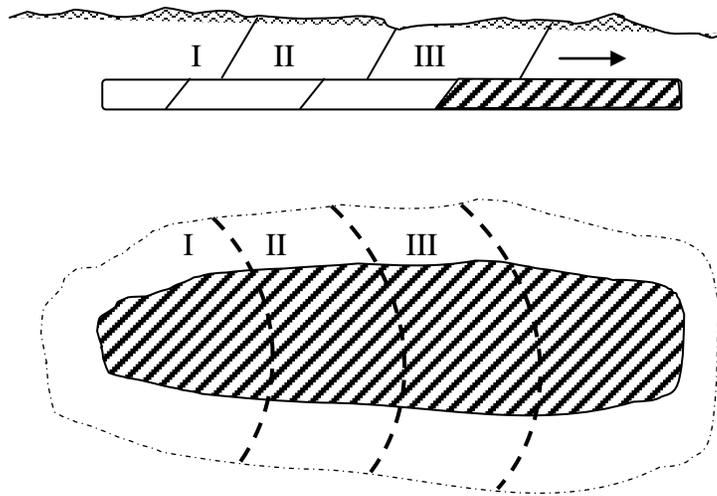
Las condiciones de yacencia del yacimiento influyen en la elección de la tecnología y la mecanización de los trabajos mineros.

Las condiciones hidrogeológicas influyen significativamente sobre la ejecución de los trabajos mineros a cielo abierto, cuando se cortan los horizontes acuíferos es necesario instalar estructuras especiales de drenaje, si el flujo de agua es muy grande (hasta 10 m<sup>3</sup> y más por tonelada de mena extraída) se deben tomar medidas especiales para la fortificación de los paramentos.

El nivel de inundación de las minas a cielo abierto y las minas subterráneas se caracteriza por un coeficiente que muestra la cantidad de agua bombeada por cada tonelada de mineral extraído.

## Extracción

La extracción de los minerales y rocas encajantes se realiza por capas, con un adelanto de las superiores sobre las inferiores, como resultado de lo cual el macizo de rocas laboreado toma la forma de bancos o escalones y en la corteza terrestre se forma un espacio laboreado. Las dimensiones del espacio laboreado al laborear cuerpos horizontales aumentan en el plano (figura No 14 ).



**Figura No .14.** Avance de los trabajos de arranque (espacio laboreado) al laborear cuerpos horizontales

Y al laborear cuerpos inclinados y abruptos aumenta al unísono en el plano y en profundidad (Figura No. 15 )

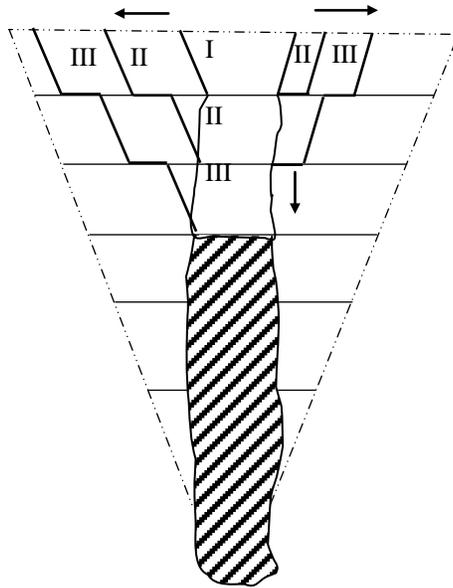


Figura No. 15. Avance de los trabajos de arranque (espacio laboreado) al laborear cuerpos inclinados.

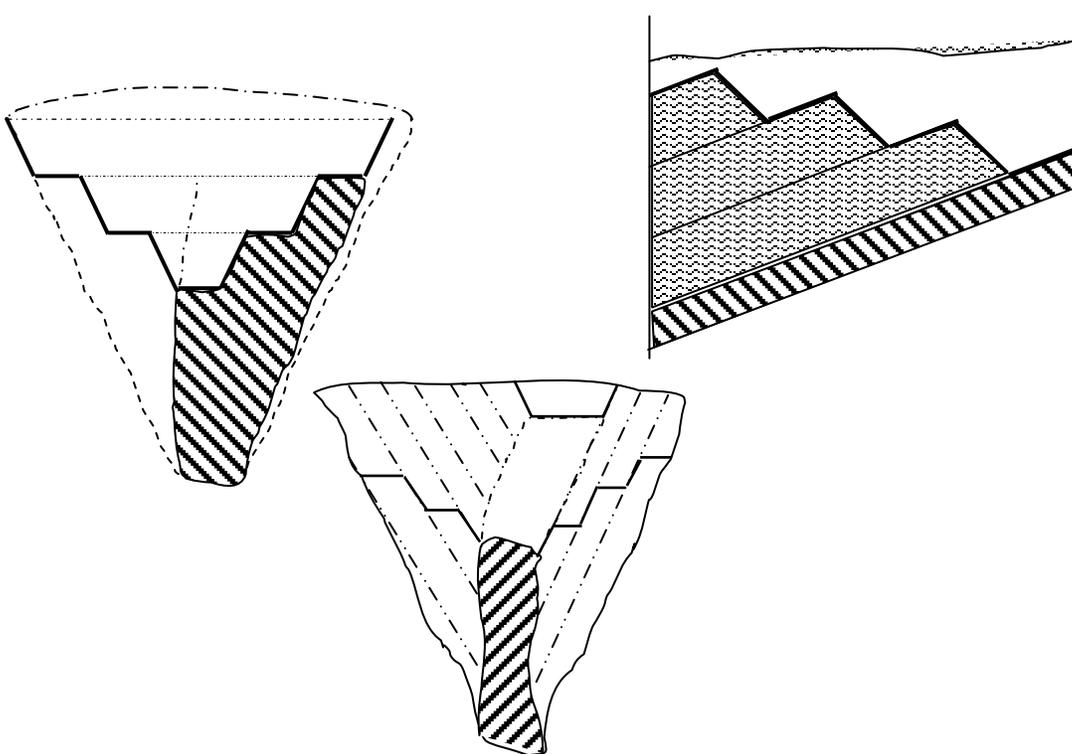


Figura No. 16. Avance de los trabajos de arranque (espacio laboreado) al laborear cuerpos abruptos.

Cada banco (escalón) se caracteriza por la cota del horizonte de ubicación de las vías de transporte, las cotas de los escalones pueden ser absolutas (relativas al nivel del mar) o convencionales.

Las superficies que limitan el banco en altura, se llama plazoleta inferior y superior. La superficie inclinada que limita el banco del lado del espacio laboreado, se llama paramento del escalón y el ángulo de esa superficie se denomina ángulo del paramento o talud del escalón. Las líneas de intersección del paramento con las plazoletas superior e inferior se llaman arista superior e inferior del escalón. Ver Figura No 2 y No. 4.

Se diferencian los bancos y bordes de las canteras activos e inactivos. En los escalones activos se realiza la extracción de las rocas, y la plazoleta inferior de este escalón se denomina plazoleta de trabajo. Aquí, por lo regular se ubica el equipamiento de extracción y las vías de transporte para el laboreo del escalón.

Según las condiciones de la tecnología de extracción los bancos pueden dividirse en sub-bancos, cuyo laboreo se realiza por los mismos o diferentes equipos de extracción, sucesivamente o al unísono, pero con vías de transporte única para el escalón.

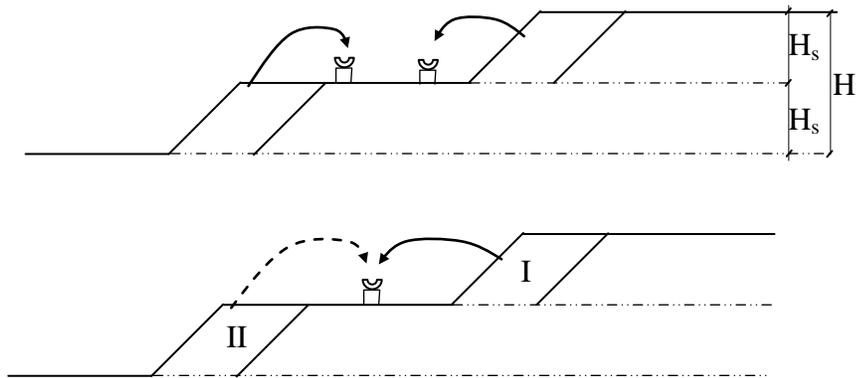


Figura No. 17. División de los bancos según las condiciones de la tecnología de extracción.

La parte del banco preparado para el laboreo según su longitud se llama frente de trabajo del banco. En el plano puede ser lineal o curvo.

La superficie de las rocas en los límites del banco o montón donde se realiza la extracción se llama frente.

Un yacimiento o una parte de este laboreado por una cantera se denomina campo de cantera. Ver figura No. 4

El campo de cantera forma parte de la parcela de terreno de la cantera que además corresponde las escombreras exteriores, la plazoleta industrial y otras construcciones productivas.

Las superficies laterales escalonadas formadas por los paramentos y las plazoletas de los escalones que limitan el espacio laboreado se llaman bordes de la cantera.

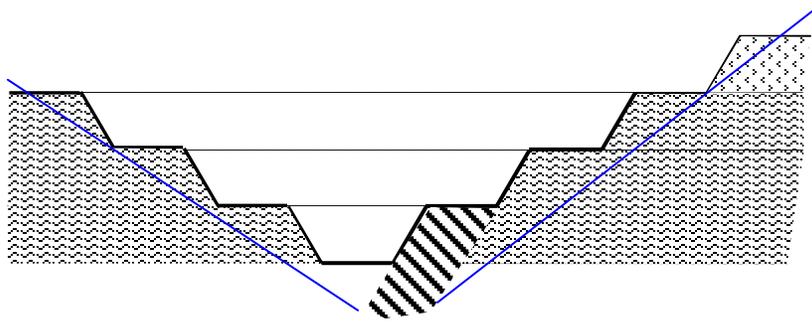


Figura No. 18. Bordes de cantera.

El borde representado por los escalones activos se llama borde de trabajo (laboral) de la cantera.

La línea que limita la cantera al nivel de la superficie terrestre es el contorno superior de la cantera y la línea que limita el fondo o piso de la cantera es su contorno inferior.

La posición del borde laboral y los contornos superior e inferior varían en el espacio. Gradualmente los escalones, comenzando desde arriba, alcanzan los contornos finales (límites de la cantera). En el momento de terminación de los trabajos a cielo abierto estos corresponden a la profundidad final y dimensiones finales en el plano.

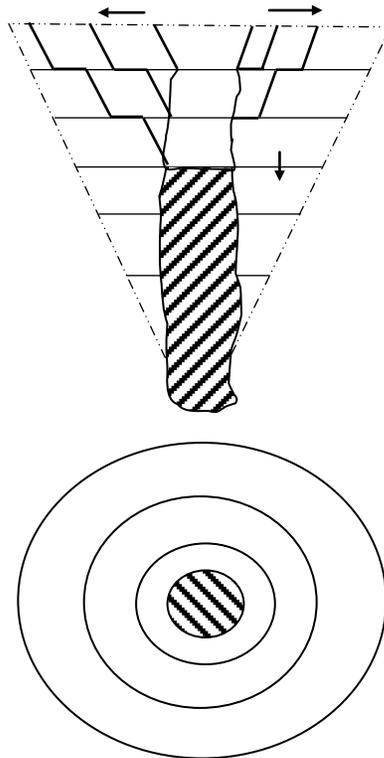


Figura No. 19. Profundidad y dimensiones finales en el plano de la mina a cielo abierto.

En los bordes inactivos de las canteras no se realizan trabajos mineros y los paramentos de los escalones se dividen por plazoletas (bermas). Se diferencian las bermas de transporte, de seguridad y de limpieza.

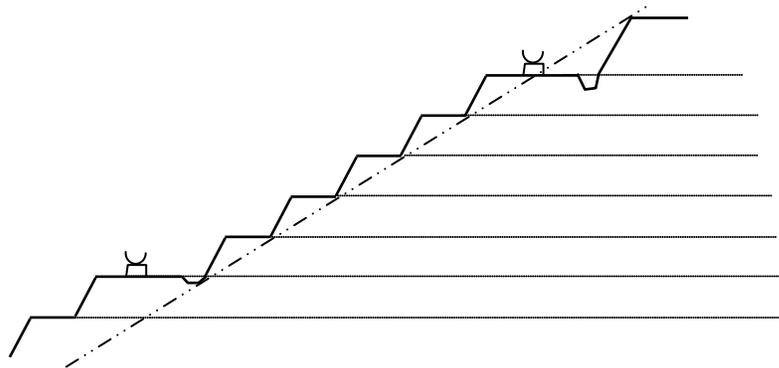


Figura No. 20. Escalones o plazoletas de trabajo y bermas.

El ángulo entre la línea perpendicular a la dirección del borde y que une los contornos superior e inferior y la horizontal, se llama ángulo del paramento de los bordes laboral o inactivo de la cantera. Su magnitud depende del estado del macizo, de la altura de los bancos y del ancho de las plazoletas. El ángulo del borde laboral de la cantera varía normalmente entre los  $7^\circ$  y  $17^\circ$  (a veces llega hasta los  $27^\circ$ ) y el del borde inactivo alcanza hasta  $25^\circ - 35^\circ$ .

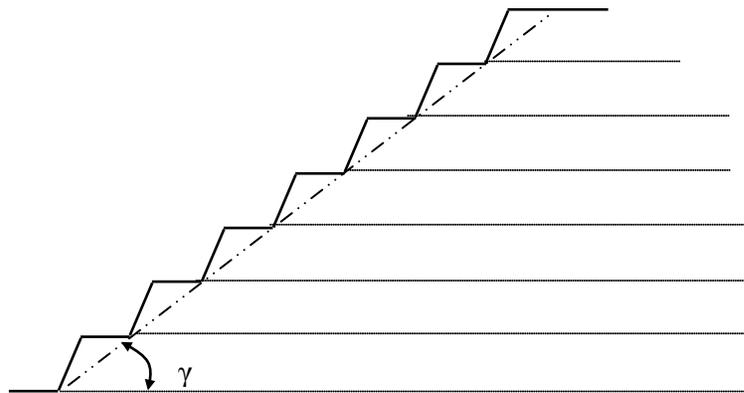


Figura No. 21. Ángulo del paramento de los bordes laboral o inactivo de la mina a cielo abierto.

Al conjunto de bancos que se encuentran en laboreo simultáneamente se le denomina zona laboral de la cantera. Su ubicación se determina por la cota de las plazoletas inferiores de los bancos superior e inferior que en el momento dado se encuentran trabajando.

La longitud del frente de los trabajos mineros de la cantera es la longitud sumaria de los frentes de trabajos de todos los bancos laterales.

Para introducir en el trabajo un nuevo banco es necesario crear un nuevo acceso hacia él del transporte y un frente inicial con la correspondiente plazoleta de trabajo.

Para ubicar las vías de transporte, por las que se desplazará la masa minera hacia la superficie o los escalones superiores es necesario aperturar el banco (cortar el horizonte) es decir, realizar desde la superficie o desde el banco superior excavaciones mineras espaciales (de apertura).

Estas excavaciones se unen por diferentes cotas y para eso tienen una determinada pendiente. Las excavaciones de apertura normalmente tienen una sección transversal aproximadamente trapezoidal o triangular y se llaman correspondientemente trinchera o semitrinchera maestra. Al laboreo de estas trincheras y semitrincheras se le denomina apertura del escalón (banco.)

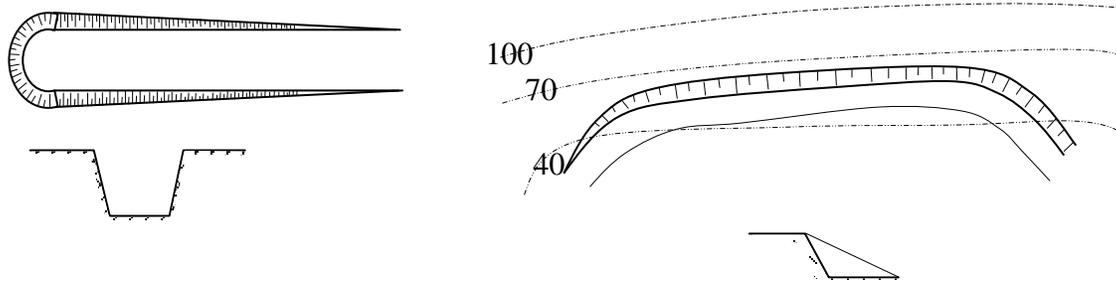


Figura No. 22. Trincheras de apertura

Para crear el frente de trabajo inicial en el escalón aperturado es necesario realizar, desde la excavación de apertura, una excavación minera horizontal (a veces con una pendiente no grande para evacuar el agua) que se denomina trinchera o semitrinchera de corte.

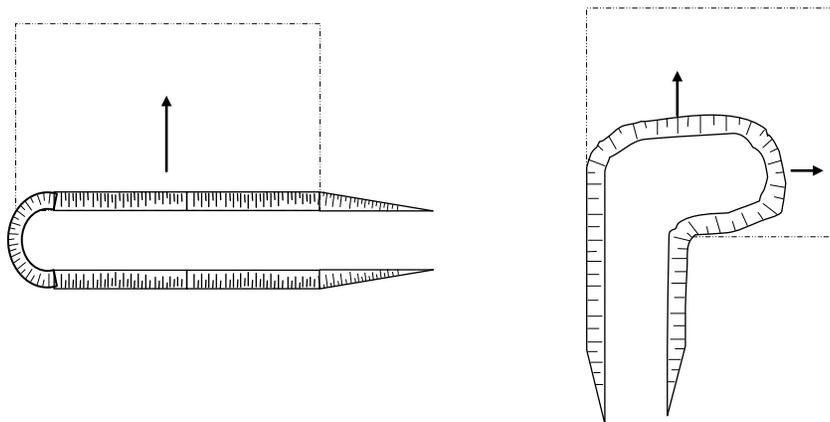


Figura No. 23. Trincheras de corte.

Todos los trabajos mineros en la cantera se componen de trabajos preparatorios (construcción de trincheras), trabajos de destape (arranque, traslación y ubicación de las rocas de destape) y los trabajos de extracción (arranque, transportación y almacenamiento del mineral útil).

Estos trabajos es necesario realizarlos en determinado orden, observando entre ellos los elementos y parámetros de las excavaciones mineras en que se realizan, determinadas relaciones y dependencias que permitan según las condiciones técnicas asegurar en cada momento el frente de los trabajos mineros necesario, en los bancos de destape y de extracción, la productividad y la seguridad del trabajo del equipamiento utilizado.

El orden de realización de los trabajos preparatorios, de destape y de extracción tomado, que asegura para un yacimiento dado la extracción segura, económica y total de las reservas balanceadas, se llama sistema de laboreo (sistema de explotación).

Al laborean los yacimientos minerales los rocas de destape se ubican bien en el espacio laboreado de la cantera, o bien en plazoletas elegidas especialmente para ello fuera de los límites del campo de cantera.

Al montón de rocas estériles o de mineral no condicionado se le llama escombrera. Las escombreras, ubicadas en el espacio laboreado de la cantera se llaman interiores, fuera de sus contornos exteriores.

### **I.5.- Conceptos sobre los coeficientes de destape.**

Un importante índice de la efectividad de los trabajos mineros a cielo abierto es la relación de los volúmenes de rocas de destape y de mineral extraídos en determinadas escalas en diferentes etapas de la actividad de la cantera.

La cantidad de rocas de destape en metros cúbicos o toneladas por metro cúbico o tonelada de mineral se llama coeficiente destape (k).

Se diferencian el coeficiente en volumen y el coeficiente en peso, en dependencia de si las rocas de destape y mineral se miden en m<sup>3</sup> o en toneladas. A veces el

coeficiente de destape se mide por la relacione entre el volumen de las rocas de destape y una tonelada de mineral ( $m^3/t$ ).

Para convertir los coeficientes de destape de unas dimensiones a otras se utilizan las formulas:

$$k \left( \frac{m^3}{m^3} \right) = k \frac{1}{\gamma} \left( \frac{m^3}{t} \right) = k \frac{\gamma'}{\gamma} \left( \frac{t}{t} \right)$$

Donde  $\gamma$  - densidad media del mineral,  $t/m^3$ .

$\gamma'$  - densidad media de los rocas de destape,  $t/m^3$

En dependencia de la forma de determinar la relación de los volúmenes de las rocas de destape y del mineral se diferencian los coeficientes de destape:

Medio

De explotación

De capa

De contorno

Corriente

Limite

De planificación.

Coeficiente medio de destape  $K_m$  ( $m^3/m^3$ ).

Es la relación entre el volumen de las rocas de destape en los contornos finales de la cantera  $V_{RD}$  y el volumen de mineral en estos mismos contornos  $V_m$ .

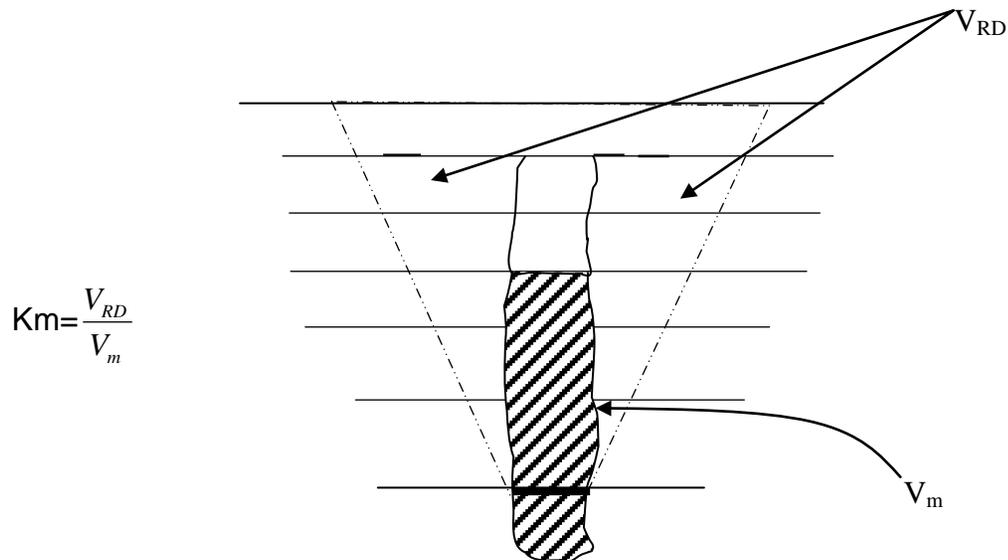


Figura No. 24. Coeficiente medio de destape

Coeficiente de destape de explotación,  $K_e$  ( $m^3/m^3$ ).

Expresa la relación entre los volúmenes de destape y de extracción en el periodo de explotación de la cantera.

$$K_e = \frac{V_{RD} - \sum_{i=1}^n V_{dconst}}{V_m - \sum_{i=1}^n V_{mConst}}$$

Donde

$V_{dconst}$  – Volúmenes de destape en el periodo de construcción de la cantera.

$V_{mConst}$  – Volúmenes de mineral extraído en el periodo de construcción de la cantera.

Cuando la potencia de las rocas de cubierta no es considerable y las reservas de mineral son grandes el valor de  $K_e$  no se diferencia sustancialmente de  $K_m$ .

Coeficiente de destape de capa,  $K_c(m^3/m^3)$ .

Se determina dividiendo el volumen de las rocas de destape  $V_c$  en las limites de una capa de la cantera entre el volumen de mineral  $V_{cm}$  en una misma capa.

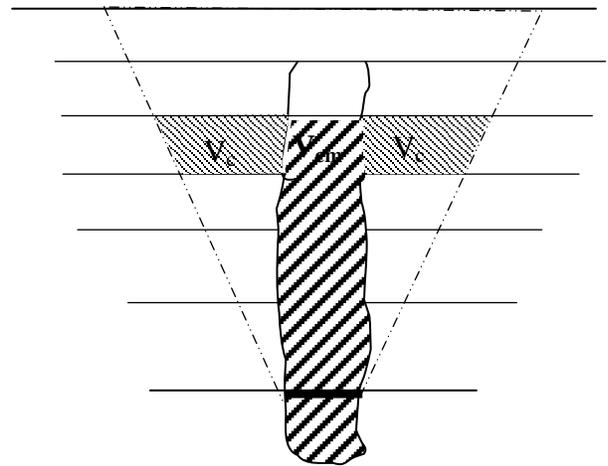


Figura No. 25. Coeficiente de destape de capa

$$K_c = \frac{V_c}{V_{cm}}$$

Normalmente la altura de la capa se toma igual a la altura del banco.

Coeficiente de destape de contorno,  $K_{co} (m^3/m^3)$ .

Expresa la relación entre el volumen de las rocas de destape  $\Delta V_R$  y el volumen de mineral  $\Delta V_m$  extraído de la cantera al ensanchar sus contornos.

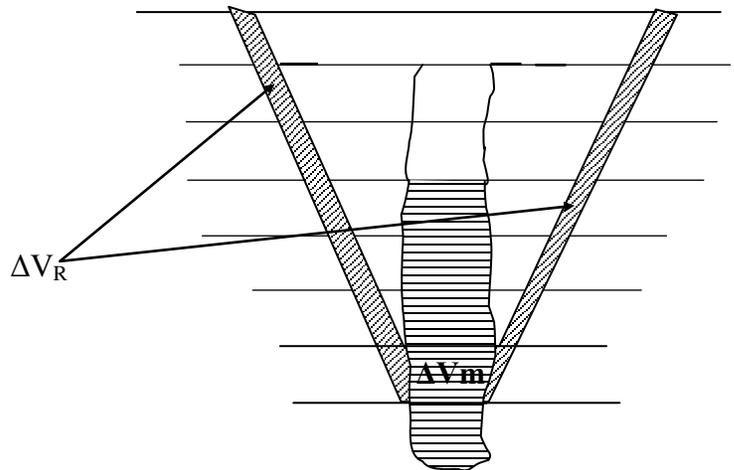


Figura No. 26. Coeficiente de destape de contorno.

$$K_{co} = \frac{\Delta V_R}{\Delta V_m}$$

Coeficiente de destape corriente,  $K_{COR}$  ( $m^3/m^3$ ).

Expresa la relación entre el volumen de las rocas de destape  $V_{COR}$  trasladadas de la cantera a la escombrera en un periodo determinado de tiempo y el volumen de mineral realmente extraído en este mismo periodo de tiempo  $V_{mCOR}$ .

$$K_{COR} = \frac{V_{COR}}{V_{mCOR}}$$

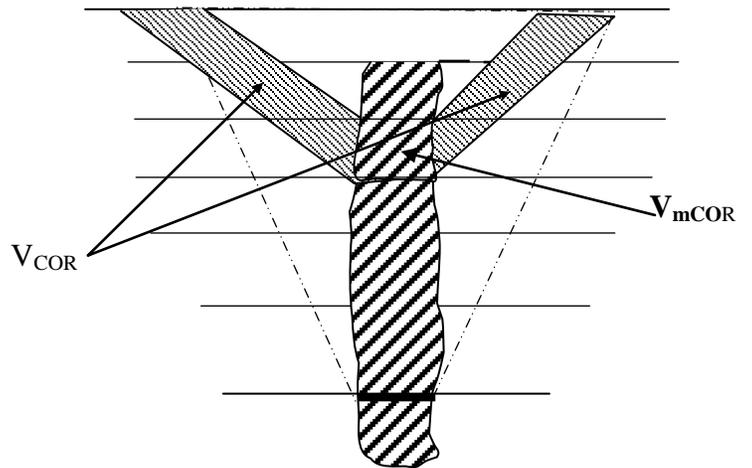


Figura No. 27. Coeficiente de destape corriente

Coeficiente de destape limite,  $K_I$  ( $m^3/m^3$ ).

Es un índice económico de cálculo que expresa el máximo volumen de rocas de destape trasladado de la cantera a la escombrera, permisible de acuerdo con las condiciones de rentabilidad a cielo abierto, por unidad de mineral.

$$K_I = \frac{C_M - C_P}{C_D}$$

$C_M$  Costo permisible del mineral en el yacimiento dado, pesos/ $m^3$

$C_P$  Gastos en los trabajos de extracción. Pesos/ $m^3$ .

$C_D$  Gastos en las trabajos de destape, pesos/ $m^3$ .

El coeficiente de destape limite sirve para establecer los limites de los trabajos a cielo abierto tanto en el plano como en profundidad.

Coeficiente de destape de planificación,  $k_p$  ( $m^3/m^3$ )

$$Kp = \frac{C_{PL} - C_{CM}}{C_{CR}}$$

Cpl - Costo de producción del mineral planificado, peso/m<sup>3</sup>

Ccm - Costo corriente de 1 m<sup>3</sup> de mineral, pesos;

Ccr - costo corriente de 1 m<sup>3</sup> de trabajo de destape, pesos;

Este coeficiente se utiliza para determinar el costo de producción del mineral, cuando se amortizan los gastos en el trabajo de destape en el proceso corriente de producción en los trabajos a cielo abierto.

### **Parámetros principales de las canteras**

Los parámetros principales de una cantera que caracterizan la escala de los trabajos a cielo abierto en uno u otro yacimiento son:

1. Profundidad final.
2. Dimensiones de la cantera según el rumbo y perpendicular al rumbo del cuerpo por la superficie. La longitud puede variar desde ciento de metros hasta varios kilómetros y el ancho en dependencia del tipo de yacimiento puede alcanzar también varios kilómetros.
3. Dimensiones del fondo de la cantera
4. Ángulos de los bordes de la cantera.
5. Volumen total de masa minera en los contornos de la cantera.
6. Reservas de mineral en el campo de cantera.

### **I.6.- Procesos productivos en los trabajos a cielo abierto**

Los trabajos mineros en las canteras se reducen a la *extracción, traslación y almacenamiento de los minerales y rocas de destape*.

Correspondientemente se diferencian los procesos tecnológicos (preparación de las rocas para la extracción, trabajos de excavación–carga, transportación de la masa minera, almacenamiento de las rocas estériles (formación de escombreras y la descarga y o almacenamiento del mineral). Si en la cantera se realiza el enriquecimiento primario o elaboración del mineral hasta el producto final, estos entran también entre los procesos principales.

A cada proceso básico corresponden trabajos auxiliares cuya realización asegura la realización del proceso básico o lo facilita. Junto con esto, en las canteras se realizan una serie de procesos auxiliares generales (Suministro de electricidad, ventilación, desagüe, muestreo de mineral, reparación del equipamiento y otros) que aseguran la realización de los trabajos mineros.

Los métodos básicos de mecanización de los procesos productivos son:

1. Mecánicos
2. Hidráulico
3. Combinado

En el método de excavación los procesos productivos básicos se realizan con diferentes medios mecánicos (excavadoras, diferentes tipos de transporte mecánico y otros); y en el hidráulico con el agua y equipamiento especial.

El método de excavación es el más universal y con el se realiza hasta el 95% del volumen de los trabajos mineros a cielo abierto.

El método hidráulico se utiliza principalmente para el laboreo de rocas de fácil lavado y transportación con agua, en presencia de fuentes de agua y energía eléctrica bastante barata.

### **Tipos y periodos de los trabajos mineros a cielo abierto.**

En dependencia del tiempo de realización los trabajos mineros a cielo abierto se subdividen en los siguientes períodos.

- Preparatorio
- Construcción
- Explotación
- Liquidación

En el período preparatorio se realizan los trabajos de preparación de la superficie (desvío de corrientes de agua, tala de bosques) y del macizo (desección y limitación de los flujos permanentes de aguas subterráneas) para los trabajos mineros. En este mismo período se realizan los trabajos de alejamiento y

almacenamiento de la capa vegetal con el fin de su utilización posterior, se construyen caminos, se construyen plazoletas para el montaje de equipos.

La preparación de la superficie, la desecación, el alejamiento y almacenamiento de la capa vegetal y otros trabajos se realizan también, como regla, en el período de explotación.

Al período inversionista o de construcción capital corresponden los trabajos iniciales para el alejamiento de las rocas de cubierta y encajantes para asegurar el acceso al mineral y realizar sistemáticamente los trabajos de destape y extracción. En este período se construyen las trincheras maestras y de corte y se crea un frente estable de los trabajos de destape y extracción. Estos trabajos se realizan también en el período de explotación. En la práctica la capacidad de producción proyectada se alcanza poco a poco, por lo que los trabajos de construcción capital se realizan al unísono con la explotación. La base del período de explotación son los trabajos de destape y extracción.

El período de liquidación de los trabajos mineros, está relacionado, como regla, con la culminación de los trabajos en los bancos de destape y extracción, por la terminación de las reservas, el desmontaje de equipos, las vías de transporte.

## **PARTE II. APERTURA PREPARACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LOS CAMPOS DE MINAS Y NUEVOS HORIZONTES A CIELO ABIERTO.**

### **II.1.- Clasificación de los sistemas de apertura en las minas a cielo abierto.**

Los trabajos mineros se dividen en dos grupos por su participación en la formación de la cantera o mina a cielo abierto:

- Laboreo de las excavaciones mineras y construcciones e instalaciones para garantizar el enlace del transporte en la mina, estos son los trabajos relacionados con la apertura del yacimiento.
- Realización del destape y la extracción, estos son los trabajos mineros relacionados con los sistemas de explotación.

La definición dada demuestra que la tarea general de la apertura del yacimiento que consiste en una serie de tareas particulares - apertura y preparación de horizontes separados -. Por ejemplo trincheras de entrada que realizan la apertura a cada escalón en conjunto forman el sistema de trincheras, que representan el método de apertura del yacimiento por trincheras.

Al analizar el primer aspecto se puede decir que para la apertura de los yacimientos se construyen trincheras o semitrincheras y bermas de transporte en los horizontes.

El método de apertura de los horizontes de trabajo se caracteriza por la forma de las excavaciones de apertura.

*La apertura de los yacimientos horizontales y poco profundos termina cuando la cantera entra en la explotación con la potencia de producción completa.*

*En los yacimientos inclinados y abruptos es característica la entrada permanente en explotación de nuevos horizontes en profundidad, por lo que la apertura, a medida que se laboreo el yacimiento, se hace más compleja.*

Los factores básicos que influyen sobre los índices técnicos económicos de la apertura son:

- Numero y volumen de las excavaciones de apertura y los gastos para su construcción,
- Tiempo de apertura de los horizontes y plazo de construcción total de la cantera.
- Distancia de transportación y gastos para este proceso productivo.

La apertura de los yacimientos debe asegurar el normal funcionamiento de los flujos de cargas previstos en la cantera.

Al proyecta la apertura es necesario considerar que la máxima cantidad de masa minera se transporta por las trincheras y caminos principales. El tramo de vía que tiene la traza más compleja y el peor perfil, se denomina tramo limitante.

Según el tramo limitante se realizan los cálculos básicos del transporte.

En el nivel actual de desarrollo de las empresas mineras de extracción, la apertura del campo de cantera puede realizarse de las formas siguientes:

- Con excavaciones mineras a cielo abierto (trincheras y semitrincheras, presas, canales)
- Con excavaciones mineras subterráneas (socavones, pozos)
- Con la combinación de las excavaciones mencionadas.

La mayor difusión en la actualidad la ha obtenido el *método de apertura con trincheras*. Los demás métodos tienen una utilización limitada, relacionada con condiciones minero-geológicas específicas, por ejemplo: la combinación de piqueras y socavones para la explotación de yacimientos en las laderas de las montañas y cuando la cantera está situada por encima de las cotas que prevalecen en la superficie; la apertura con presas y canales se utiliza durante la explotación de placeres.

## **II.2.- Elementos y parámetros de las trincheras.**

En la Figura No.28, se muestra una trinchera de apertura, es una excavación minera inclinada que sirve para la ubicación en ella de las vías de comunicación y se transporte por ellas el mineral útil y las rocas de destape.

Las trincheras se caracterizan por los siguientes elementos y parámetros:

- . Ancho por el fondo ( $b$ )
- . Ángulo de los laterales ( $\alpha$ )
- . Profundidad final (igual a la altura del escalón)( $h$ )
- . Longitud ( $L1$ ,  $L2$ )
- . Pendiente.

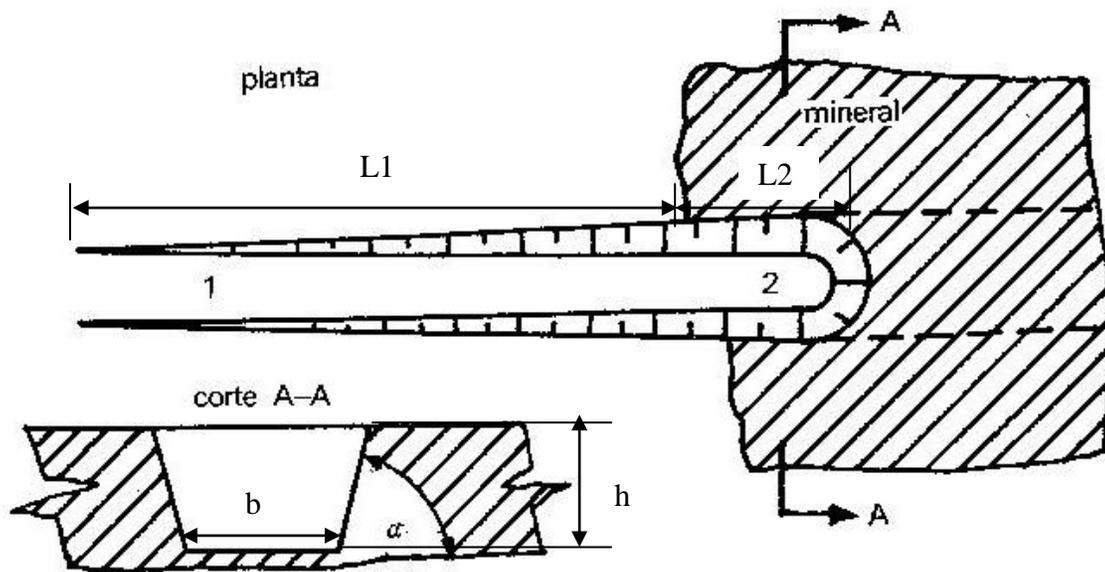


Figura No. 28. Excavaciones mineras a cielo abierto; 1. Trinchera de apertura, 2. Trinchera de corte.

Las trincheras tienen varias clasificaciones en dependencia de diversos factores, a continuación trataremos las más empleadas.

**I. Las trincheras de apertura**

(de entrada o maestra) terminan cuando se alcanza la cota del horizonte a preparar.



Partiendo de su ubicación

**Exteriores**

**O**

**Interiores**

Figura No.29 y 30

Plazo de servicio

**Estacionarias** (capitales),

**Semiestacionarias** (en el bordo de la cantera temporalmente inactivo)

**Temporales** (en el bordo de trabajo).

**II. Trinchera de corte.** Se laborea a partir de la trinchera de apertura y es una excavación preparatoria horizontal, la cual crea el frente de trabajo en dicho horizonte .

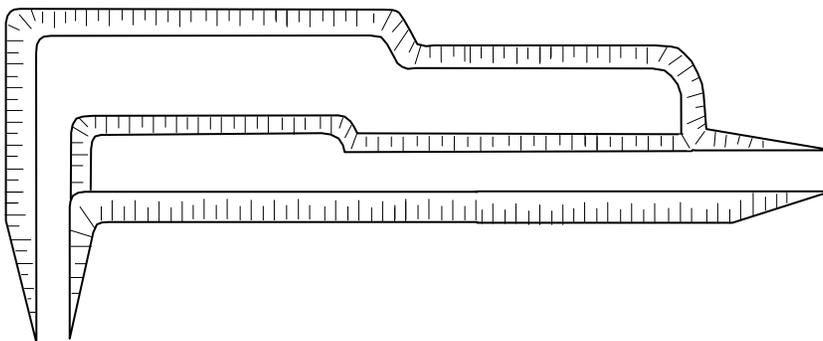


Figura No.29. Trincheras de apertura exteriores

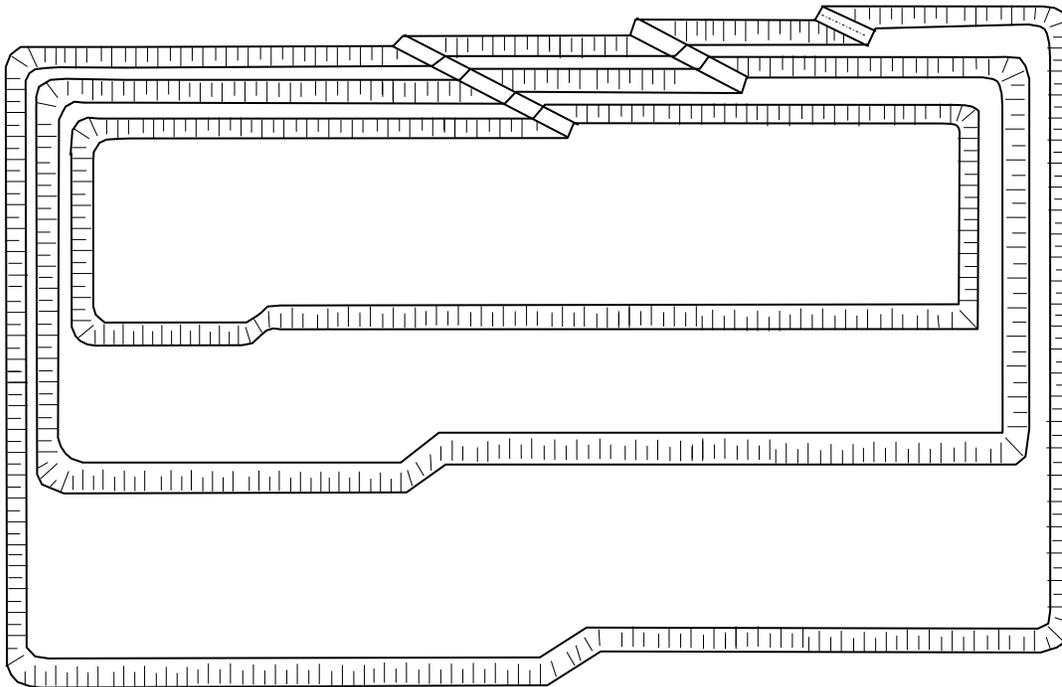


Figura No.30. Trincheras de apertura interiores

Las trincheras de apertura y de corte poseen profundidad final igual a la altura del escalón, sin embargo las de entrada varían su profundidad proporcionalmente a la longitud, alcanzando el valor máximo cuando llega al horizonte que se pretende explotar.

Los ángulos de los bordes de las trincheras independientemente de las funciones de estas se determinan a partir de las propiedades físico-mecánicas de las rocas.

La pendiente "i" de las trincheras de corte como regla es igual a cero (en ocasiones se deja un desnivel muy pequeño para el desagüe, en las de apertura se determina en dependencia del tipo de transporte.

*La longitud de las trincheras de apertura se determina a partir de su pendiente y la altura del escalón (h), en los gráficos mineros se observa la proyección de la trinchera en el plano horizontal. La longitud de las trincheras de corte se determina en base a la longitud del bloque a preparar y el tipo de transporte utilizado.*

El ancho de las trincheras por el fondo (b) se establece fundamentalmente a partir de los equipos mineros y de transporte utilizados en sus labores y los futuros equipos de explotación.

Cada trinchera de apertura resuelve una tarea particular, preparar un nuevo horizonte (tarea general para yacimientos horizontales de poca profundidad). Durante la explotación de los yacimientos horizontales, inclinados o abruptos, de gran profundidad, simultáneamente se encuentran en explotación gran cantidad de escalones, entonces se emplean las trincheras separadas (Figura No. 31) que sirven para garantizar el enlace entre dos escalones contiguos; se unen en una red de transporte única y tiene lugar un *sistema de trincheras*, que permite realizar el enlace con los puntos de recibimiento de la masa mineral, (escombreras, depósitos intermedios, plantas de beneficio).

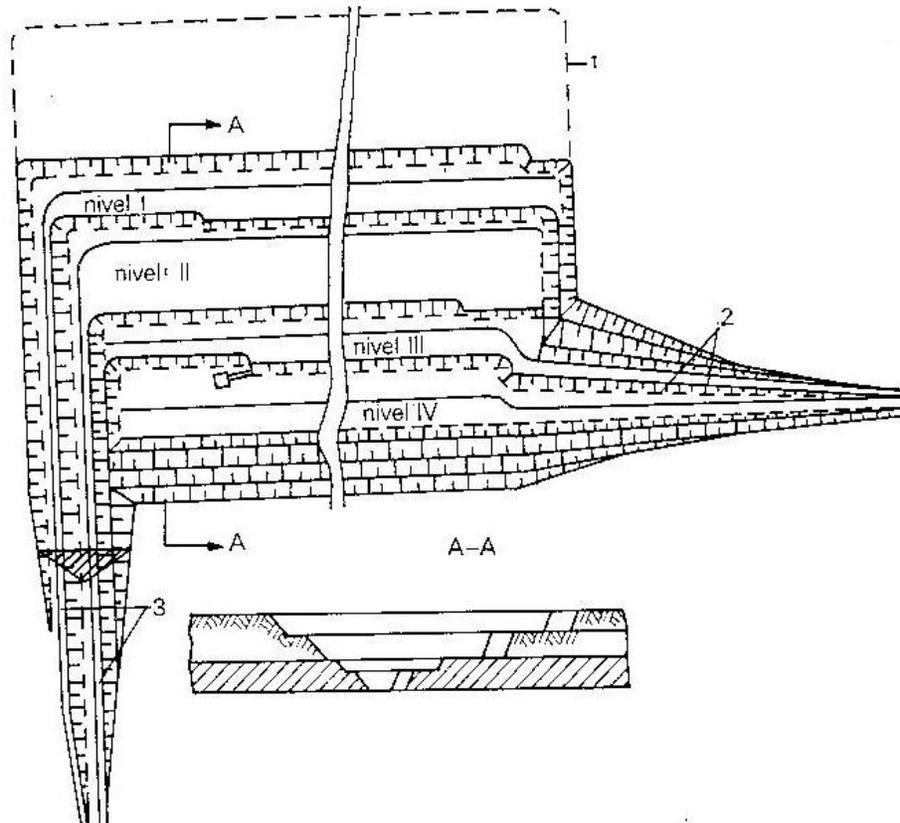


Figura No. 31. Apertura con trincheras separadas; 1, límite del campo de mina (de cantera); 2, trincheras de los niveles III y IV; 3, trincheras de los niveles I y II.

Si la apertura se realiza en las laderas de las montañas, el perfil de la trinchera es incompleto, y se denomina **semitrinchera**.

Si la apertura se ejecuta con un sistema de trincheras interiores, ubicadas dentro del contorno de la cantera, en el proceso de formación de la zona de trabajo, un borde de la trinchera se explota y esta se convierte en una **semitrinchera**.

**El método de apertura con trincheras incluye más de una variante**, uno de los criterios fundamentales es la ubicación recíproca del sistema de trincheras en el espacio.

**Apertura con trincheras sucesivas interiores** (para canteras de forma circular), durante el paso de un escalón a otro la dirección del movimiento de los medios de transporte no varía (Figura No. 32 y Figura No. 42)

. **Apertura con trincheras cerradas interiores** (con transporte automotor en forma de lazo), el sentido del movimiento de los medios de transporte varía de escalón en escalón. Figura No. 43)

. **Apertura con trincheras combinadas**. El sentido del movimiento durante el ascenso o descenso de los escalones varía cada 3-4 escalones.

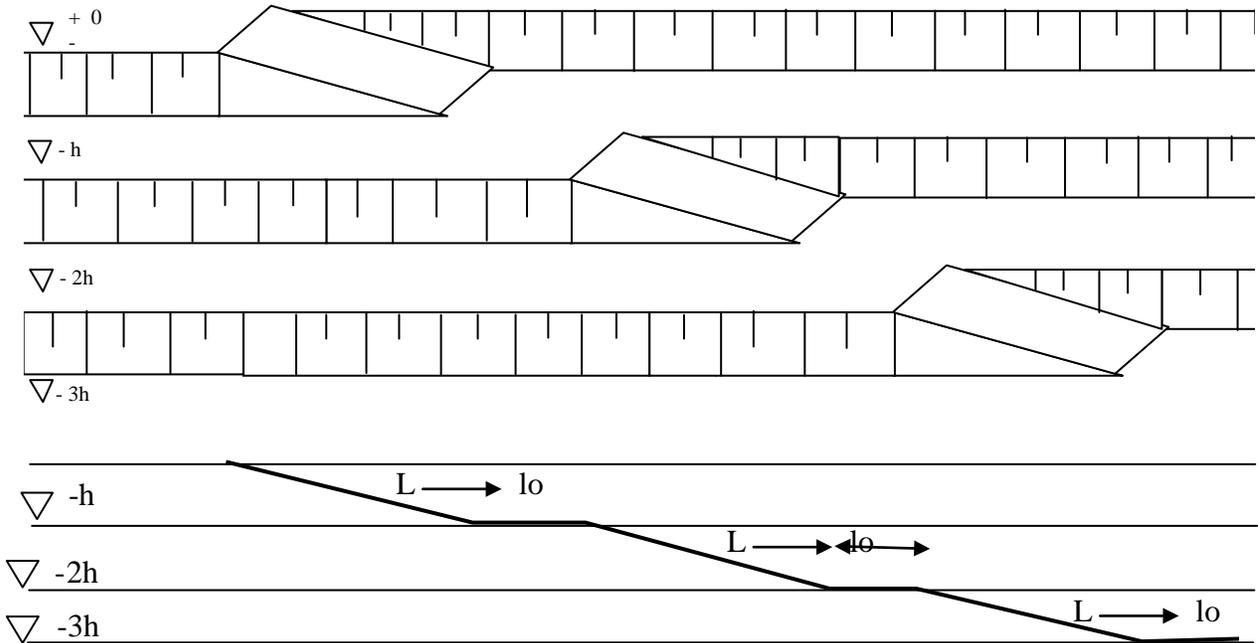


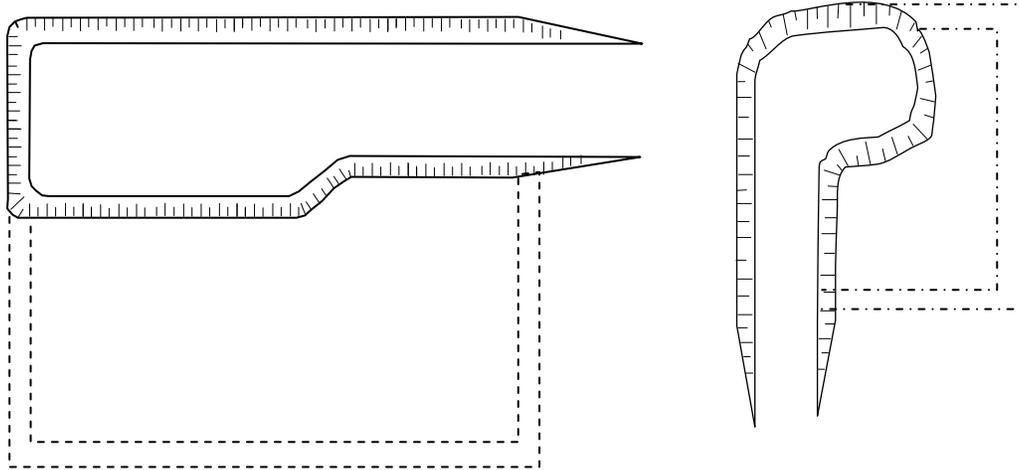
Figura No. 32 . Vista en planta y perfil de apertura con trincheras sucesivas .

$L$  – longitud de la trinchera.

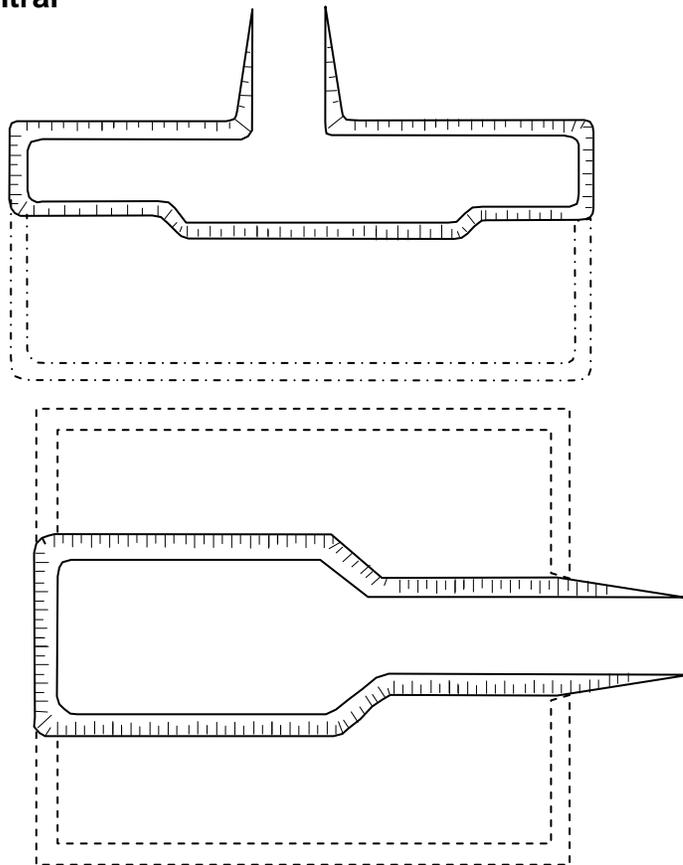
$Lo$  – longitud de la plazoleta de intercepción.

$H$  – altura del escalón.

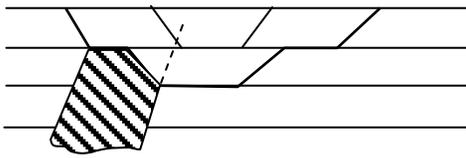
Apertura de flanco



Apertura Central



**Apertura por el costado yacente colgante.**



**Apertura por el costado**

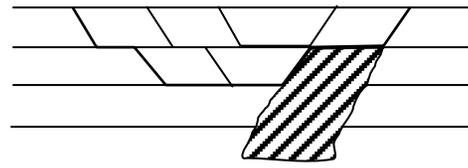


Figura No.33. Apertura por la ubicación de las excavaciones con relación al campo de cantera.

**Apertura Por el número de escalones a que sirven**

Separadas (un escalón).

De grupo (un grupo de escalones)

Generales (todos los escalones)

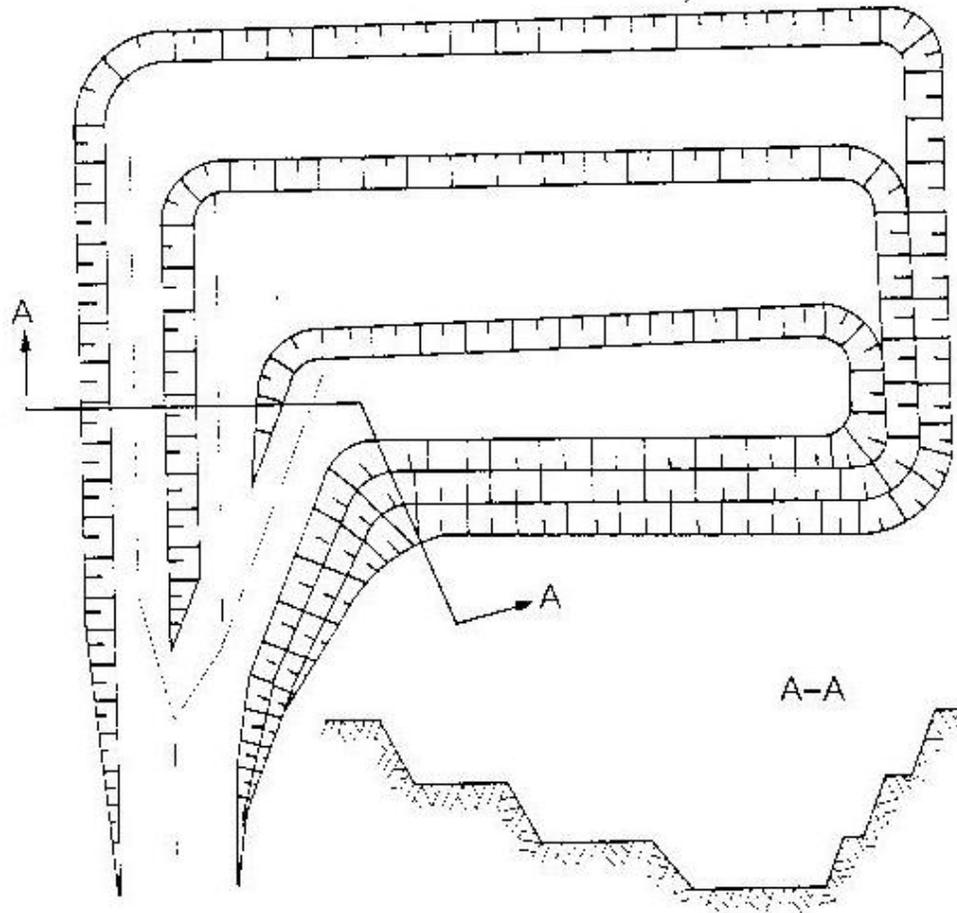


Figura No.34. Apertura con trincheras de grupo

**Por el número de trincheras que aperturan un escalón**

Unitarias (una trinchera)

Pares (dos trincheras)

Las trincheras pares permiten organizar el movimiento de los medios de transporte por separado, gracias a lo cual mejoran los índices de utilización de los equipos en el tiempo. Se utilizan como regla, en las canteras no muy profundas o para la apertura de los horizontes superiores de las canteras profundas.

Estos son los métodos de apertura con trincheras, cada uno de los cuales se desarrolla a medida que avanzan los trabajos mineros en la cantera en dirección horizontal y profundidad.

### **II.3.- Métodos de laboreo de trincheras.**

La apertura y preparación de nuevos horizontes de trabajo en las canteras garantizan el aseguramiento de la estabilidad o el aumento de la longitud del frente mineral, es decir, la estabilidad o el aumento de la productividad mineral de la cantera.

De la velocidad de laboreo de la trinchera depende la duración de la apertura y preparación de nuevos horizontes, la presencia o la ausencia de un frente suficiente de extracción o destape, por lo anteriormente expuesto, existe la tendencia de aumentar siempre la velocidad de laboreo de las trincheras.

#### **Los métodos existentes de laboreo se pueden dividir en dos grupos:**

- . Laboreo directo a toda profundidad con frente continuo;
- . Laboreo por capas, el frente se divide en capas verticales.

#### **A partir de la ausencia o presencia de los medios de transporte existen los siguientes métodos de laboreo.**

- . Con transporte;
- . Sin transporte;
- . Métodos combinados.

A continuación se analizan algunos ejemplos de los más característicos.

#### **II.3.1.- Laboreo de trincheras con transporte ferroviario a toda su profundidad.**

El ancho de la trinchera por el fondo se determina a partir de las condiciones de ubicación de la franja de transporte y el montón de rocas explosionadas.

$$b = x \times a + A$$

Donde:

x - ancho del montón de rocas;

a - ancho de la franja (banda) de transporte que incluye una o dos vías y la cuneta;

A - ancho de la banda de perforación.

Habitualmente para una sola vía (a=8 m, b=29-36 m), para dos vías (a=15 m, b=36-45 m).

- A partir de la condición de ubicación de los equipos de carga y transporte (Figura No.35 A, B y C y 36 ).

$$b = d_1 + d_2 + k$$

Donde:

$d_1$  - distancia desde el eje de la excavadora hasta el borde de la trinchera, m;

$$d_1 = r + \frac{0.8}{\sin \alpha} - h_p \times \text{Cota}$$

$d_2$  - distancia desde el eje de la excavadora hasta el eje de la vía férrea, con el brazo estirado al máximo;

r - radio de giro de la parte trasera de la excavadora;

0.8 - distancia mínima entre la parte trasera de la excavadora y el borde de la trinchera;

$h_p$  - altura desde la superficie del fondo de la trinchera hasta la plataforma de la excavadora;

k - distancia entre el eje de la vía férrea y el borde de la trinchera, (k=5 m).

- Considerando el giro libre de la parte trasera de la excavadora (durante la carga superior).

$$b = 2d_1$$

Habitualmente b=10-20 m.

En la Figura 35A. una pala mecánica laboreo una trinchera en un frente cerrado, a toda su altura. En este caso el ancho de la trinchera por el fondo se determina por la expresión:

$$b = a + x + A$$

En la Figura 35B, el laboreo se realiza con parejas de excavadoras, la que se encuentra en el frente, carga el último vagón, y entre uno y otro le prepara un montón de rocas a la segunda excavadora.

En este caso dos excavadoras cargan simultáneamente 2-3 vagones, ello disminuye considerablemente el tiempo de carga de los trenes y aumenta la velocidad de laboreo de la trinchera.

El ancho de la trinchera por el fondo se determina por la expresión:

$$b = d_1 + d_2 + k$$

En la Figura 35C, una pala mecánica laborea una trinchera con carga superior y ancho por el fondo  $b=2d_1$ .

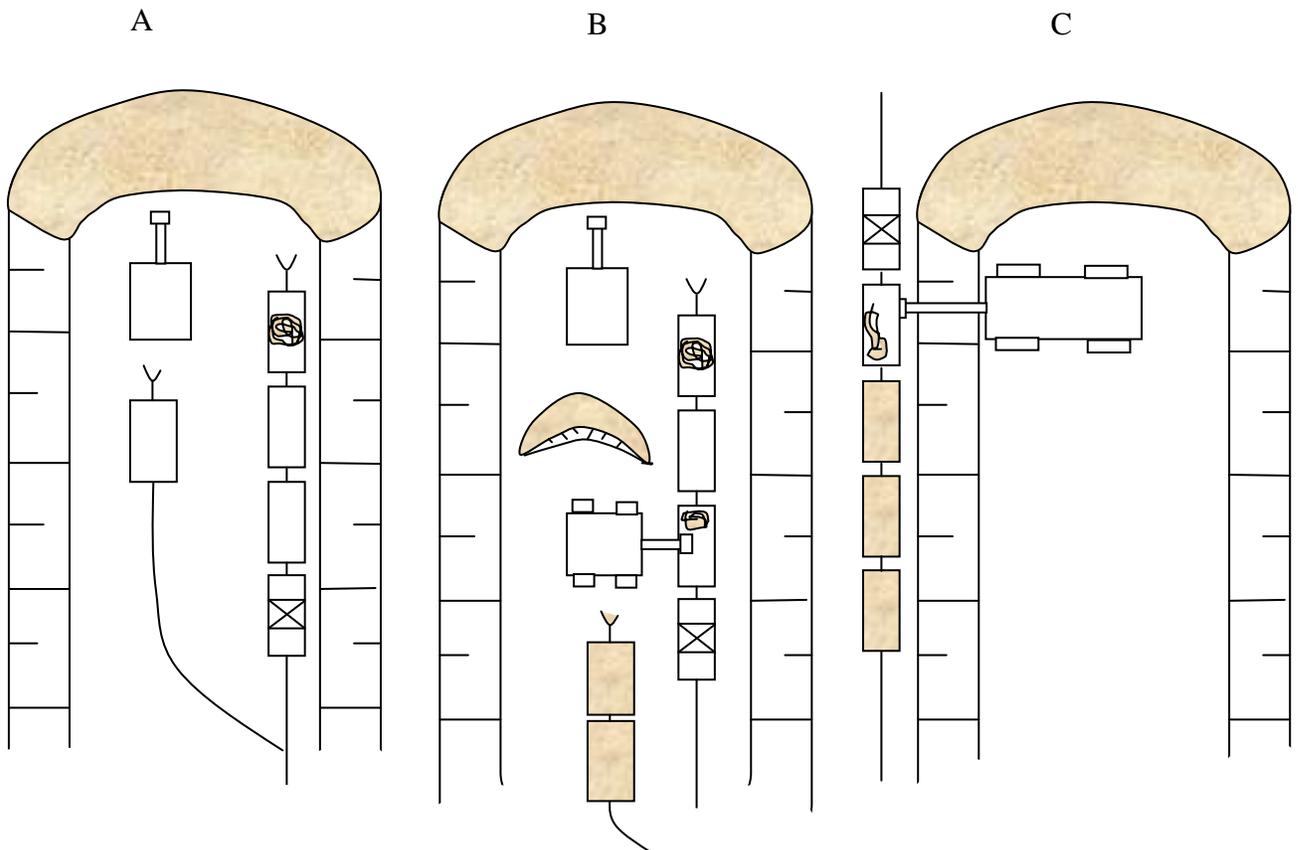


Figura No.35. Laboreo de trincheras con transporte ferroviario a toda su profundidad.

### II.3.2.- Laboreo de trincheras por capas con transporte ferroviario.

Este método se utiliza para aumentar la velocidad de construcción de la trinchera, parte del aumento de la cantidad de equipos.

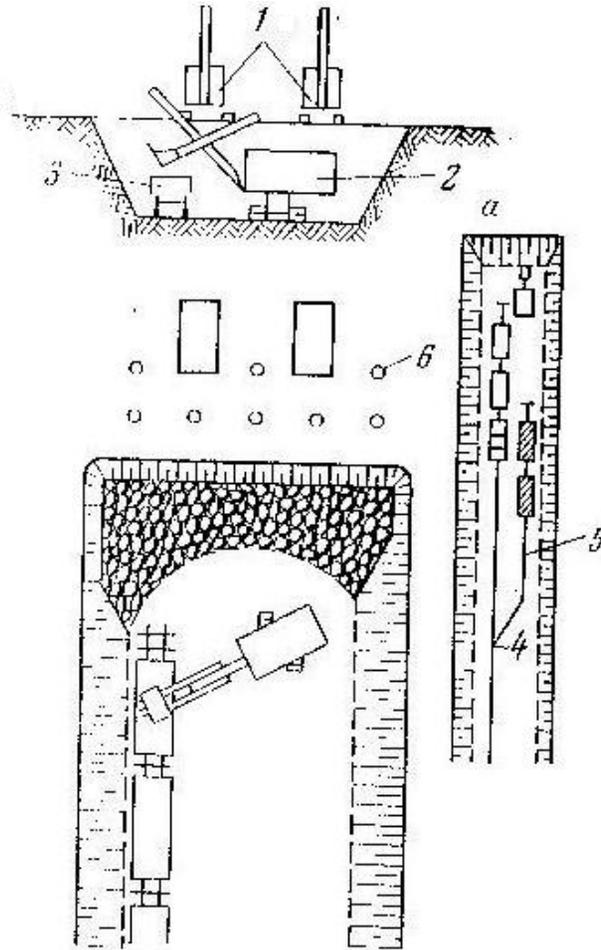


Figura No 36. Excavación de una trinchera con tajo largo con carga inferior de la roca en vagones ferroviarios.

**Existen los siguientes métodos de laboreo por capas:**

- . Laboreo de las capas a todo su ancho, Figura No. 37A.
- . Arranque con capa superior e instalación de las vías en un solo borde, (Figura No. 37B)

. Arranque con carga superior e instalación de las vías en ambos bordes,  
(Figura No 37C).

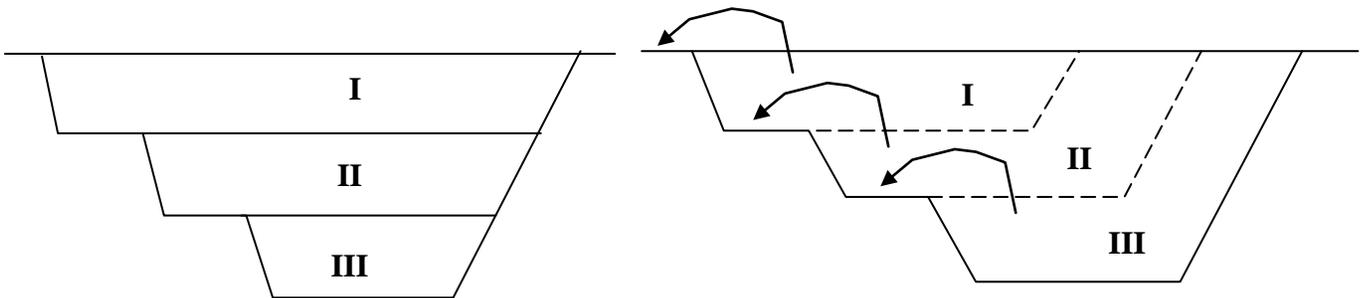


Figura No. 37A. Laboreo de las capas a todo su ancho

Figura No. 37B. Arranque con capa superior e instalación de las vías en un solo borde.

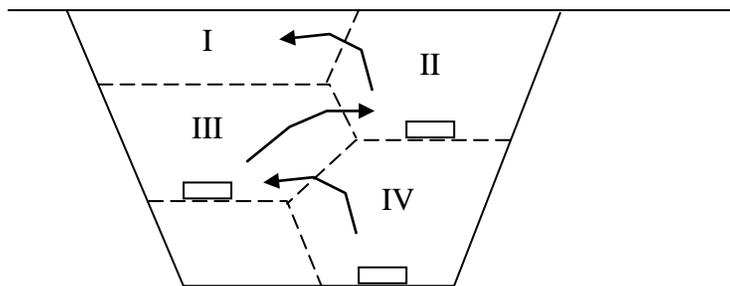


Figura No. 37C. Arranque con carga superior e instalación de las vías en ambos bordes.

En la Figura No38 Se muestra el laboreo de una trinchera por capas con carga superior, en este caso en cada capa el ancho de la trinchera por el fondo  $b_1=2d_1$ . El ancho del fondo cuando se alcanza la profundidad final (b) depende de los equipos y se calcula fácilmente.

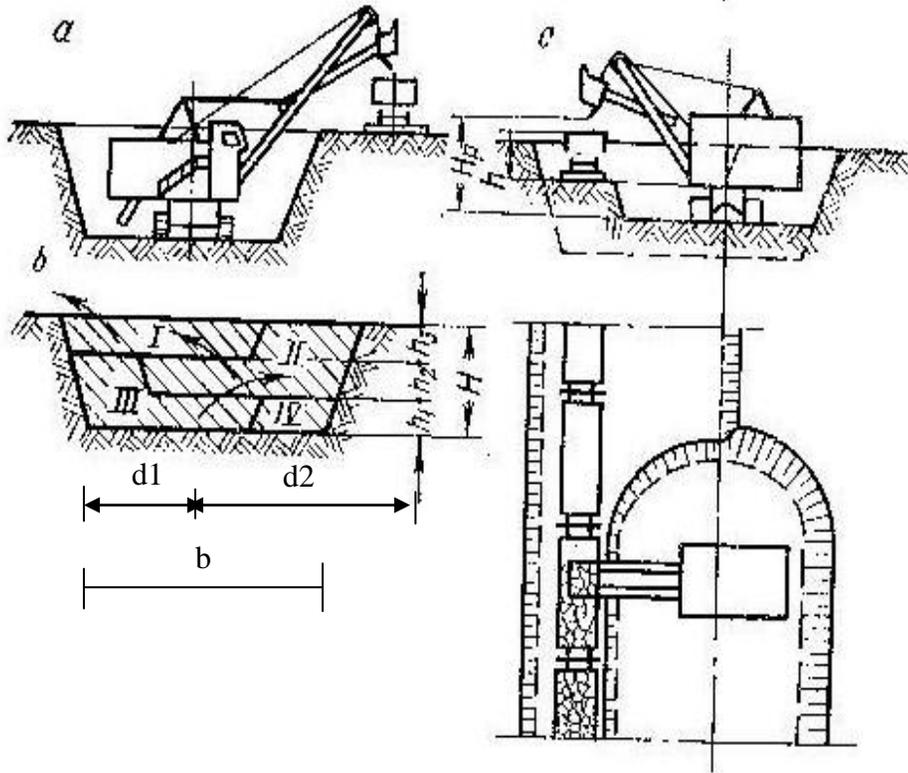


Figura No.38. Laboreo de una trinchera por capas con carga superior

### II.3.3.- Laboreo de trincheras con transporte automotor a toda la altura del escalón.

Los esquemas más difundidos son los cerrados o con giros circulares de los camiones.

El esquema cerrado se muestra en la Figura No. 39A, el ancho de la trinchera por el fondo se puede determinar por la siguiente fórmula:

$$b = 2d + R + l_c + \frac{x}{2}$$

donde:

d - distancia desde el borde del camión hasta el borde de la trinchera;

R - radio de giro del camión;

$l_c$  - longitud del camión;

$x$  - ancho del camión.

En dependencia de la marca del camión el valor de “ $b$ ” oscila entre 25 -30 m.

En la Figura No.39B, está representado el esquema de laboreo de una trinchera con giros circulares del camión. El ancho de la trinchera por el fondo será:

$$b = 2\left(d + \frac{x}{2}\right) + 2R = 2(d + R) + x$$

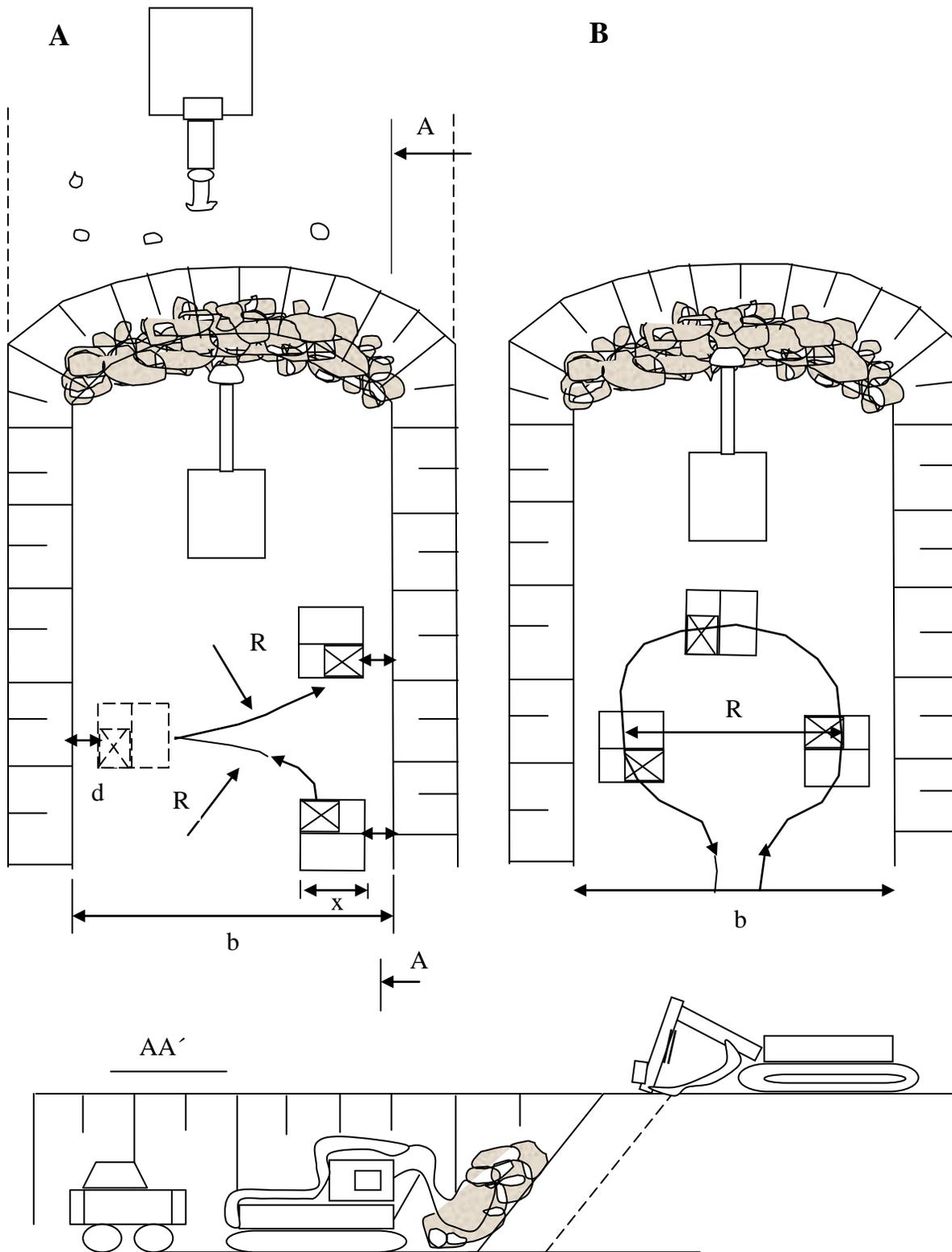


Figura No.39. Laboreo de trincheras con transporte automotor a toda la altura del escalón.

En la conclusión del análisis de los métodos de laboreo de trincheras con transporte se mostrará el esquema con transporte, sin transporte y transporte combinado. La trinchera se laboreo en rocas duras, después de la perforación y el mullido, la trinchera se divide en dos capas. La superior es cargada al transporte ferroviario ubicado en el borde de la trinchera (carga superior), la capa inferior es cargada al transporte automotor en este caso con esquema cerrado. El ancho de la trinchera por el fondo depende del método de llenado de los camiones por la excavadora.

### **II.3.4.- Métodos de laboreo sin utilización de transporte.**

Se utilizan para el laboreo de trincheras en rocas de fortaleza  $f = 2-4$  en la escala de Protodiakonov con excavadoras de arrastre (dragalinas).

En este método se prevé la ubicación de las rocas en los bordes de la trinchera. Los esquemas se diferencian por la ubicación de las rocas y por la construcción de los frentes, existen los siguientes métodos:

- . Frente de arranque de extremo, con ubicación de las rocas en ambos lados de la trinchera.
- . Frente de extremo con ubicación de las rocas en un solo lado de la trinchera.
- . Frente lateral con ubicación de las rocas en un solo lado de la trinchera.

El cálculo de los parámetros del laboreo consiste en la comprobación de la correspondencia de los parámetros de la excavadora, la trinchera y la escombrera. Esta combinación se realiza determinando la posibilidad de ubicación del volumen de rocas extraído de la trinchera en la escombrera situada su borde.

$$S_o = K_e \times S_t$$

Donde:

$S_o$  - área de la sección transversal de la escombrera;

$S_t$  - área de la sección transversal de la trinchera;

$K_e$  - coeficiente de esponjamiento de las rocas.

Los parámetros fundamentales que se calculan son los siguientes:

- . Altura de la escombrera;
- . Profundidad de la trinchera;
- . Ancho de la trinchera por la superficie.

El ancho de la trinchera por el fondo se determina a partir de la ubicación de los equipos mineros y de transporte.

En la Figura No.40, se muestran los parámetros del laboreo de una trinchera con frente de extremo y ubicación de las rocas en ambos lados.

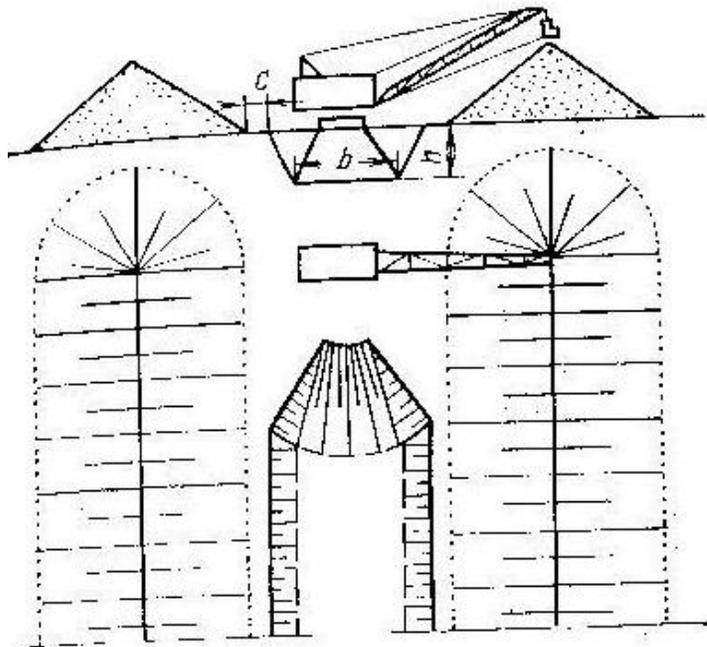


Figura No.40. Frente de arranque de extremo, con ubicación de las rocas en ambos lados de la trinchera.

En las figuras mostradas aparecen de manera general los siguientes parámetros:

- .  $R_d$  - radio de descarga de la dragalina;
- .  $b_s$  - ancho de la franja de seguridad ( $b_s \cong 3$  m);

- .  $\alpha$  - ángulo de los bordes de la trinchera;
- .  $\alpha_o$  - ángulo de los bordes de la trinchera con frente lateral;
- .  $\beta$  - taludes de las escombreras;
- .  $K_e$  - coeficiente de esponjamiento de las rocas;
- .  $b$  - ancho de las trincheras por el fondo;
- .  $B$  - ancho de la trinchera por la superficie;
- .  $H$  - profundidad de la trinchera;
- .  $H_a$  - profundidad de arranque de la excavadora;
- .  $H_o$  - altura de la escombrera;
- .  $R_a$  - radio de arranque de la excavadora;
- .  $l_g$  - distancia desde el eje de la excavadora hasta el borde superior de la trinchera.

#### **Velocidad de laboreo de la trinchera.**

Depende de la productividad de los equipos que trabajan en el laboreo de la misma, y la sección transversal de ella.

$$V = \frac{Q}{S_t}$$

Donde:

$V$  - velocidad de laboreo, m/mes;

$Q$  - productividad mensual de la excavadora,  $m^3/mes$ ;

$S_t$  - sección transversal de la trinchera,  $m^2$

#### **II.4.- Grafico de organización de los trabajos de apertura y preparación de nuevos horizontes.**

Las fórmulas expuestas anteriormente nos dan la posibilidad de establecer teóricamente el límite superior de la velocidad de profundización de la cantera. Pero ello en gran medida depende de factores organizativos, por ello para la determinación exacta de la velocidad de profundización de los trabajos mineros en la cantera se debe analizar la organización de los mismos. El método más utilizado es el propuesto Longitud = f(Tiempo) propuesto por el Prof. Arsentiev A.A.

El gráfico  $L=f(T)$  permite analizar y programar cualquier variante de organización de la profundización en cualesquiera de las condiciones de trabajo, determinar el tiempo de apertura y preparación de nuevos horizontes, este se halla como un intervalo de tiempo entre dos posiciones similares de los trabajos mineros durante la preparación y apertura de los escalones contiguos.

El tiempo de preparación y apertura del nuevo horizonte representa la base para la determinación de la velocidad de profundización de la cantera, y esta a su vez es la base para la determinación de la productividad de la cantera. Aquí radica la importancia de la organización de los trabajos de apertura y preparación de nuevos horizontes.

Analicemos en un ejemplo simple el orden de ejecución del gráfico  $L=f(T)$ . En la (Figura No.41) está representado un plan conjunto de dos horizontes, de acuerdo con este dibujo el horizonte 1 fue aperturado por la trinchera de apertura AB, con longitud de 200 m y preparado por la trinchera de corte BC con longitud de 800 m (los valores numéricos se dan para mayor evidencia). Si en el laboreo trabaja una sola excavadora, después de terminar la trinchera de corte comenzará a trabajar en la banda "i", ensanchando la trinchera, después en las bandas "k, l, m", hasta que no sea extraído el volumen  $V_1$ , que permite la apertura y preparación del horizonte 2.

Teniendo un ancho de plazoleta normal (B), el frente de trabajo en el horizonte 1 ( $L_f$ ) ocupa la posición  $D_f$ . De esta manera se garantiza la posibilidad de profundización de la cantera hasta el horizonte 2.

Si existe la necesidad, la excavadora comenzará inmediatamente el laboreo de la trinchera de entrada  $A^1B^1$  y después la de corte  $B^1C^1$ .

El tiempo de preparación de nuevos horizontes (T) se determina como el intervalo de tiempo entre dos situaciones similares de los trabajos mineros en los horizontes contiguos.

En el caso analizado los puntos C y  $C^1$  que corresponden a la

determinación del laboreo de las trincheras de corte en los horizontes 1 y 2, de acuerdo con el gráfico  $T=2.5$  años. La velocidad de profundización puede ser determinada por la siguiente expresión:

$$h_p = \frac{h}{T}$$

Donde:  $h_p$  - velocidad de profundización, m/año;

$h$  - altura del escalón, m.

Para aumentar la velocidad de profundización es necesario disminuir el tiempo de preparación de los nuevos horizontes. Con este objetivo se utilizan varias excavadoras durante la preparación de los nuevos horizontes. Si en el caso visto utilizamos dos excavadoras, la primera laborea las trincheras de apertura, el frente de trabajo se divide en dos bloques,  $L_{b1} = L_{b2} = 400$  m. La segunda excavadora comienza a trabajar en el desplazamiento del borde de la trinchera en el bloque  $b_1$ , cuando la excavadora  $N_1$  ha laboreado la trinchera a una distancia tal que permite el trabajo de la segunda, que va más rápido (debido a que la sección transversal de la banda es menor que la de la trinchera) y que esta no se acerque a una distancia menor que 150 m.

En el caso analizado la segunda excavadora puede comenzar 3.5 meses después que la primera. La excavadora  $N_1$ , después del laboreo de la trinchera pasa al bloque  $b_2$ , para desplazar el borde de la trinchera. La excavadora  $N_2$  al terminar el horizonte 1, puede pasar a laborear la trinchera de apertura  $A^{11} B^{11}$  y la de corte  $B^{11} C^{11}$ . Aquí también hay que observar la distancia mínima de 150 m hasta la excavadora  $N_1$  que trabaja en el ensanchamiento de la trinchera en el bloque 2.

La utilización de dos excavadoras permitió disminuir el tiempo de preparación del nuevo horizonte hasta  $T_1=1.2$  años y de esta manera aumenta significativamente la velocidad de profundización.

En gráfico  $L=f(T)$ , de la Figura No. 41 el trabajo de las excavadoras se representa

con líneas, puesto que las secciones de las trincheras son estables, y como las secciones de las bandas no son estables, el trabajo de las excavadoras en el ensanchamiento de las trincheras se representa en forma de área (superficie).

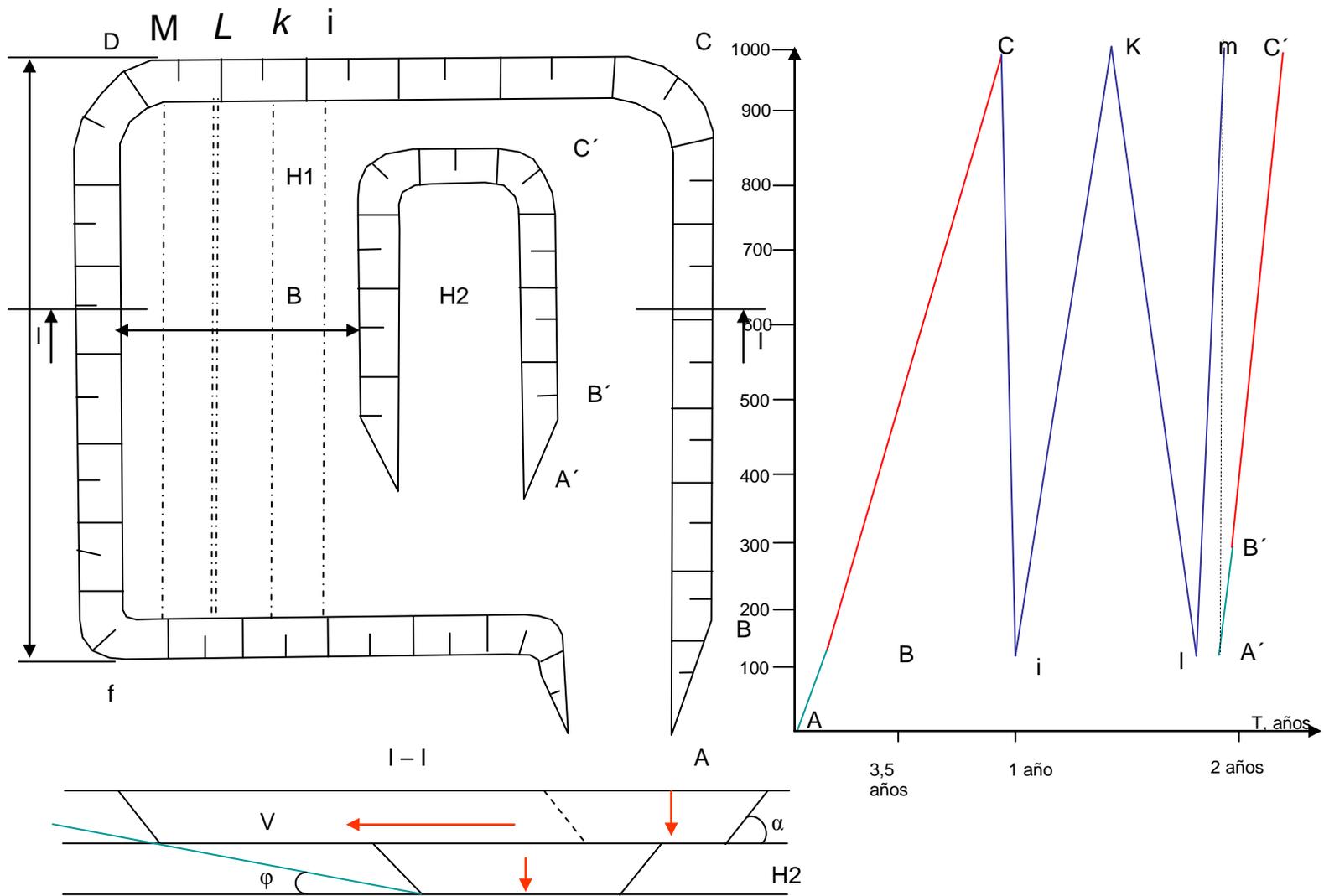


Figura No. 41. Gráfico de organización de los trabajos de apertura y preparación de nuevos horizontes.

#### II.4.1.- Apertura con trincheras sucesivas interiores.

En la Figura No. 42 está representada la vista de una cantera aperturada con trincheras sucesivas interiores. Este método de apertura se utiliza con diferentes tipos de transporte: ferroviario, automotor, transportadores de banda, skips. En dependencia del tipo de transporte varía la pendiente de las trincheras y las construcciones de las plazoletas de intersección de las trincheras y los escalones.

Durante la apertura con este método el sentido del movimiento del transporte no varía al pasar de un escalón a otro.

El sistema de trincheras sucesivas ocupa en el bordo de la cantera un tramo de longitud:

$$L \geq \sum_1^n L_{bj} + \sum_1^{n-1} l_{oj} = \sum_1^n \frac{h_j}{i} + \sum_1^{n-1} l_{oj}$$

donde:

i - pendiente media de las trincheras de apertura.

n - cantidad de escalones;

$L_{bj}$  - longitud de las trincheras de apertura.

$l_{oj}$  - longitud de las plazoletas de intersección,

$h_j$  - altura de los escalones.

En la Figura No. 42 se muestra la organización de los trabajos y su interpretación gráfica durante la apertura con sistema de trincheras sucesivas interiores.

La excavadora  $N_1$  laborea la trinchera de apertura AB en el escalón inferior (horizonte 50m) y después laboreará la trinchera de corte BG, es decir, preparará el horizonte 50m.

Cuando el frente de arranque de la trinchera se desplaza a la distancia IT, se puede comenzar el laboreo de la trinchera de corte en el horizonte 50m. En sentido contrario (BK) con la excavadora  $N_2$ . Este proceso se ha representado en el gráfico con las líneas inclinadas AB, BG, BK.

La situación de los trabajos mineros en el momento de terminación del tramo de la trinchera de corte BK se muestra en la Figura No. 42.

Para el ensanchamiento de la trinchera de corte, el frente de trabajo se divide en 4 bloques. Primeramente la excavadora N<sub>3</sub> y N<sub>4</sub> comienzan a trabajar en el bloque 2 y 3.

El proceso de trabajo se representa en el gráfico L=f(T) en forma de rectángulo.

La trinchera de apertura CD en el horizonte 35m se puede laborear en 12.5 meses y la de corte DG dentro de 13.3 meses (Figura No. 42 C) a partir del comienzo de los trabajos de preparación.

Comienza el trabajo en el horizonte 35m con el laboreo de la trinchera de corte (Figura No.42D) su ensanchamiento en 4 bloques (5,6,7,8) y se laboreo la trinchera de entrada al horizonte 20 (Figura No. 42E, recta EF) .

El intervalo de tiempo entre el comienzo del laboreo de las trincheras de corte en los horizontes contiguos T<sub>25</sub> y T<sub>20</sub> representa el tiempo de preparación de los horizontes.

Durante el análisis de estos gráficos el Prof. Arsentiev obtuvo una expresión para determinar la posible velocidad de profundización durante la apertura con trincheras sucesivas interiores.

$$h_p = \frac{12 \times Q}{\left[ h(Cot\varphi + Cot\beta) \times \left( L_b + \frac{L_a + L_p}{m} + \frac{1}{c \times (L_b + l_e)} \right) \times (b + h \times Cot\alpha) \right]}$$

La fórmula es real cuando  $V_t \geq V_o$

$$V_t = \frac{c \times Q}{h(b + h \times Cot\alpha)}$$

Donde:

V<sub>t</sub> - velocidad de laboreo de la trinchera;

V<sub>o</sub> - velocidad de ensanchamiento.

$$V_o = \frac{m \times Q}{h^2 \times (Cot\varphi + Cot\beta)}$$

es decir, cuando:

$$m \leq \frac{c \times h \times (Cot\varphi + Cot\beta)}{b + h \times Cot\alpha}$$

Cuando  $V_t=V_o$

$$h_p = \left[ \frac{12 \times Q}{h \times L_b \times (Cot\varphi + Cot\beta) + \frac{1}{c \times (L_a + L_b + l_a + l_e)} \times (b + h \times Cot\alpha)} \right]$$

Q - productividad de la excavadora, m<sup>3</sup>/mes;

h - altura del escalón, m;

$\varphi$  - ángulo de inclinación del bordo de trabajo, grados;

$\beta$  - ángulo de inclinación de la dirección de profundización, grados;

$\alpha$  - talud del escalón, grados;

$L_b$  - longitud del bloque de la excavadora, m;

$L_a$  - longitud de la trinchera de apertura, m;

$L_p$  - longitud de la plazoleta de intersección, m;

$l_e$  - distancia mínima permisible entre la excavadora que laboreo la trinchera y la que la ensancha, m;

b - ancho de la trinchera de corte por el fondo, m;

e - coeficiente de disminución de Q durante el laboreo de trincheras;

m - cantidad de excavadoras que trabajan en el ensanchamiento de las trincheras.

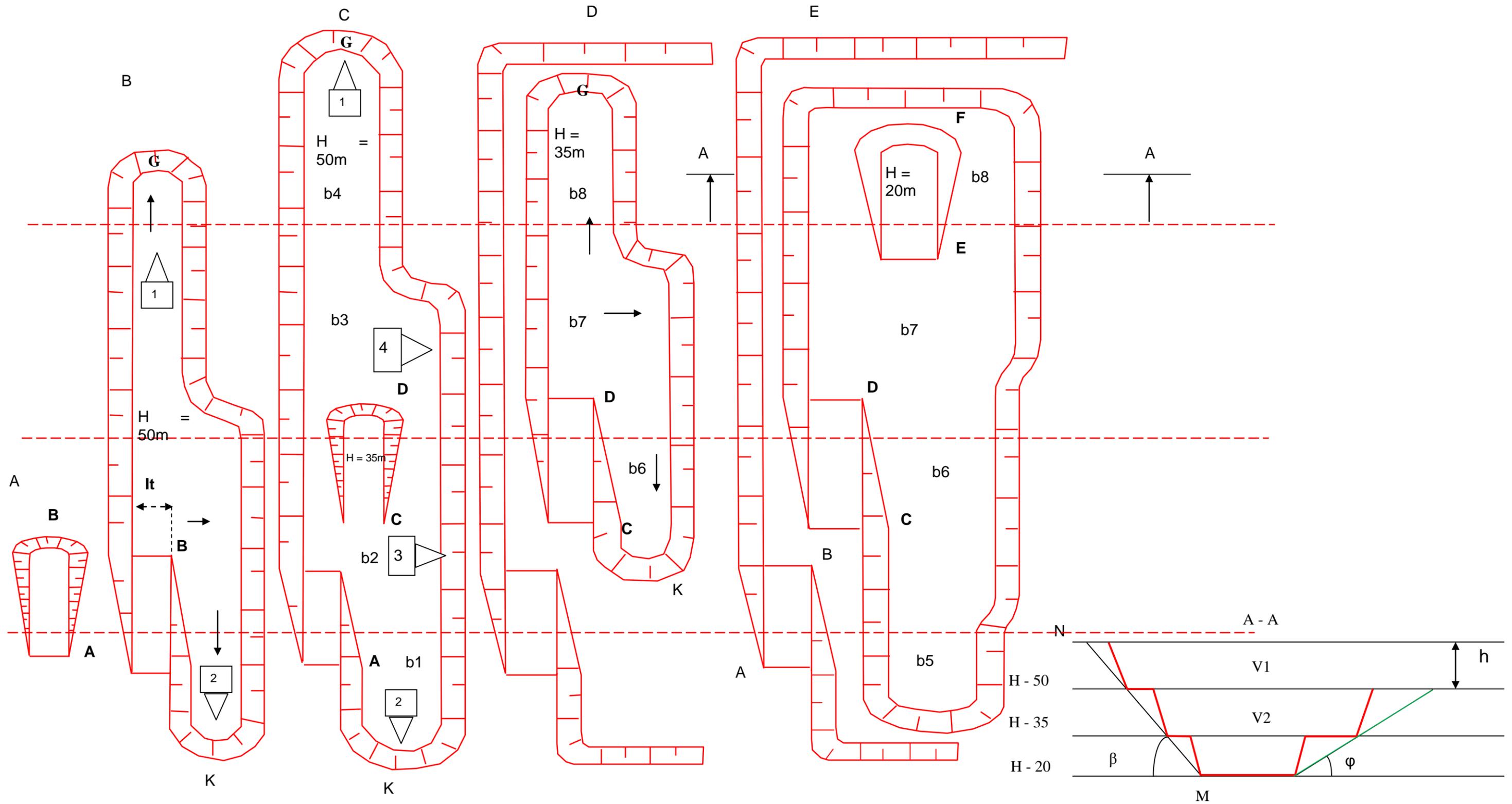
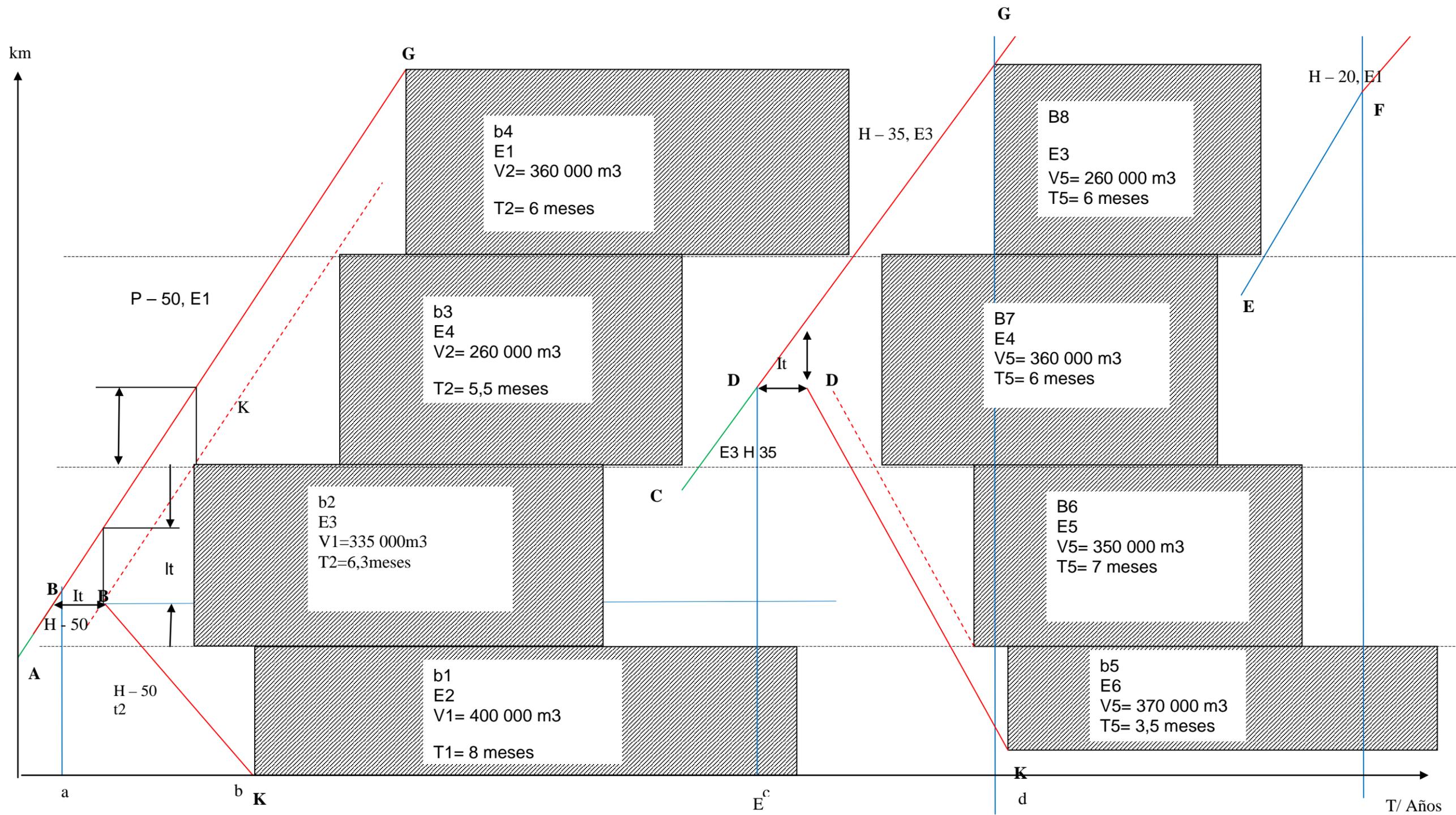


Figura No. 42. Apertura con trincheras sucesivas interiores





#### II.4.2.- Apertura con sistema de trincheras cerradas interiores.

Este método está muy difundido, sobre todo en la explotación de yacimientos con gran cantidad de escalones, porque ocupa una parte pequeña del bordo en comparación con el sistema de trincheras sucesivas.

El esquema de apertura se representa en la Figura No.43, en ella se muestra la vista en planta y la proyección del bordo de la cantera en la superficie.

Para la apertura del escalón con cota -h, desde la superficie se laborea la trinchera de apertura con pendiente "i". En el horizonte -h (menos h) se utiliza el giro cerrado para el transporte ferroviario y el de lazo para el transporte automotor.

La apertura del horizonte -2h se realiza con otra trinchera de entrada en sentido contrario, en este también se realiza el giro cerrado o de lazo, y así sucesivamente. De esta manera los medios de transporte varían su sentido de movimiento en cada escalón.

El sistema de trincheras cerradas ocupa en el bordo de la cantera una longitud no menor que:

$$L_t = L_a + 2l_t = \frac{h}{i} + 2l_t$$

donde:

$L_a$  - longitud de la trinchera de apertura (proyección en el plano horizontal);

$l_t$  - longitud del acceso cerrado, (cerrado o de lazo);

$h$  - altura del escalón;

$i$  - pendiente media de las trincheras de apertura.

En la Figura No. 43 están representadas las posiciones de los trabajos mineros, y el gráfico  $L=f(T)$  de organización de los trabajos durante la formación del sistema de trincheras cerradas. La posición "a" corresponde al laboreo de la trinchera de apertura en su fase final en el horizonte 50m; "b" y "c" corresponden al laboreo de la trinchera de corte en el horizonte 50m. El ensanchamiento de la trinchera en el horizonte 50m, se realiza en cuatro bloques que se representan en el gráfico con

rectángulos de altura igual a su longitud y ancho igual al tiempo de preparación del bloque hasta el momento de creación de la plazoleta de trabajo normal.

El primer tramo que se ensancha es el que corresponde al bloque 3, porque en esta parte del horizonte 50m deben comenzar los trabajos de laboreo de la trinchera de apertura en el horizonte 35m. Después comenzarán a explotarse los bloques 2 y 4, y al final el bloque 1.

La posición “d” corresponde a la situación de los trabajos mineros en los horizontes 50 y 35, en el momento de terminación de la preparación del horizonte 35m.

El proceso de profundización de la cantera está representado en el gráfico  $L=f(T)$ . La excavadora  $N_1$  laborea la trinchera de entrada AF en el horizonte 50 y después la de corte. Este trabajo se representa en el gráfico con las líneas inclinadas, AF y FD. Cuando el frente de la trinchera se mueve a la distancia  $l_t$  se puede utilizar la segunda excavadora en el laboreo de la trinchera de corte del horizonte 50m, (línea inclinada EF).

La trinchera de entrada del horizonte 35 m puede comenzar a laborearse después de explotar los bloques 3 y 2, línea FE, luego comienza la preparación del horizonte 35 m.

El intervalo de tiempo entre el comienzo de las trincheras de corte en los horizontes contiguos representa el tiempo de preparación del nuevo horizonte (T).

La velocidad de profundización puede ser determinada por la siguiente fórmula:

$$h_p = \frac{h}{T}$$

Igual que para el método de trincheras sucesivas interiores, para este también existe una fórmula analítica para determinar la velocidad de profundización. Considerando que las excavadoras son del mismo tipo y la longitud de los bloques iguales:

$$h_p = \frac{12 \times Q}{h \times (Cot\varphi + Cot\beta) \times \left( L_b + \frac{L_a}{m} \right) + \frac{1}{c \times (L_b + l_t + l_e)} \times (b + h \times Cot\alpha)}$$

La fórmula es real cuando  $V_t \geq V_o$ , es decir, cuando:

$$m = \frac{c \times h \times (Cot\varphi + Cot\beta)}{b + h \times Cot\alpha}$$

Si  $V_t = V_o$ , la fórmula toma la siguiente forma:

$$h_p = \frac{12 \times Q}{h \times L_b \times (Cot\varphi + Cot\beta) + \frac{1}{c \times (L_b + L_a + l_t + l_e)} \times (b + h \times Cot\alpha)}$$

En estas fórmulas:

Q - productividad de la excavadora, m<sup>3</sup>/mes;

h - altura del escalón, m;

$\varphi$  - ángulo de inclinación del bordo de trabajo, grados;

$\beta$  - ángulo de inclinación de la dirección de profundización, grados;

$\alpha$  - talud del escalón, grados;

$L_b$  - longitud del bloque de la excavadora, m;

$L_a$  - longitud de la trinchera de apertura, m;

$L_p$  - longitud de la plazoleta de intersección, m;

$l_e$  - distancia mínima permisible entre la excavadora que laborea la trinchera y la que la ensancha, m;

b - ancho de la trinchera de corte por el fondo, m;

e - coeficiente de disminución de Q durante el laboreo de trincheras;

m - cantidad de excavadoras que trabajan en el ensanchamiento de las trincheras.

$V_t$  - velocidad de laboreo de la trinchera;

$V_o$  - velocidad de ensanchamiento de la trinchera.

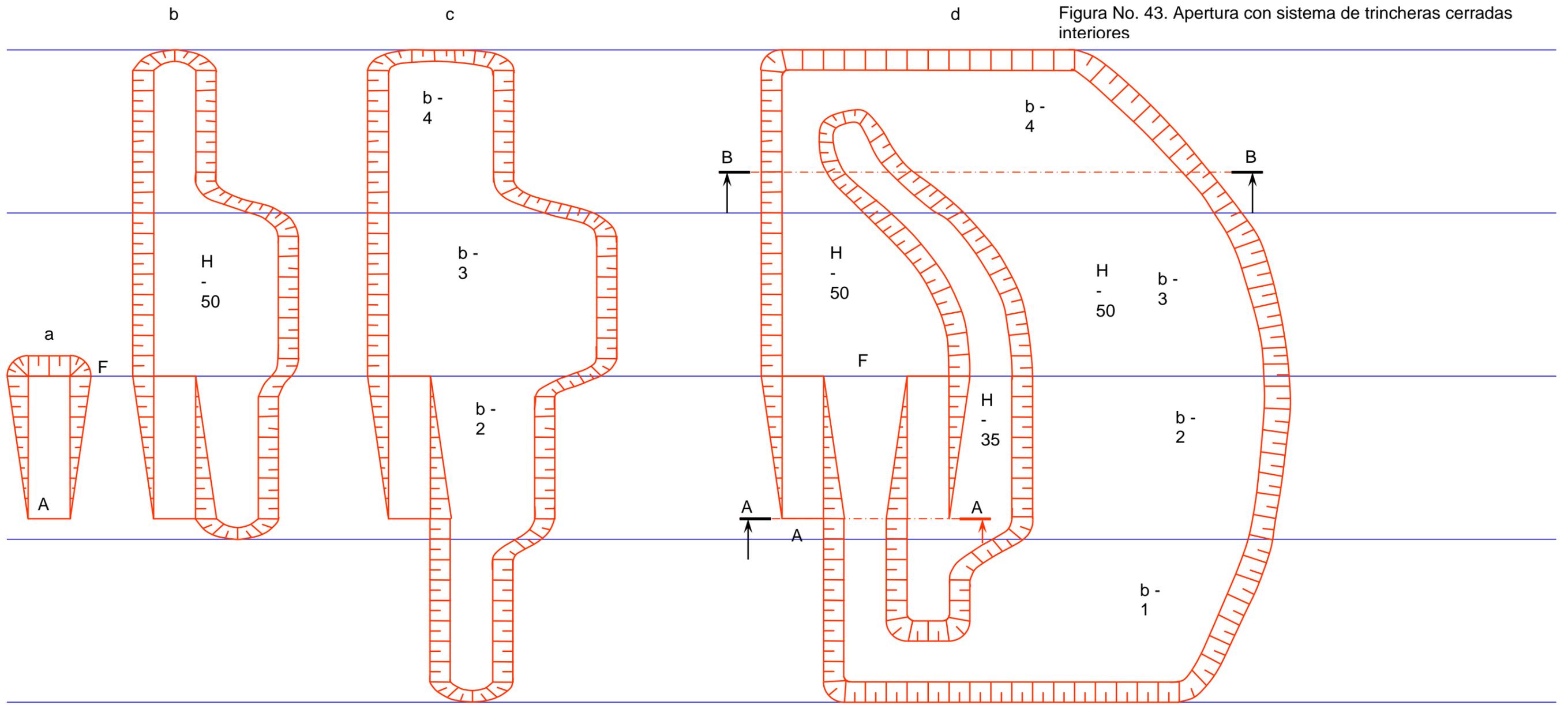
La desventaja de este método de apertura es la presencia en cada escalón de accesos cerrados, donde los trenes se ven obligados a maniobrar, ello disminuye considerablemente la capacidad de transporte de las vías. Además, como todas las trincheras están ubicadas en un solo borde, el ángulo de este disminuye y esto crea un volumen adicional de trabajo.

En la práctica la apertura con trincheras cerradas frecuentemente se utiliza en combinación con trincheras sucesivas, esto permite atenuar las desventajas de uno y otro método.

En todos los métodos de apertura con trincheras, los sistemas de apertura se forman en los bordos inactivos de la cantera.

En los bordos de trabajo de la cantera el enlace entre los horizontes de trabajo se realiza a través de accesos temporales.

Figura No. 43. Apertura con sistema de trincheras cerradas interiores



A - A

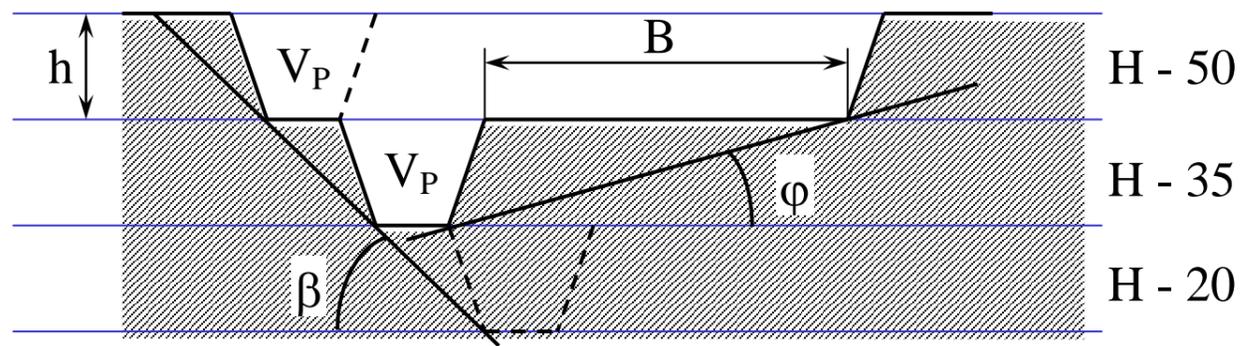
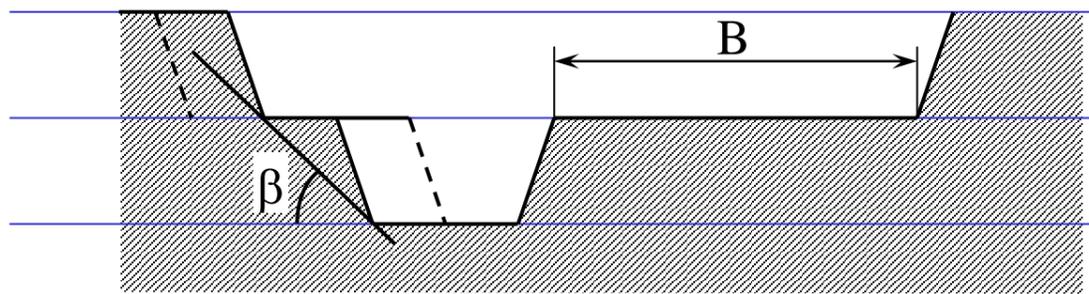
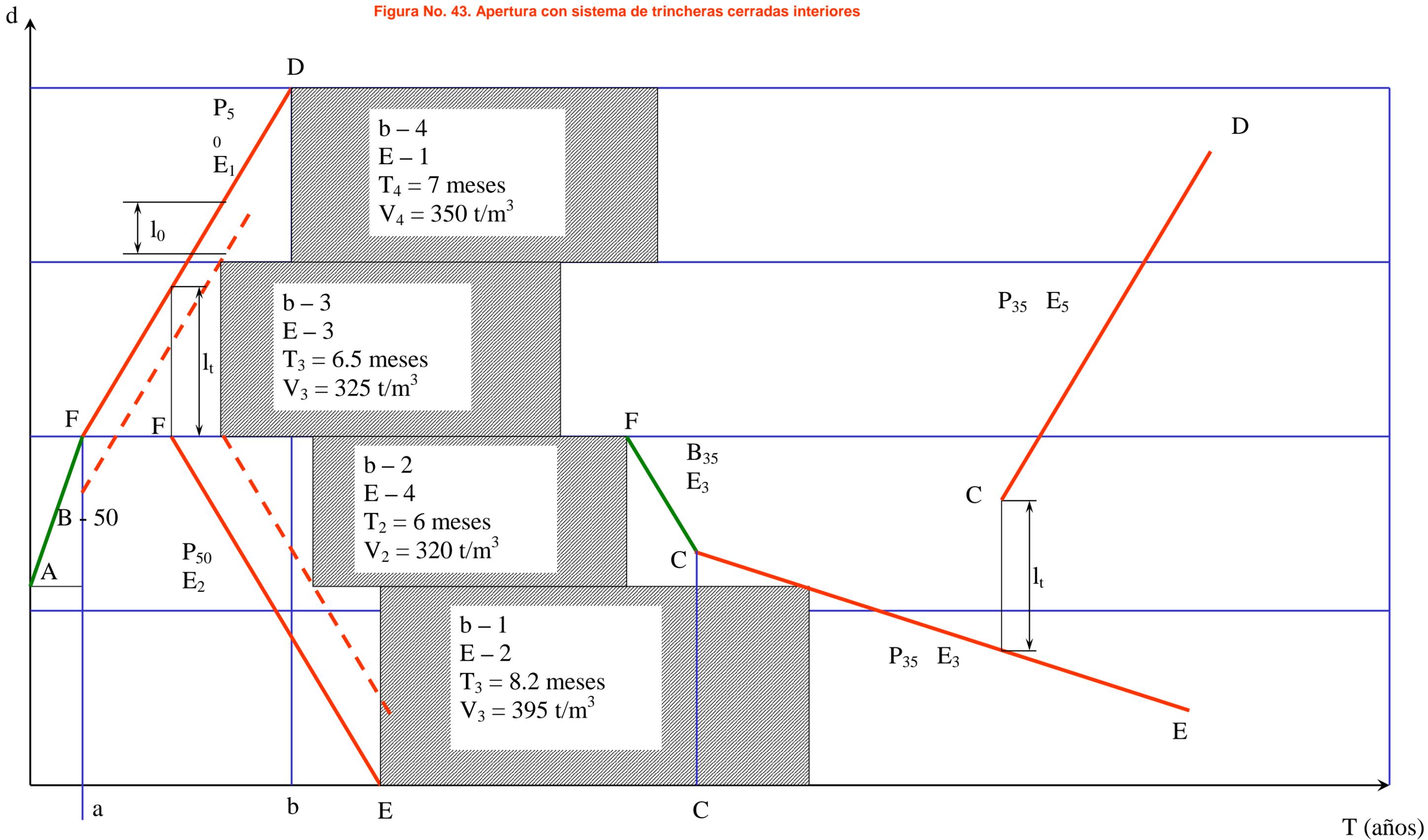


Figura No. 43. Apertura con sistema de trincheras cerradas interiores



## **II.5.- PREPARACION DE LAS ROCAS PARA SU EXTRACCION A CIELO ABIERTO.**

### **II.5.1.- generalidades sobre la preparación de las rocas para su extracción.**

Se utiliza con el objetivo de garantizar la seguridad de los trabajos mineros, la calidad de la materia prima extraída, la posibilidad técnica y las mejores condiciones de utilización de los medios técnicos en los procesos siguientes.

La preparación incluye:

1. Desecación de las rocas(en el método de excavación)
2. Debilitamiento y variación del estado de
3. Fragmentación del macizo rocoso.
4. Otras formas de acción sobre las rocas para facilitar su laboreo.

El método de preparación de las rocas para la extracción depende ante todo del tipo de estado de agregación y de las propiedades físicas de las rocas en el macizo, de la potencia de la unidad, de la presencia de medios técnicos, los requerimientos de la calidad de la materia prima extraída y también de las condiciones naturales de realización de los trabajos. Los gastos específicos para la preparación de las rocas para la extracción en los gastos generales del laboreo, varían desde 5 hasta 40 %.

El arranque de las rocas sueltas en su estado común se realiza exitosamente con todos los tipos de equipos de arranque de excavación–carga (la preparación coincide con el arranque en espacio, tiempo y por los medios de mecanización).

Con el método hidráulico la coincidencia de preparación y arranque se reduce a su lavado directo con el chorro de agua.

El arranque de rocas densas y las ligadas menos fuertes también puede realizarse directamente del macizo por las máquinas de excavación-carga con esfuerzos de corte elevados. Si los esfuerzos desarrollados por las máquinas de arranque no son suficientes, la preparación de estas rocas para el arranque se reduce al esponjamiento mecánico o en algunos casos con voladuras. Con el método

hidráulico la preparación previa de estas rocas se realiza mediante la inundación, el esponjamiento mecánico o la voladura.

Las rocas ligadas no muy fuertes frágiles y muy frágiles se pueden preparar exitosa y económicamente mediante el esponjamiento mecánico.

Las rocas ligadas fuertes normalmente se preparan para el arranque mediante voladura. En este caso los procesos de preparación son la perforación y la explosión.

### **Trabajos de excavación-carga**

Consiste en la extracción de la masa minara del frente, su carga-traslación y descarga en los medios de transporte o en las escombrera. Normalmente la excavación y la carga se realiza por una misma máquina o un complejo de máquinas de excavación-carga.

La extracción de las rocas sueltas pueden realizarse mediante excavadoras de todos los tipos y clases (pala directa, retro excavadora, dragalina, excavadoras de rotor, de canjilones, jaibas) y máquinas de excavación-transportación (scrapers, buldózer, cargadores).

Para la preparación y extracción de las piedras ornamentales y de recubrimiento se utilizan máquinas cortadoras.

La extracción de las rocas voladas se realiza con excavadoras de pala directa o con cargadores frontales.

En la excavación-carga hay que realizar una serie de trabajos auxiliares como el aplanamiento de las plazoleta para la excavadoras, la limpieza de sus cucharas, la recogida de los derrames durante la carga, la limpieza del techo del cuerpo mineral, la limpieza de las bermas de los escalones, la traslación de cables, el suministro de materiales y repuesto. Para realizar estos trabajos se utilizan buldózeres, scrapers, aditamentos colgantes de las cucharas de las excavadoras winches, plataformas sobre camiones o ferrocarril.

### **Transporte de las rocas.**

Este es el proceso más trabajoso y caro (de 30 – 70 % de los gastos totales). En las canteras anualmente se laborean y trasladan desde decenas de miles hasta cientos de millones de toneladas de masa minera. La distancia de transportación de las rocas de destape desde el frente a la escombrera y del mineral a los usuarios varía desde algunas decenas de metros hasta decenas de kilómetros. A veces las rocas desde el punto de carga hasta el punto de descarga se traslada con las excavadoras, scrapers o buldózeres, pero lo más frecuente es que esto se realice con diferentes medios de transporte.

Una particularidad importante de la traslación de la masa minera es que la ubicación de las puntos de carga en los frentes y de descarga en las escombreras no son estacionarios, a consecuencia de lo cual las vías de transporte regularmente se alargan o se acortan y se trasladan, lo que requiere de trabajos auxiliares muy laboriosos.

Los tipos básicos de transporte en las canteras son:

Ferrovionario

Automotor

Transportador

Otros tipos de transporte utilizados con menor frecuencia son; el skip, el transporte hidráulico, y otros.

En algunos casos se realiza el transporte combinado.

Los trabajos auxiliares en el transporte consisten en la construcción, reparación y mantenimiento corriente de las vías, la traslación periódica de estas y el mantenimiento corriente a los medios de transporte.

La preparación de las rocas para la excavación se realiza con el objetivo de garantizar la seguridad de los trabajos mineros, la calidad de la materia prima la posibilidad técnica de mejores condiciones de utilización de los medios de mecanización de los demás procesos tecnológicos. La preparación incluye: aseguramiento de la estabilidad de los paramentos; drenaje; variación de su estado agregacional; fragmentación del macizo.

La preparación de las rocas para el arranque o excavación se puede realizar por métodos mecánicos, hidráulicos, físicos, combinados y con explosivos. La selección del método depende ante todo del, estado agregacional y propiedades de las rocas en el macizo, potencia productiva de la empresa, presencia de medios técnicos, exigencias a la calidad de la materia prima, y también de las condiciones naturales. Los gastos en la preparación oscilan entre 5-40 % del total de los gastos de extracción.

La excavación de las rocas blandas se puede realizar con cualquier equipo de arranque, en este caso la preparación se conjuga con la excavación y se realiza con el mismo equipo.

La excavación de rocas densas se realiza con equipos de mayor fuerza. Las rocas duras deben ser preparadas para la excavación

- por métodos explosivos.

### **III.5.2.- Formación de Escombreras.**

Estos trabajos consisten en el traslado y ubicación de las rocas de destape o el mineral que se va a almacenar por un tiempo largo en plazoletas especiales preparadas para este fin; el peso específico de los gastos para la formación de escombreras oscila desde 5 hasta 20%. La formación de escombreras puede realizarse tanto con máquinas especiales como con los medios de mecanización de otros procesos productivos, tales como excavadoras, buldózeres,. Cuando la traslación de las rocas se realiza en camiones, como equipos formadores de escombreras se utiliza el buldózer.

El conjunto de procesos productivos interrelacionados que asegura la variación del estado de agregación de las rocas de destape y del mineral y también su carga, traslación y almacenamiento constituye la tecnología de laboreo de un yacimiento:

La tecnología y la mecanización de los trabajos mineros se basa sobre los principios de:

Fluidez.

Simultaneidad e independencia de los procesos.

Aseguramiento de las distancias más cortas de traslación de la masa minera.

Disminución del número y el volumen de los trabajos auxiliares.

Gastos mínimos de producción y máxima ganancia en la realización de la producción.

Las labores de escombreo representan el último proceso tecnológico fundamental en la explotación de una mina a cielo abierto. Es un proceso de mucho trabajo, de la calidad de este depende en amplio margen el ritmo y el rendimiento económico del trabajo de la mina.

Los gastos de las labores de escombreo en la minería a cielo abierto alcanzan el 12-15 % de los costos totales de extracción de 1 m<sup>3</sup> de rocas estériles. Absorben alrededor del 25 % de los trabajadores del destape.

Durante la planificación y proyección de las labores de escombreo es necesario considerar los siguientes factores:

- Las escombreras deben tener el volumen suficiente, encontrarse a la distancia mínima de la cantera, estar situadas en áreas sin mineral útil, no obstaculizar el desarrollo de los trabajos mineros y facilitar la creación de las condiciones de seguridad del trabajo.
- El método de escombreo y los medios de mecanización deben garantizar el almacenamiento continuo de rocas, la capacidad de recibimiento, los gastos mínimos y la productividad máxima de los trabajadores.

El laboreo de escombreras incluye los siguientes trabajos:

- descarga de las rocas en el frente de escombrera;
- distribución de las rocas en la escombrera;
- traslado de las vías de comunicación.

Las escombreras se clasifican por varios índices.

- Por el lugar de ubicación:
  - . Interiores.

- . Exteriores.
- . Combinadas.

Las escombreras interiores Figura No.44 se ubican en el espacio laboreado durante la explotación de los yacimientos horizontales.

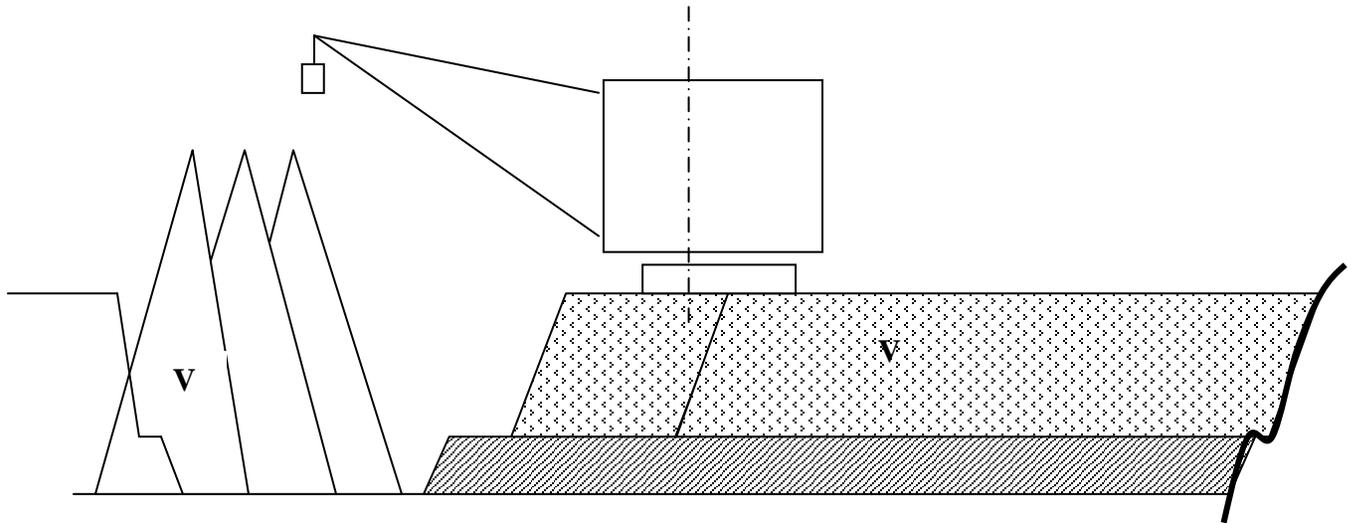


Figura No.44. Escombrera interior  
M- Mineral  
V- Estéril

Las escombreras exteriores Figura No.45, se ubican fuera del campo de minas durante la explotación de yacimientos abruptos. En estos casos es preferible situarlas en las laderas de las montañas, en depósitos naturales. En aquellos casos de ubicación de escombreras en lugares llanos es necesario construir las capas iniciales.

Existen varios métodos para construir esta capa inicial: usando las rocas de reserva, cuando a su lado se laborean excavaciones, las rocas de esta se utilizan para la capa inicial, usando las rocas del destape.

Los métodos de construcción de la capa inicial con las rocas de reserva o de destape hasta la altura proyectada  $H_0$  se muestran en la Figura No.46.

Las escombreras combinadas Figura No.47 como regla tienen lugar durante la explotación de yacimientos horizontales con gran potencia de rocas suprayacentes. Antes de alcanzar la profundidad final todas las rocas de destape se transportan hasta las escombreras exteriores y después de los escalones inferiores a las interiores.

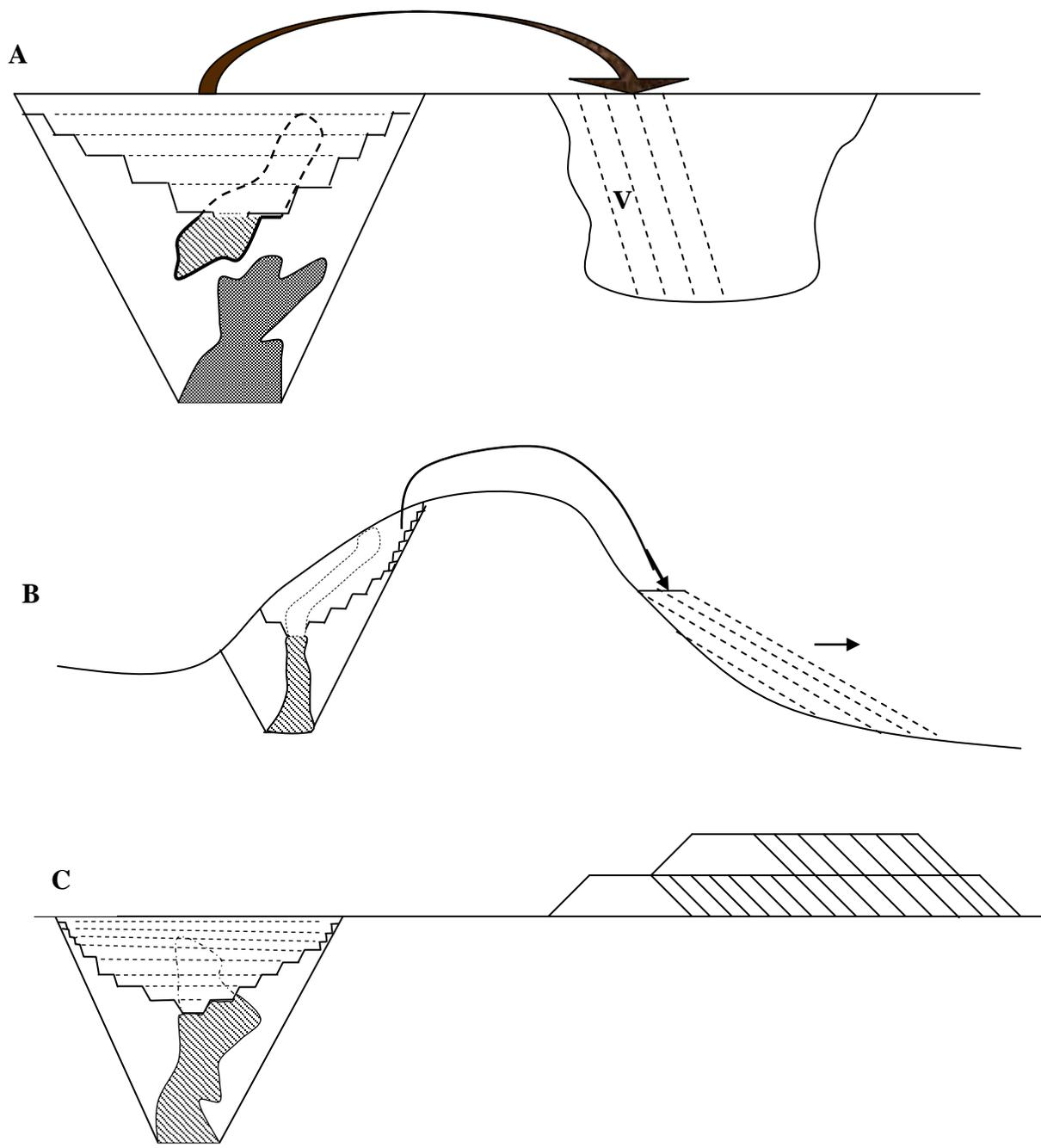


Figura No. 45. Escombreras exteriores.  
 A – En espacios naturales o artificiales  
 B – En laderas  
 C – En llanuras

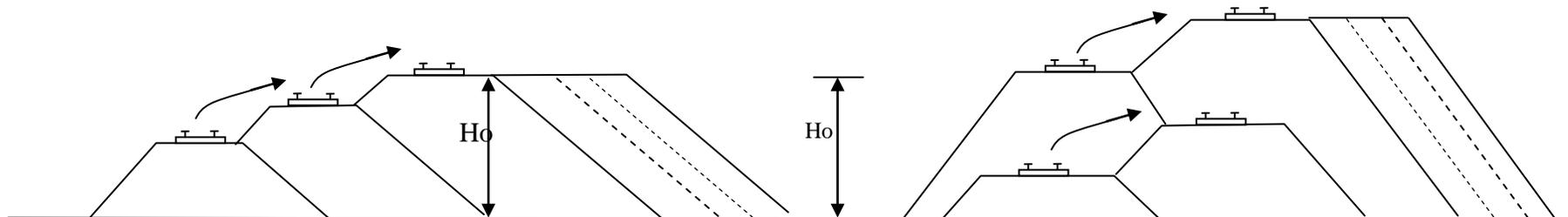


Figura No.46. Esquema de formación de escombreras.



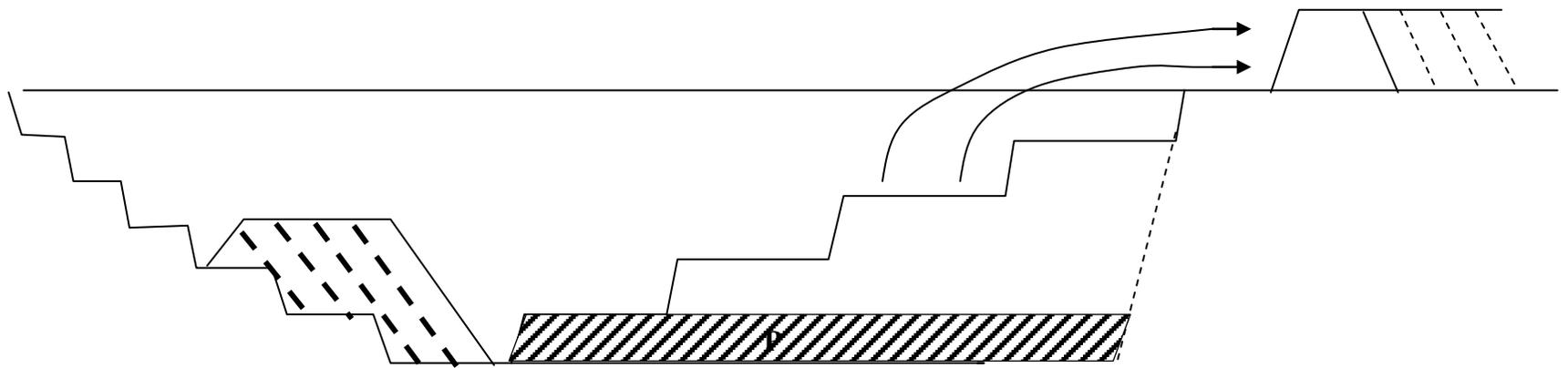


Figura No. 47. Escombreras combinadas



El límite de las rocas de destape para cada escombrera se determina por la capacidad de recibimiento de estas y por cálculos técnico-económicos.

- Por su altura:

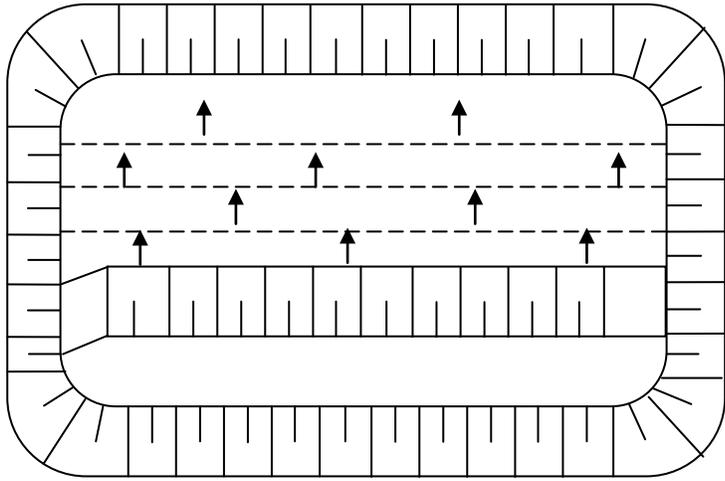
- . De un piso,
- . De varios pisos.

- Por el desarrollo del frente de trabajo: Figura No 47.

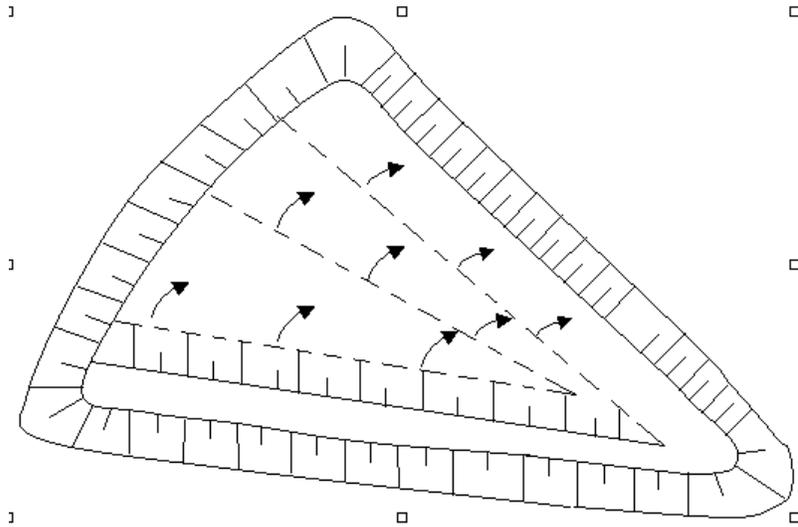
- . Paralelas.
- . En forma de abanico.
- . Circulares.



1



2



3

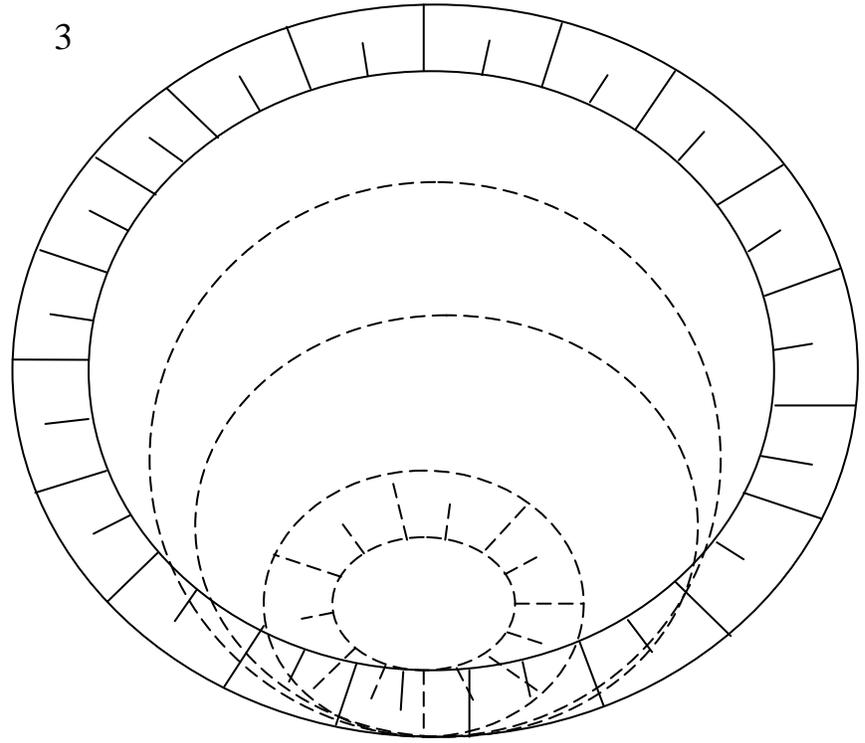


Figura No.48 Variantes de desarrollo del frente de la cantera.

- 1 - Paralelo
- 2 - Abanico
- 3 - Circular



- Por el método de mecanización:
  - . De excavadoras.
  - . De bulldozer.
  - . Con formadores de escombreras de cinta.
  - . De arado.
  - . Con screpas.
  - . Hidráulicas.
  - . Combinadas.

La mayor difusión en la actualidad la han obtenido las escombreras de excavadoras y de bulldozer. Las primeras trabajan fundamentalmente con transporte ferroviario y las segundas con transporte automotor.

### **III.5. 2.1.- Tecnología de laboreo de escombreras con excavadoras.**

Se utilizan fundamentalmente excavadoras de un solo cubo con capacidad entre 4-16 m<sup>3</sup>. La capacidad de admisión de la escombrera alcanza los 500 m<sup>3</sup>/m de longitud del frente de la escombrera.

El ancho del desplazamiento de las vías con excavadoras de 4-5 m<sup>3</sup> oscila entre 20-25 m, para excavadoras de 8 m<sup>3</sup> es de 30-32 m.

En los últimos años se ha comenzado a utilizar dragalinas en las escombreras. Sin embargo aumentando la capacidad de recibimiento específico de la escombrera y el ancho del desplazamiento de las vías, las dragalinas solo se pueden utilizar en rocas blandas o muy bien fragmentadas, y en comparación con palas mecánicas de igual capacidad, la duración del ciclo de trabajo es mayor, y por ende es menor la productividad.

La desventaja general de este método consiste en la reexcavación de las rocas procedentes de las canteras, pero ello no ha impedido la difusión universal del método que en la actualidad es el más utilizado a nivel mundial.

En la Figura No.49 está representado en forma general el frente de trabajo. La excavadora distribuye las rocas en la banda de escombreo de ancho "A" y longitud "L". El cambio de trenes vacíos y llenos se realiza en el punto de cambio (P. C.).

Se representa el trabajo de la excavadora en la banda de escombreo. Cuando se utilizan palas mecánicas, como regla el escalón de escombreo "H<sub>0</sub>" se divide en dos subescalones h<sub>1</sub> y h<sub>2</sub>.

La excavadora se instala en el piso del escalón superior, prepara una zanja de recibimiento para que descarguen en ella los vagones. La excavadora reparte las rocas por los subescalones superior e inferior.

Cuando la zona de acción de la excavadora en ambos subescalones está repleta, esta se mueve a lo largo del frente en la Figura No.49, se representa con una flecha) prepara una nueva zanja de recibimiento y trabaja hasta rellenar los subescalones.

Cuando se termina la banda de escombreo, se trasladan las vías a una posición nueva para laborear otra banda.

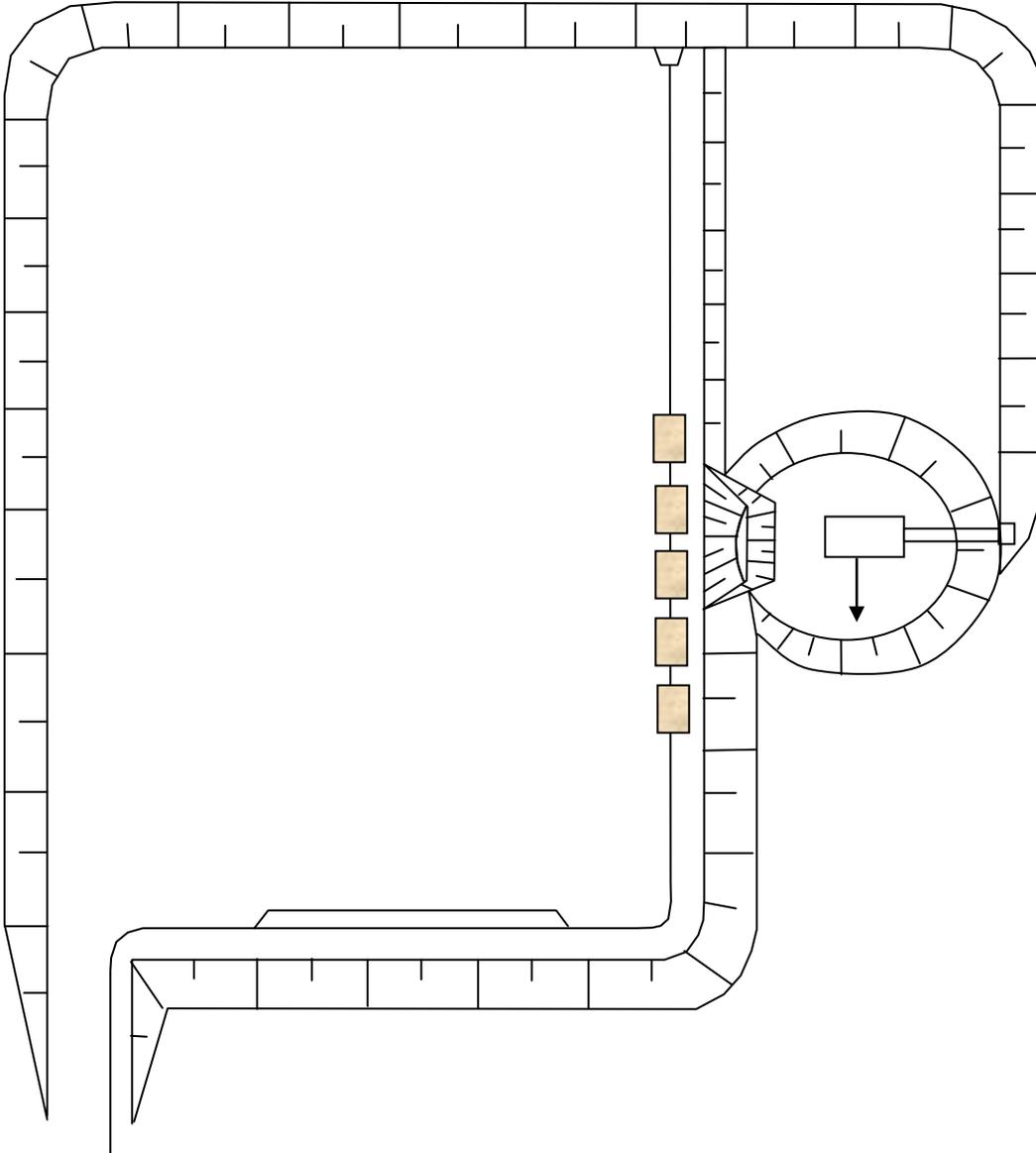


Figura No. 49. Laboreo de escombreras con excavadoras.

### **Cálculo del laboreo con excavadoras.**

Las escombreras deben garantizar el trabajo continuo de la cantera, al recibir y almacenar las rocas de destape que permiten la creación de los frentes de extracción de mineral.

Los cálculos de las labores de escombreo con excavadoras incluyen:

. Determinación de l área de la escombrera. "S".

Para escombreras de un nivel.

$$S = \frac{V_d \times K_e}{H_o}$$

Para escombreras de dos niveles.

$$S = \frac{V_d \times K_e}{H_{o1} + H_{o2} \times \eta}$$

Donde:

$V_d$  - volumen de rocas estériles en los contornos de la mina;

$K_e$  - coeficiente de esponjamiento de las rocas en la escombrera, ( $K_e=1.15-1.4$ );

$H_o$  - altura de la escombrera;

$H_{o1}-H_{o2}$  - altura de los niveles 1 y 2;

$\eta$ - coeficiente de llenado del área del segundo nivel ( $\eta= 0.4-0.8$ ).

Determinación de la cantidad de trenes que descargan en un día en la banda de escombreo.

$$N_t = \frac{f \times T}{\frac{2L}{V} + n \times t_d + \tau}$$

Donde:

T - jornada de trabajo en un día;

f - coeficiente que considera la no uniformidad en la llegada de los trenes ( $f=0.85-0.9$ );

L - distancia desde el punto de cambio hasta el lugar de descarga;

V - velocidad de traslación del tren, (7-10 Km/h);

n - cantidad de vagones en el tren;

$t_d$  - tiempo de descarga de un vagón;

$\tau$  - tiempo para el enlace durante el cambio de trenes, ( $\tau \cong 0.05$  h).

Capacidad de recibimiento diaria de la banda de escombreción a partir de las posibilidades de transporte.

$$W_{rt} = N_t \times n \times V$$

Donde:

V - volumen de rocas en el vagón.

Capacidad de recibimiento diaria a partir de las posibilidades de almacenamiento.

$$W_{ra} = Q_e$$

Donde:

$Q_e$  - productividad de la excavadora, m<sup>3</sup>/día.

Determinación de la capacidad racional de la cuchara de la excavadora, se parte de la interrelación que debe existir entre los equipos de transporte y carga (la productividad de la excavadora debe ser igual a la capacidad de recibimiento de la banda en dependencia del transporte).

$$W_{rt} = W_{ra}$$

Sustituyendo los valores de  $W_{rt}$  y  $W_{ra}$  en fórmulas anteriores se obtiene el tipo más racional de excavadora.

Capacidad de recibimiento de la banda de escombreción.

$$W_b = \frac{A_o \times H_o \times L}{K_e}$$

Donde:

$A_o$  - ancho de la banda;

L - longitud de la banda de escombreción.

$$A_o = 0.9 \times (R_a + R_d)$$

$$A_o = \sqrt{R_a^2 + \frac{l^2}{2}} + P$$

Donde:

$R_a$  - radio de arranque de la excavadora, m;

$l$  - longitud de la zanja de recibimiento,  $l = (2-3)l_v$ ;

$P$  - distancia de seguridad desde el eje de la vía hasta la zanja de recibimiento, ( $P \cong 2.5$  m)

$l_v$  - longitud del vagón;

$H_o$  - altura de la escombrera.

Determinación del tiempo entre traslados de las vías.

$$T_t = \frac{W_b}{W_{rt}}, \text{ dias.}$$

Todos los cálculos anteriores son solo para una banda de escombreo. Ellos podrán ser utilizados para toda la cantera si la productividad estéril diaria de esta no sobrepasa la capacidad de recibimiento de una banda, en caso contrario es necesario determinar la cantidad necesaria de estas.

$$N_t = \frac{W_c}{W_b} \times \left(1 + \frac{t_{nt}}{T_t}\right)$$

Donde:

$W_c$  - productividad estéril de la mina en un día,  $m^3$ ;

$t_{nt}$  - tiempo de nivelación de la nueva traza y traslado de la vía;

$T_t$  - tiempo de traslado de la vía.

Volumen de trabajo para el cambio de vías.

Conociendo el tiempo para el traslado de las vías en las bandas de escombreo, la longitud de estas bandas, y el régimen de trabajo de la escombrera, se puede establecer el volumen de trabajos viales  $P$  (metros de vías férreas al año).

$$P = \frac{R \times L}{T_t}$$

Donde:

R - cantidad de días de trabajo al año;

L - Longitud de las bandas.

### **III.5.2.2.- Tecnología del laboreo de escombreras con bulldozer.**

Las labores de escombreción se realizan con bulldozer como regla general cuando las rocas estériles son transportadas por camiones. Si se cuenta con bulldozer muy potentes (más de 500 HP) se puede utilizar racionalmente el transporte ferroviario.

Los trabajos de escombreción incluyen:

- descarga de las rocas en el talud o en la plazoleta de descarga;
- traslado de las rocas por el talud con los bulldozers (nivelación del borde);
- trabajos viales y de nivelación.

Existen dos métodos de laboreo de escombreras con el transporte automotor.

- . Periférico.
- . De plazoleta.

En el primer caso las rocas son descargadas directamente en el talud de la escombrera o muy cerca de este, luego los bulldozers las trasladan hacia el borde superior del escalón. El volumen de trabajo del bulldozer depende de la distancia entre este borde superior y la máquina que descarga.

En presencia de una base estable de la escombrera, se trata de descargar las rocas directamente en el talud.

Para garantizar la seguridad del trabajo en estos casos se usan dos métodos:

- Se crean montículos de rocas delante del borde del escalón de la escombrera, (Figura No. 50A);

- Fijación de los camiones antes de la descarga (Figura No. 50B ) como puntos de fijación pueden servir tornillos de cementación o máquinas pesadas (tractores u otras).

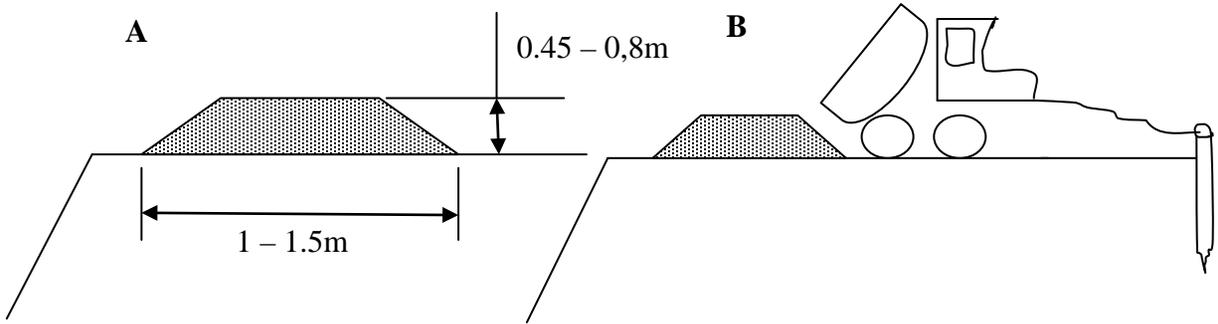


Figura No. 50. Formas de garantizar la seguridad de los trabajos durante el Laboreo de escombreras con Bulldozer

A – Montículos de seguridad

B – Anclado del camión

En el segundo caso (método de plazoleta), Figura No.51. las rocas se descargan sobre toda el área de la escombrera después se nivela con los bulldozer y se apisona con cilindros o rodillos, aquí queda lista para la segunda capa. La distancia de transportación de las rocas por los bulldozer no sobrepasa los 5-15 m. este método se utiliza cuando las rocas son blandas y poco estables.

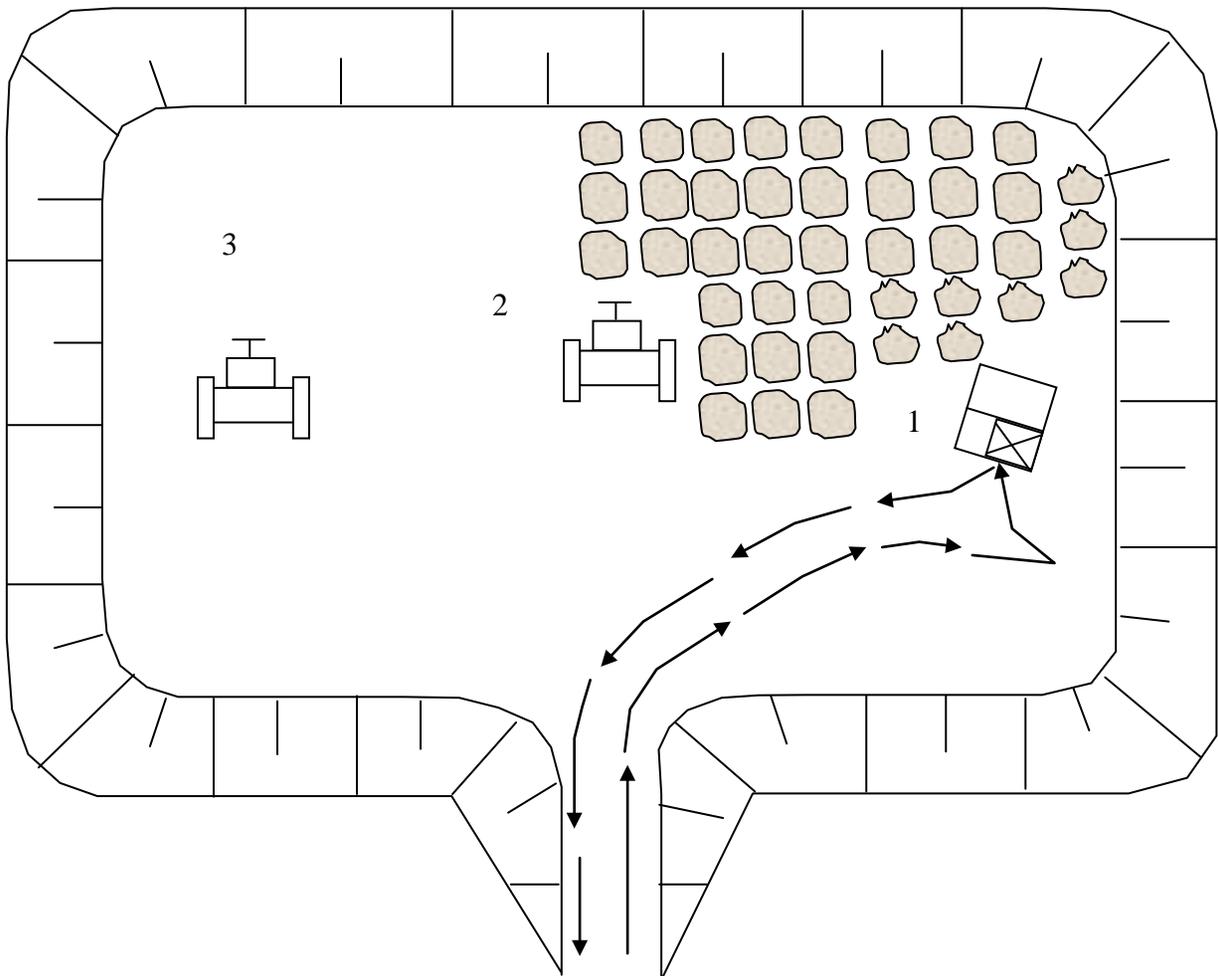


Figura No.51. Escombrera de plazoleta

Se puede señalar que el método periférico , figura No. 52. alcanza rápidamente la altura máxima y se desarrolla en lo adelante por el área de la escombrera, y el de plazoleta primeramente ocupa toda el área de la escombrera y va ganado altura poco a poco, por capas.

En la actualidad la mayor difusión la obtenido el método periférico, en primer lugar por que el volumen de rocas de elevada fortaleza sobrepasa ampliamente al de rocas blandas.

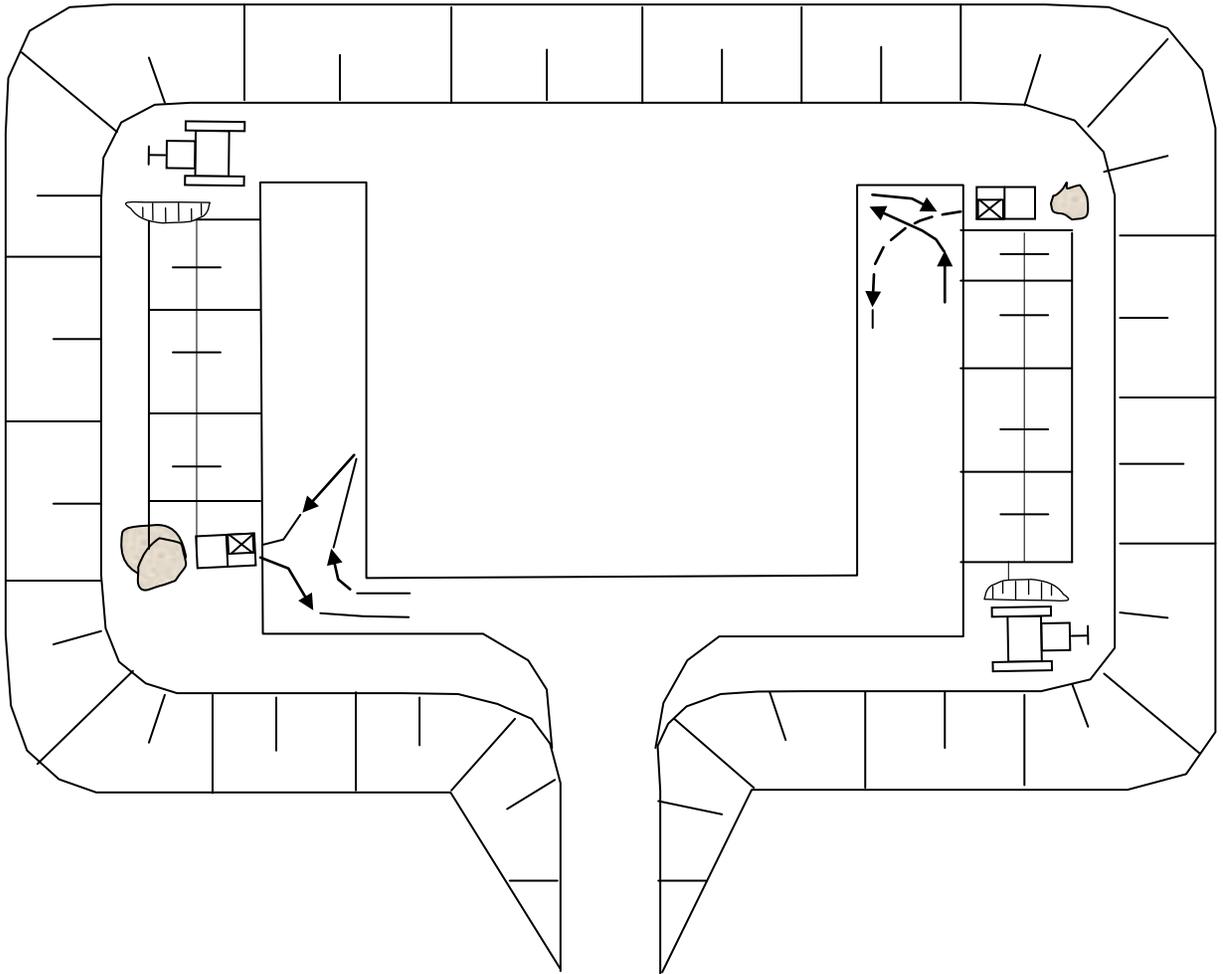


Figura No. 52. Escombreras periféricas.

### **Cálculo de las labores de escombreo con bulldozer.**

Estos cálculos consisten en la determinación del área de la escombrera, longitud del frente de descarga, y la cantidad necesaria de bulldozer.

Los datos iniciales para el cálculo están representados por el volumen de rocas a almacenar,  $W$ , productividad diaria (turno) estéril de la cantera, volumen real de rocas transportadas por un camión en un viaje.

Determinación del área de la escombrera.

$$S_e = \frac{W \times K_e}{H_e \times K_a}$$

Donde:

$W$  - volumen de rocas que serán depositadas en la escombrera durante toda su existencia;

$K_e$  - coeficiente de esponjamiento de las rocas en la escombrera ( $K_e=1.05-1.2$ );

$H_e$  - altura de la escombrera;

$K_a$  - coeficiente que considera los taludes y la no uniformidad del llenado de la escombrera (para escombreras de un nivel ( $K_a=0.8-0.9$ ) y para dos niveles ( $K_a=0.5-0.7$ )).

Determinación del número de tramos de la escombrera.

En las escombreras de bulldozer es necesario determinar la cantidad de tramos activos que son de descarga, de nivelación y de reserva. El orden de cálculo es el siguiente:

- Se determina el número medio de camiones que descargan en la escombrera en una hora.

$$N = \frac{A_{eh} \times f_n}{Q_c}$$

Donde:

$A_{eh}$  - productividad estéril de la mina  $m^3/h$ .

$f_n$  - coeficiente que refleja la no uniformidad del trabajo de destape de la cantera.

$f_n = 1.25 - 1.5$

$Q_c$  - volumen de rocas transportadas por un camión en un viaje.

Cantidad de camiones que descargan simultáneamente en la escombrera.

$$N_o = N \times \frac{t_d}{60}$$

Donde:

$t_d$  - duración de la descarga y maniobra de un camión. ( $t_d = 60-100s$ )

A partir del número de camiones que descargan simultáneamente en la escombrera se determina la longitud del frente de descarga de la escombrera.

$$L_d = N_o \times b$$

Donde:

$b$  - ancho de la franja ocupada por un camión durante las maniobras de descarga (el valor mínimo  $b = 18-20m$ , el máximo  $b = 30-40 m$ ).

El número de tramos de descarga en la escombrera trabajando simultáneamente se determina por la fórmula siguiente:

$$N_s = \frac{L_d}{60 \div 80}$$

El número de tramos que se hallan en fase de nivelación como regla se toma igual al anterior

$$N_n = N_s$$

El número de tramos de reserva habitualmente se determina por la fórmula siguiente:

$$N_t = N_s + N_n + N_r$$

A partir del número total de tramos de la escombrera se puede determinar la longitud total del frente de la escombrera.

$$L_t = (60 \div 80) \times N_t$$

Cantidad necesaria de bulldozer.

El número de bulldozer de trabajo se determina a partir del volumen de trabajo en la escombrera que se establece de la siguiente forma:

$$V_t = A_{eh} \times K$$

Donde:

K- coeficiente que considera la cantidad de rocas que quedan en la plazoleta durante la descarga del camión.

$$K = \frac{V_o}{V_c}$$

Donde:

V<sub>o</sub>- volumen de rocas que se quedan en la superficie de la plazoleta durante la descarga;

V<sub>v</sub> - volumen de rocas que carga el camión.

Entonces la cantidad de bulldozer se determina por la siguiente fórmula:

$$N_b = \frac{V}{Q_b}$$

Donde:

Q<sub>b</sub> - productividad media horaria del bulldozer.

El parque inventarial del bulldozer se determina de la siguiente forma:

$$N_{inv} = \frac{N_b}{\alpha}$$

Donde:

α - coeficiente de utilización del parque de equipos.

## **II.6.- SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO, PRINCIPALES ELEMENTOS, INDICES Y PARAMETROS.**

### **II.6.1.- Generalidades y principales elementos del sistema de explotación**

Por Sistema de Explotación se entiende el orden de formación de la zona de trabajo de la cantera en tiempo y espacio, que se caracteriza por el desarrollo armónico de los trabajos mineros en los escalones, formas de los frentes y dirección del desplazamiento.

El sistema de explotación debe caracterizar el desarrollo de los trabajos de preparación y extracción en la mina a cielo abierto.

Es necesario señalar, que la tecnología del trabajo de destape se diferencia muy poco de la tecnología de extracción, en muchas ocasiones en un escalón de trabajo se realizan ambas labores con el mismo equipamiento.

Los horizontes de extracción y destape se preparan con ayuda de trincheras de corte y zanjas de preparación, las cuales representan las excavaciones mineras de preparación.

Tanto los trabajos de destape como los de extracción se caracterizan por dos particularidades básicas: tipo y dimensiones de los equipos tecnológicos empleados y el carácter del desplazamiento en el tiempo y espacio de los frentes de arranque y de trabajo.

La primera particularidad determina los métodos de mecanización del arranque y transporte de las rocas, estos varían frecuentemente por el progreso técnico.

La segunda particularidad determina el sistema de explotación, el carácter del desarrollo de los trabajos mineros en la mina a cielo abierto. Los parámetros del sistema de explotación dependen del tipo de equipamiento utilizado y a su vez influyen en la efectividad del trabajo de estos.

A diferencia de los métodos de arranque y transporte los sistemas de explotación varían muy poco en el tiempo, y con el arribo de nuevos tipos de máquinas adquieren nuevas particularidades.

Los sistemas de explotación y los métodos de arranque y transportación (o esquemas de mecanización compleja) representan dos caras de un mismo proceso de explotación de yacimientos. Al mismo tiempo con un mismo sistema de explotación es posible utilizar diferentes variantes de mecanización del arranque, carga y transportación de las rocas y el mineral y viceversa, un método de arranque puede ser utilizado en varios sistemas de explotación.

El sistema de explotación previsto durante la proyección, predetermina el tipo de equipos mineros y de transporte, los principales parámetros de la cantera y sus principales elementos, y también los índices técnico-económicos del trabajo de la cantera.

Los principales elementos del sistema de explotación son: escalones de trabajo, bandas de excavación, plazoletas de trabajo, trincheras de corte, zanjas de preparación, escombreras interiores.

Los principales parámetros del sistema de explotación son: altura (h) y talud del escalón, ancho de la banda de excavación, talud del bordo de trabajo de la cantera, longitud del frente de trabajo para un equipo de carga (longitud del bloque de excavación), longitud del frente mineral, longitud del frente de destape, longitud total del frente de trabajo.

$$L_m = \sum_{i=1}^n l_i$$

$$L_d = \sum_{j=1}^m l_j$$

$$L_t = \sum_{k=1}^r l_k$$

Donde:

$i, j, k$  - Cantidad de escalones de extracción, destape y total respectivamente;

$l_i, l_j, l_k$  - Longitud de los frentes de extracción, destape y total respectivamente.

Los sistemas de explotación se caracterizan por los siguientes índices fundamentales:

- Velocidad de desplazamiento del frente de arranque ( $V_{fa}$ )

$$V_{fa} = \frac{Q}{A \times h} \text{ m / mes}$$

- Velocidad de desplazamiento del escalón de trabajo.

$$V_{ft} = \frac{12 \times Q}{L_b \times h} = h_p (Cot\varphi + Cot\beta), \text{ m / año.}$$

- Velocidad de profundización de la cantera ( $h_p$ )

$$h_p = \frac{V_{ft}}{Cot\varphi + Cot\beta}$$

- Velocidad de descenso de los trabajos de extracción ( $h_{ext}$ )

$$h_{ext} = h_p \left[ \frac{Cot\varphi + Cot\beta}{Cot\varphi + Cot\gamma} \right] = \frac{V_{ft}}{Cot\varphi + Cot\gamma}$$

- Productividad por unidad de longitud del frente de extracción (mineral)

$$m = \frac{A_m}{L_m} = \frac{A_m}{\sum_{i=1}^n l_i}, \text{ m}^3 / \text{Km.año}$$

- Productividad por unidad del frente de destape ( $a_e$ )

$$e = \frac{A_e}{L_e} = \frac{A_e}{\sum_{j=1}^m l_j}, \text{ m}^3 / \text{Km.año}$$

- Productividad en masa mineral por unidad del frente total de trabajo (mm)

$$mm = \frac{A_{mm}}{\sum_{k=1}^m l_k}, M^3 / Km / año$$

- Pérdida de mineral útil, reflejada por el coeficiente de pérdida ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{\Delta P}{P}$$

- Empobrecimiento cualitativo (disminución del contenido mineral útil a partir de la adición de rocas estériles ( $\rho$ ))

$$\rho = \frac{\alpha - \alpha'}{\alpha}$$

- Empobrecimiento cuantitativo ( $\rho'$ )

$$\rho' = \frac{V}{P}$$

Donde:

$A_m$  - productividad mineral de la cantera;

$A_e$  - productividad estéril de la cantera;

$P$  - volumen planificado de extracción de mineral;

$\Delta P$  - pérdidas absolutas de mineral,  $m^3$ ;

$\alpha$  - contenido de componente útil en el mineral (en el macizo), %;

$\alpha'$  - contenido de componente útil en el mineral extraído, %;

$V$  - cantidad de rocas estériles adicionadas al mineral,  $m^3$ .

Algunos elementos e índices de los sistemas de explotación, como los escalones, velocidad de profundización, son también elementos e índices de la apertura del campo de cantera.

## **II.6.2.- Clasificación de los sistemas de explotación, concepto de régimen y etapas de los trabajos mineros.**

Como ya vimos, la relación cuantitativa de los volúmenes de los trabajos de destape y extracción se expresa por medio de los coeficientes de destape.

La sucesión de los trabajos de destape y extracción durante el período de existencia de la cantera para la cual se asegura un laboreo del yacimiento planificado, seguro y económico se caracteriza por el régimen de los trabajos mineros a cielo abierto.

Se diferencian los regímenes uniformes y no uniformes de los trabajos mineros.

Los regímenes uniformes, Figura No, 53, (una etapa) son característicos para unidades con un plazo de servicio no grande.

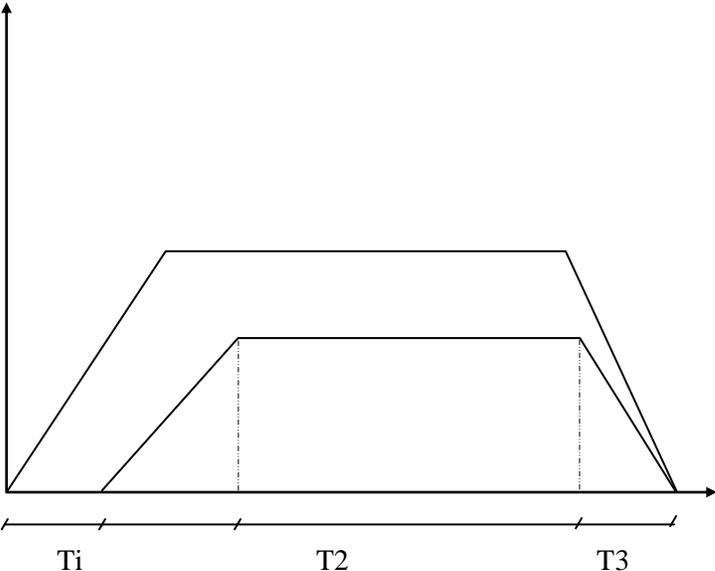


Figura No.53. Régimen uniforme de trabajo

Cuando la explotación de un yacimiento es muy prolongada es racional un régimen no uniforme (multietapa), Figura No. 54.

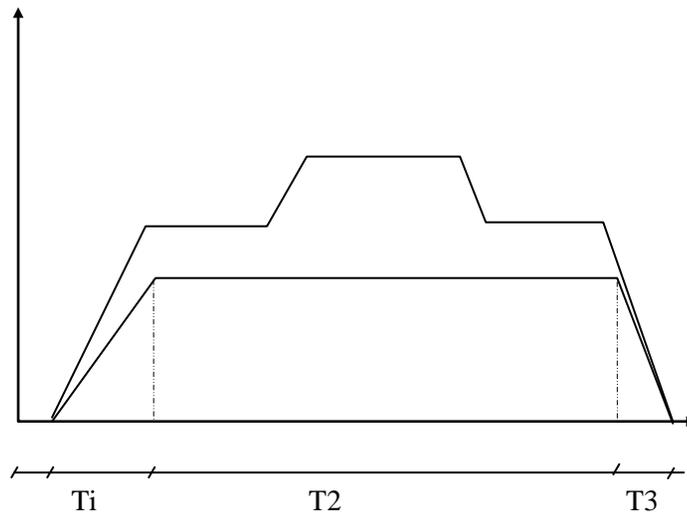


Figura No.54. Régimen no uniforme de trabajo

La magnitud de las etapas se elige de modo que corresponda con el plazo de amortización del equipamiento básico de la cantera. El paso de etapa en etapa en tiempo se corresponde con la necesidad de cambiar el equipamiento que ha envejecido. El establecimiento de regímenes racionales de los trabajos mineros es particularmente complejo e importante en el laboreo de cuerpos inclinados y abruptos, cuando los índices económicos de la actividad de la cantera varían debido a la necesaria y permanente profundización de los trabajos mineros.

#### **II.6.2.1.- Concepto de flujos de carga y circulación de carga en las canteras.**

Un flujo de carga de determinada calidad se caracteriza por una dirección relativamente estable (en el tiempo) y determinado volumen de traslados en un turno o día.

Si el escalón está formado por rocas homogéneas (destape o mineral) en sus límites se forma un flujo de carga elemental de roca de destape o de mineral. Si el escalón está compuesto, por ejemplo, por rocas de destape y mineral en sus límites se forman dos flujos de carga elementales. Al complicarse las condiciones de yacencia de las rocas se puede formar un gran número de flujos de carga

elementales. Los flujos de carga elementales en un escalón se unen en un flujo de carga del escalón. A su vez los flujos de carga de los escalones se tiende a unirlos en el flujo de carga de la cantera.

Se diferencian los flujos de cargas convergentes y divergentes (figura No.55)

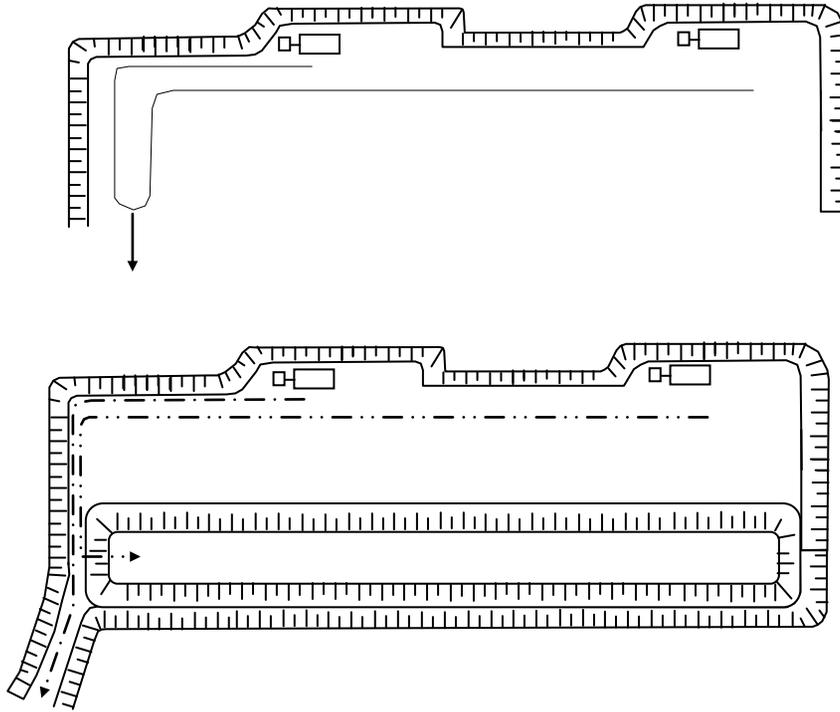


Figura No. 55. Flujos de carga divergentes y convergentes.  
y también concentrados y dispersos. Figura No. 56.

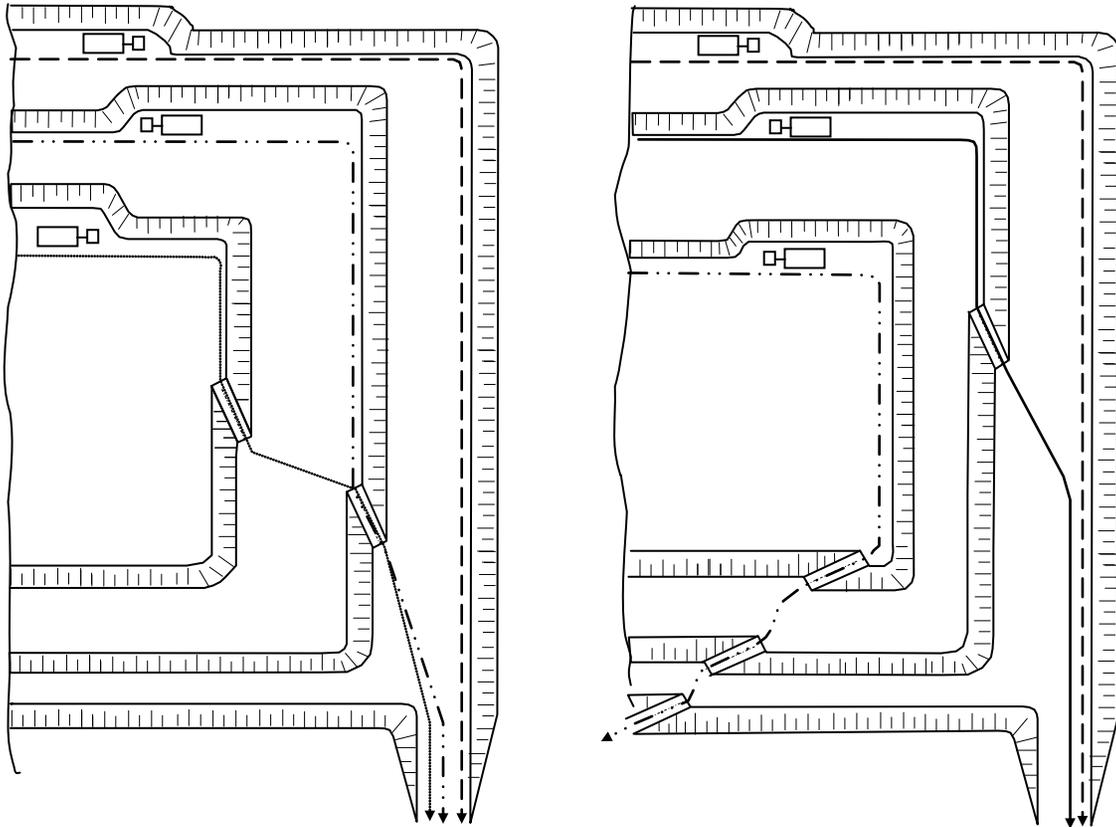


Figura No. 56. flujos de carga concentrados y dispersos.

Un flujo de carga se considera concentrado si los flujos de carga básica se desplazan por una vía de transporte de salida y disperso si los flujos de carga independientes se trasladan por diferentes vías básicas.

La circulación de carga la de cantera es la cantidad de carga (en toneladas o metros cúbicos) por unidad de tiempo (hora, turno, día, año).

### II.6.3. Zona laboral de la cantera.

La zona laboral de la cantera corresponde a aquella parte de ella en la que se realizan los procesos productivos básicos, es decir, el conjunto de bancos que se encuentran en laboreo simultáneamente.

La zona laboral a medida que se desarrollan los trabajos mineros se amplía desde las dimensiones iniciales de la trinchera de corte hasta que su arista superior alcanza el contorno final de la cantera al nivel de la superficie. El desarrollo de la

zona laboral en profundidad continúa hasta el momento que los trabajos mineros alcanzan la profundidad final de la cantera. Al laborear yacimientos horizontales y poco inclinados la zona laboral varía muy poco en altura. Estas zonas laborales se denominan ***sin profundización (condensadas)***.

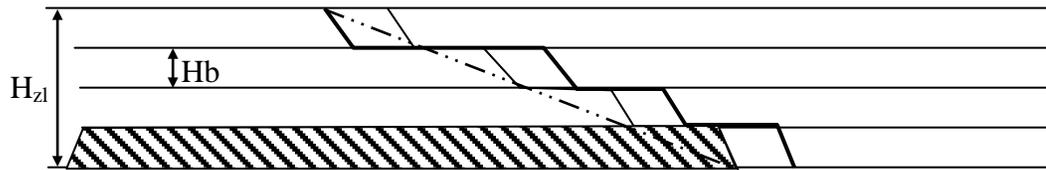


Figura No. 57. Zonas laborales sin profundización (condensadas).

Al laborear yacimientos inclinados y abruptos las dimensiones de la zona laboral varían tanto en el plano como en altura. Estas zonas laborales se denominan ***con profundización***.

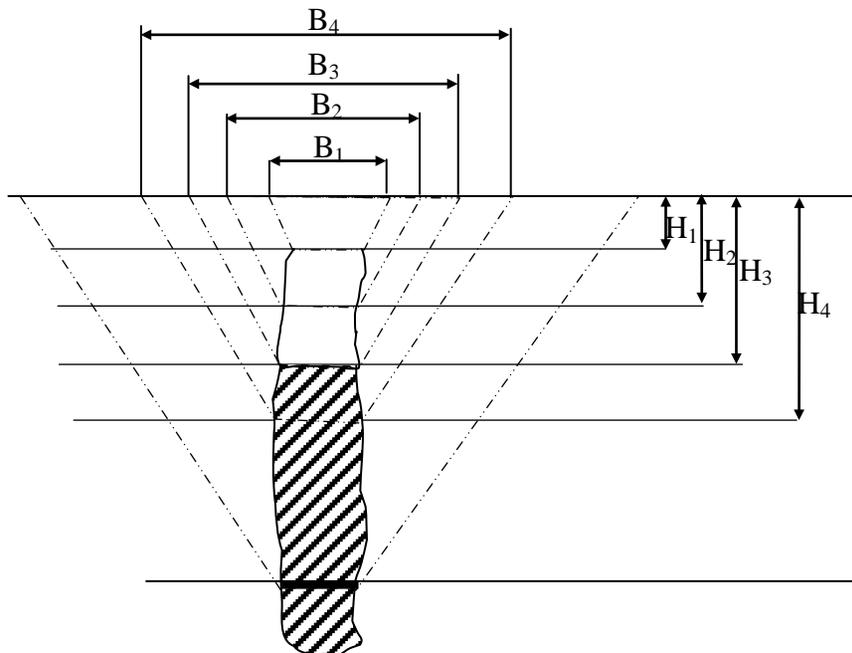


Figura No. 58. Zonas laborales con profundización.

#### **II.6.4.- Sistemas de explotación y sus clasificaciones.**

Sistema de explotación: es un orden establecido de realización de los trabajos de destape, extracción y preparatorios que posibilita el laboreo seguro, económico y total de los recursos observando las medidas de conservación del medio.

Los sistemas de laboreo o de explotación de los cuerpos horizontales y poco inclinados, en el período de la explotación se caracterizan solo por el orden de realización de los trabajos de destape y extracción y las variaciones de la longitud del frente de los trabajos o la altura de los escalones aislados. Los trabajos preparatorios, en este caso, terminan con la creación del frente primario de los trabajos de destape y extracción. **Estos sistemas de explotación se denominan sin profundización** ya que para ellos es característica una ubicación constante de la zona laboral.

La particularidad característica del laboreo de los yacimientos inclinados y abruptos es que a medida que se desarrollan los trabajos mineros en profundidad la altura de la zona laboral aumenta y es necesario en relación con esto, realizar trabajos preparatorios durante todo el período de explotación.

Los trabajos preparatorios en el período de explotación son necesarios para la apertura de los horizontes en profundidad y para la creación de un frente estable de los trabajos de destape y extracción. **Tales sistemas de explotación se llaman con profundización**, ya que para ellos es característico el traslado de la posición laboral.

Las clasificaciones de los sistemas de explotación se basan en:

- El desarrollo general de los trabajos mineros en relación con los contornos del campo de cantera.
- La dirección de desplazamiento de las rocas de destape
- La forma de realización de los trabajos de destape.

Por el desarrollo general de los trabajos mineros en relación con los contornos del campo de cantera los sistemas de explotación se dividen en:

- **Longitudinales** (de uno o dos bordes), el frente de los trabajos de destape y extracción se desplaza paralelamente a la longitud del campo de cantera.

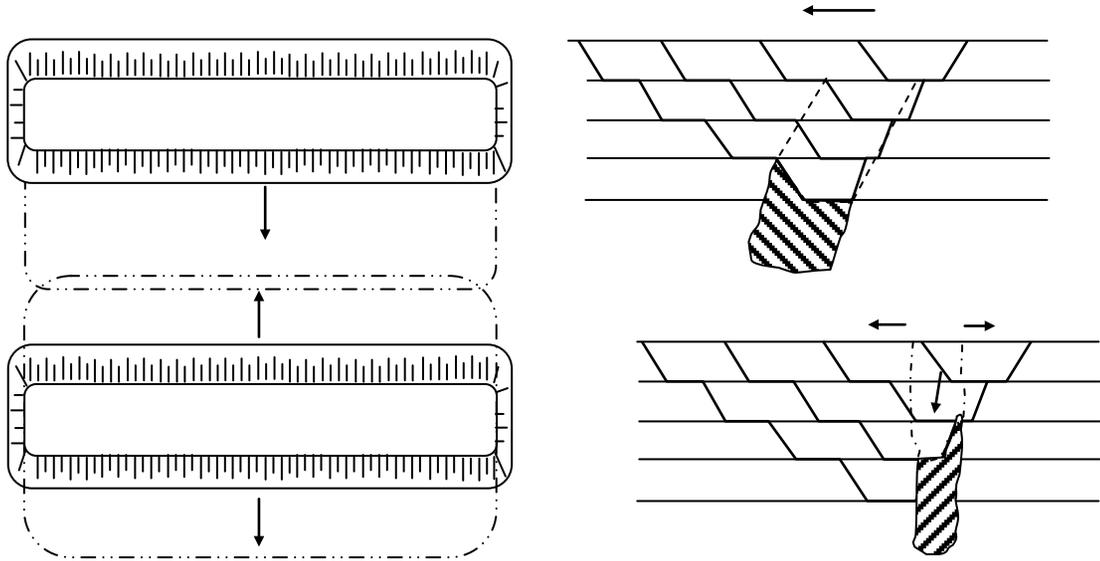


Figura No. 59. Sistemas de explotación longitudinales según los contornos del campo de minas (cantera).

**Transversales** (de uno o dos bordes) el frente de los trabajos de destape y extracción se desplazan paralelamente al eje corto del campo de cantera.

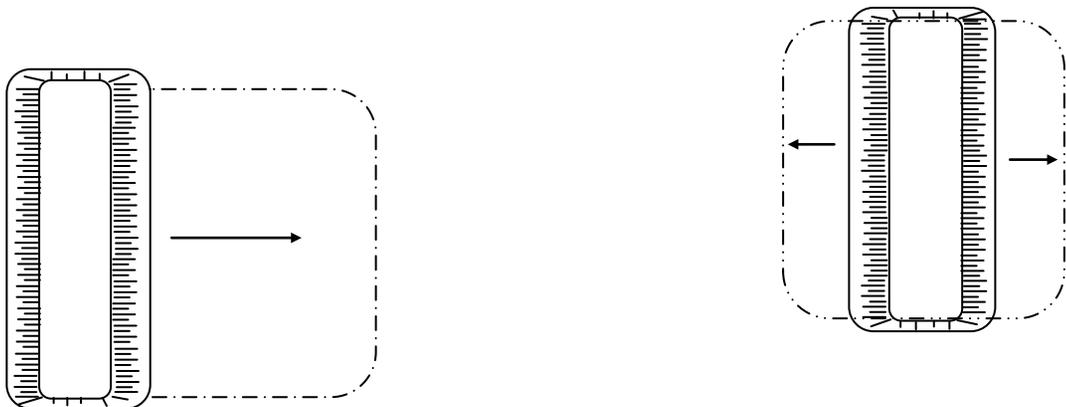


Figura No. 60. Sistemas de explotación transversales según los contornos del campo de minas (cantera).

**En abanico** (central y distribuido) el frente de los trabajos de destape y extracción se desplaza en abanico con puntos de giros centrales o distribuidos.

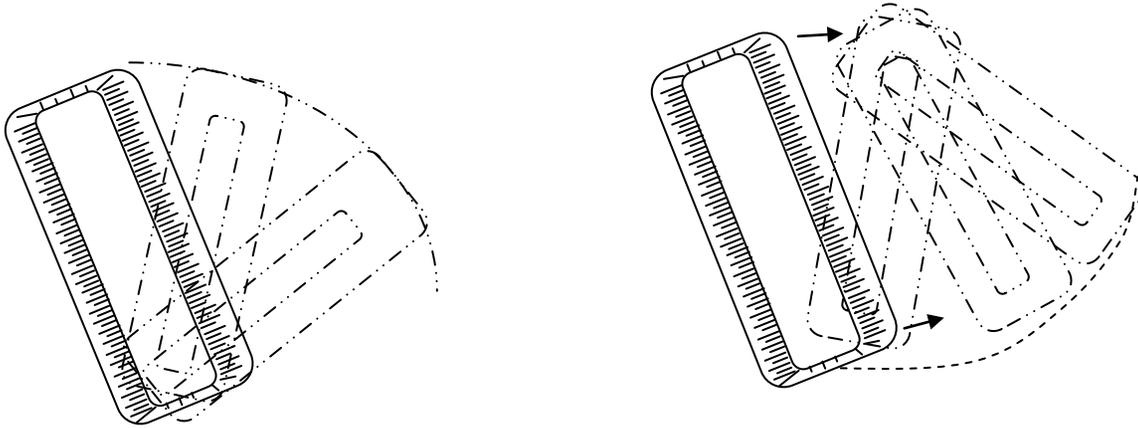


Figura No. 61. Sistemas de explotación en abanico según los contornos del campo de minas (cantera).

**Anulares** (centrales o periféricos): El frente de los trabajos de destape y extracción se ubican por todo el borde de la cantera y se desplaza desde el centro hacia los límites del campo de cantera o desde el límite de este hacia el centro.

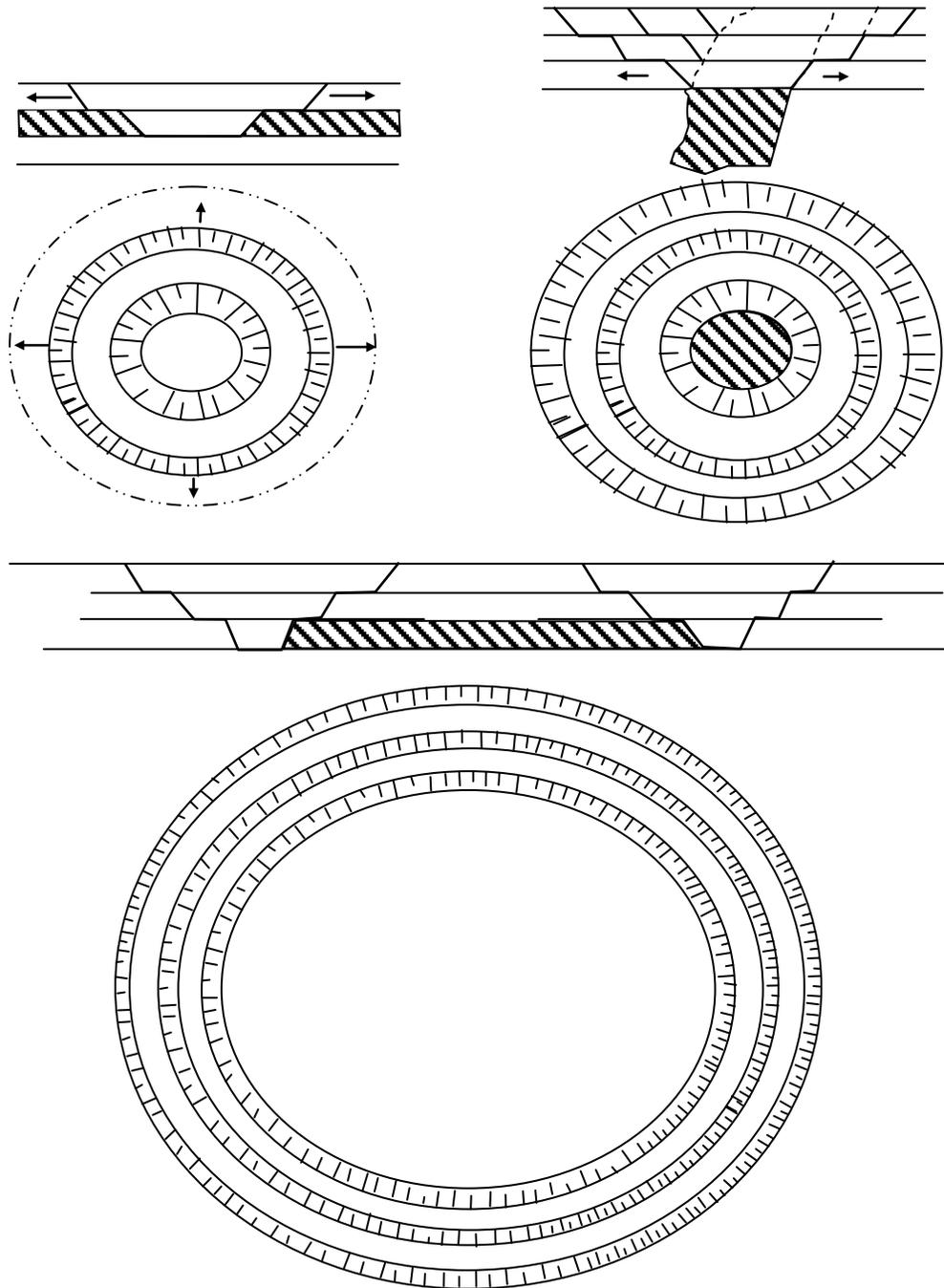


Figura No. 62. sistemas de explotación anulares según los contornos del campo de minas (cantera).

Por la *dirección de desplazamiento de las rocas de destape* los sistemas de laboreo se clasifican en:

Con desplazamiento transversal de las rocas a la escombrera sin medios de transporte; se denominan normalmente sin transporte

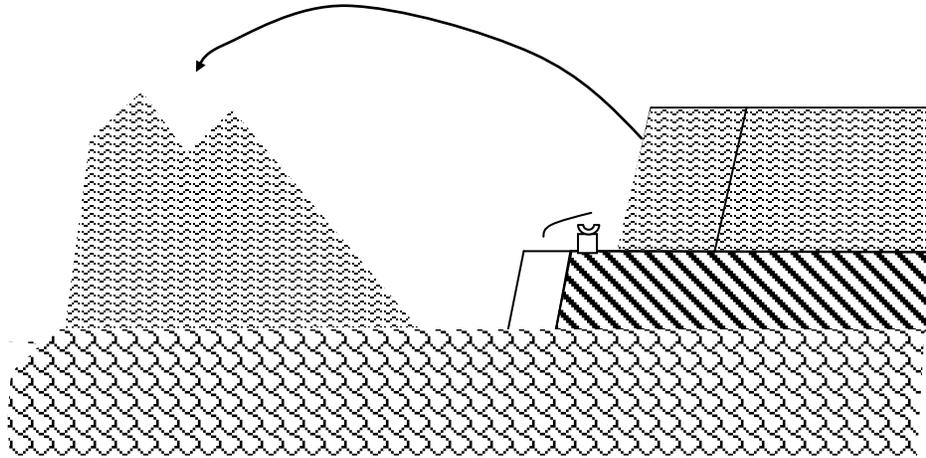


Figura No.63. Sistema de laboreo con desplazamiento transversal según la dirección de desplazamiento de las rocas de destape.

Con desplazamiento longitudinal de las rocas a la escombrera con medios de transporte, se denomina normalmente con transporte.

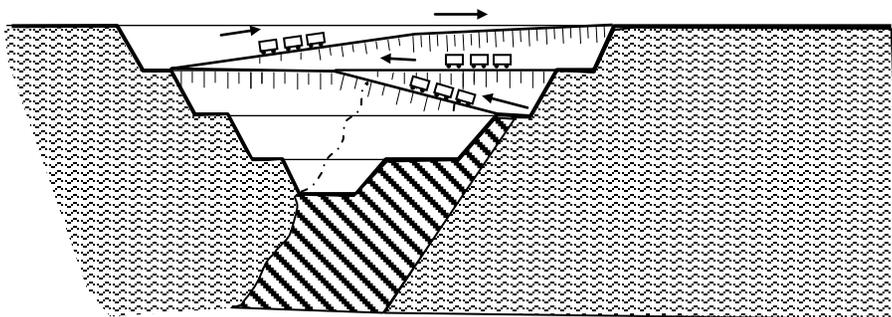


Figura No.64. Sistema de laboreo con desplazamiento longitudinal según la dirección de desplazamiento de las rocas de destape.

**Combinados:** Con desplazamiento transversal y longitudinal al unísono de las rocas a las escombreras. Estos sistemas tienen signos de los sistemas con transporte y sin transporte.

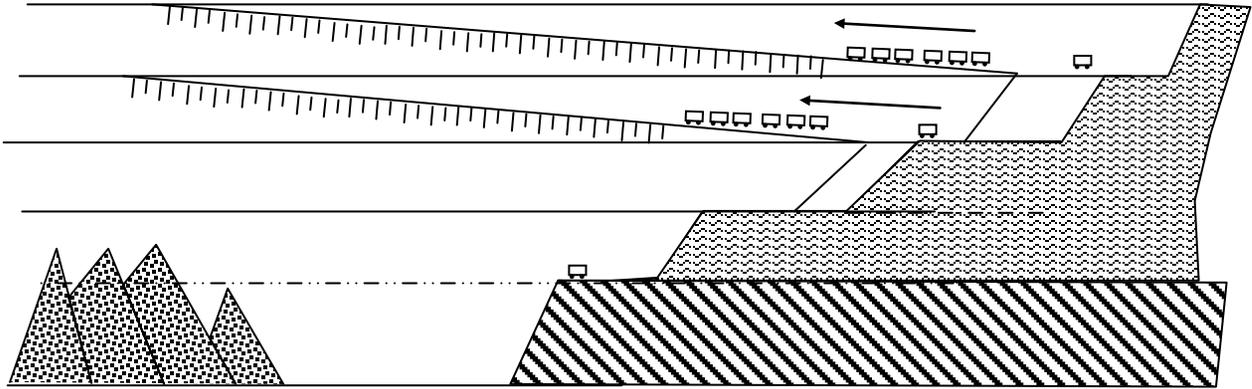


Figura No.65. Sistema de laboreo combinado según la dirección de desplazamiento de las rocas de destape

**Por la forma de realización de los trabajos de destape los sistemas de laboreo se dividen en:**

**Sin transporte,** con desplazamiento de las rocas desde los frentes hasta la escombrera interior por medio de las excavadoras de destape (palas directas o dragalinas). Figura No 66.

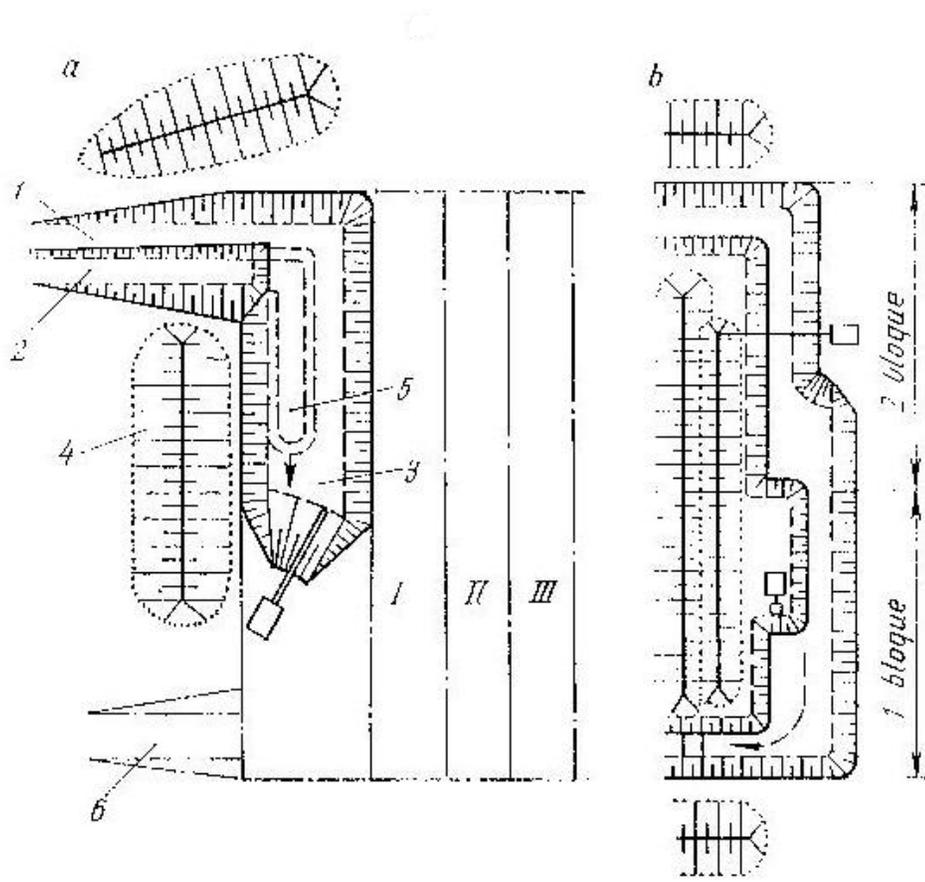


Figura No.66. Detalles del sistema simple de laboreo sin transporte.

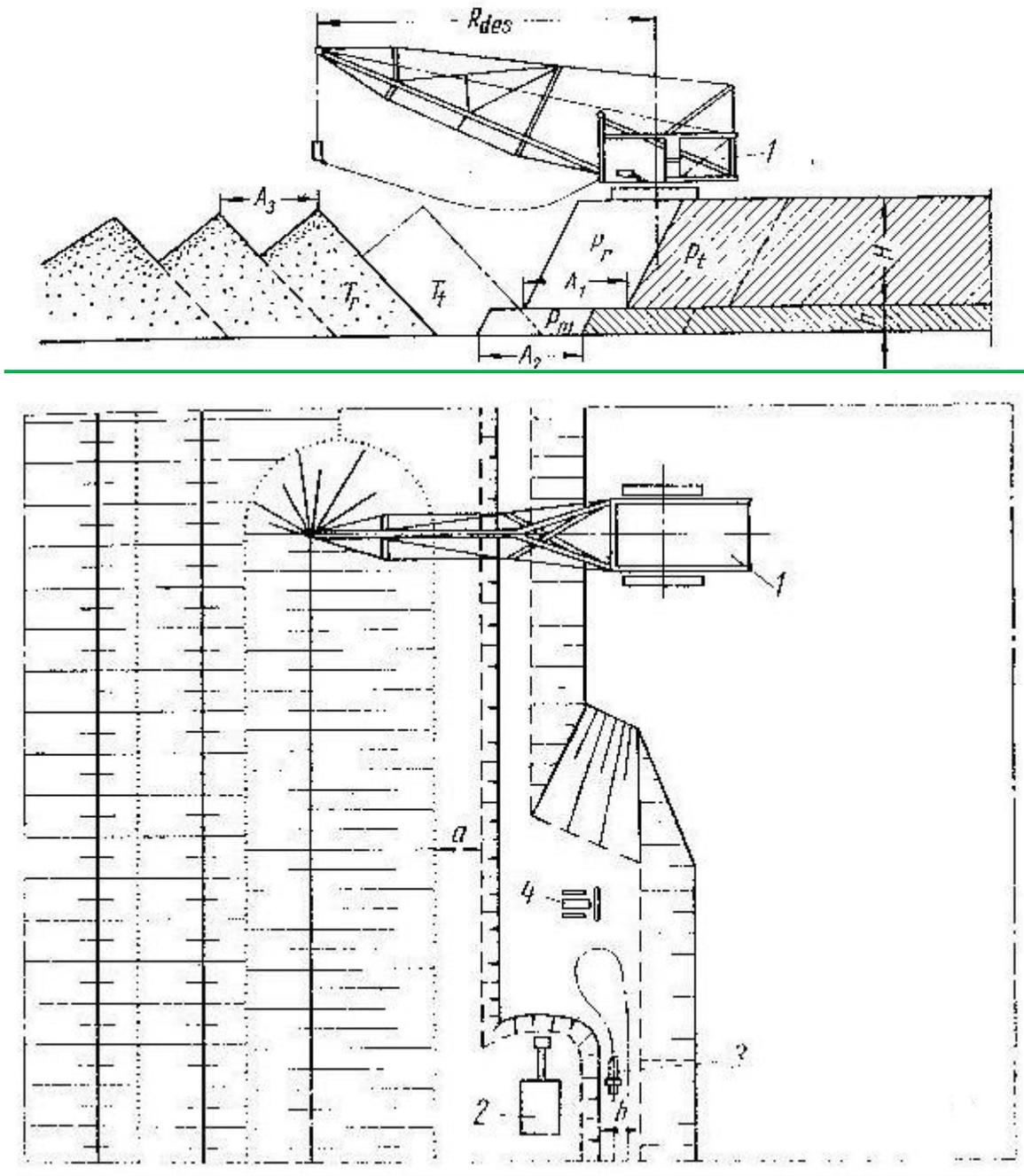


Figura No. 67. Detalles del sistema simple de laboreo sin transporte

**Con excavadora única**, los trabajos de destape y extracción se realizan por la misma excavadora alternativamente. Las rocas de destape se trasladan al espacio laboreado y el mineral a una tolva móvil ubicada en la superficie. De la tolva el mineral se carga a los medios de transporte.

**Con transporte de escombrera**. Las rocas de destape se trasladan a las escombreras interiores por medio de los puentes de escombrera a las consolas formadoras de escombreras.

**Especiales**. Las rocas de destape se alejan por medio de grúas torres, scrapers, medios hidromecánicos, bulldózer y otros equipos especiales.

Con transporte: Las rocas de destape se desplazan a las escombras con medio de transporte. Estos sistemas son más complejos y menos económicos que los sistemas sin transporte, pero pueden utilizarse para cualesquiera condiciones de yacencia de los cuerpos minerales y por eso son los más utilizados.



Figura No. 68. Esquema de una Mina a Cielo abierto, Río Tinto, España.

### PARTE III.- APERTURA PREPARACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS PARA SU EXPLOTACION POR EL MODO SUBTERRANEO.

#### III.1. Principales tipos excavaciones subterráneas.

A) **Pozo Vertical:** a partir de la función que realizan en el yacimiento se dividen en: principal, de ventilación y auxiliar.

**Legenda:**

1. Pozo vertical
2. Recorte
3. Contrapozo de apertura
4. Galería Transversal
5. Pozo Ciego Interior
6. Galería Transversal de nivel
7. Rampa
8. Galería Transversal Maestra
9. Galería de mina

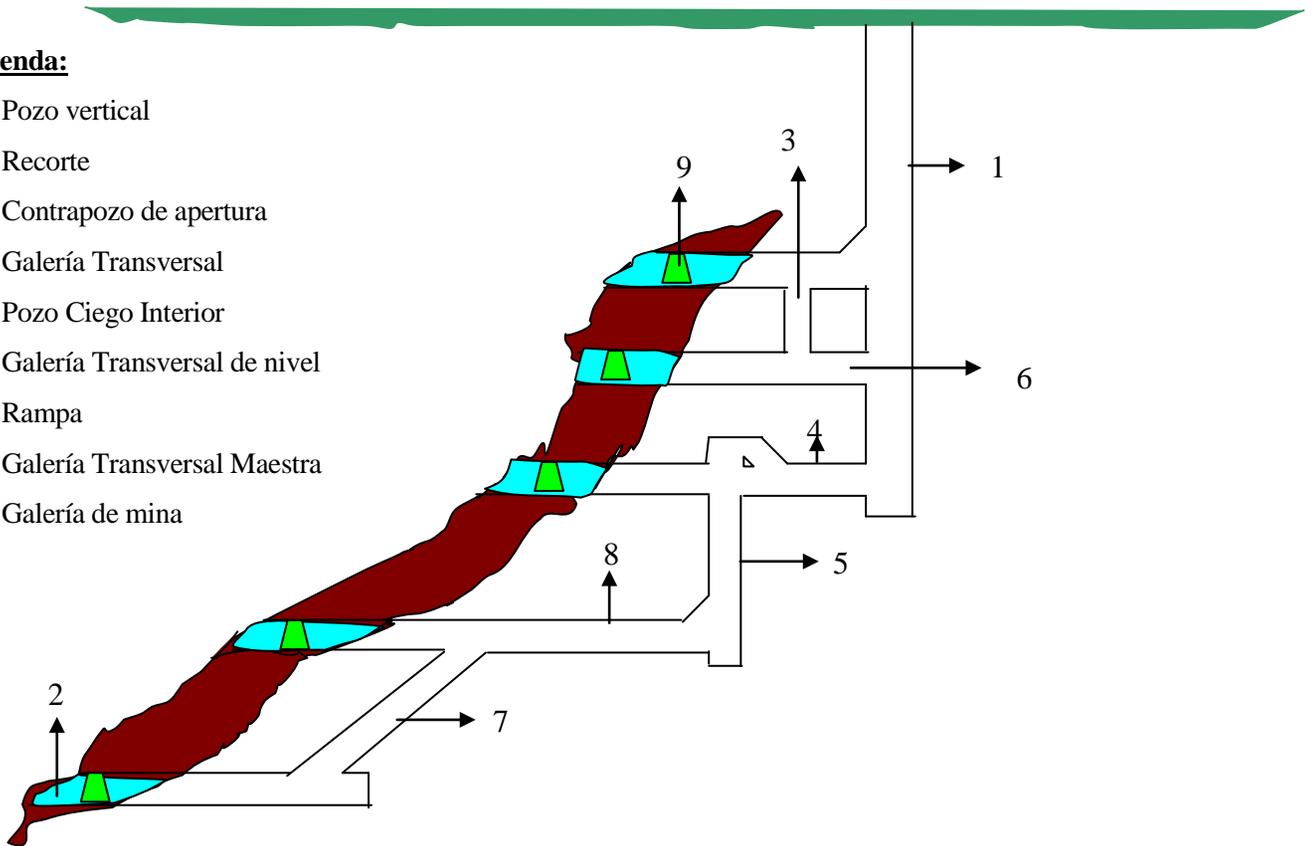


Figura No.70. Excavaciones mineras subterráneas

#### B) Galerías transversales y longitudinales:

En función de la cantidad de masa menífera que salga por cada excavación se dividen en:

- **Maestras:** Por ella sale toda la masa menífera del yacimiento. Un ejemplo típico lo constituyen las galerías maestras de los yacimientos de carbón.

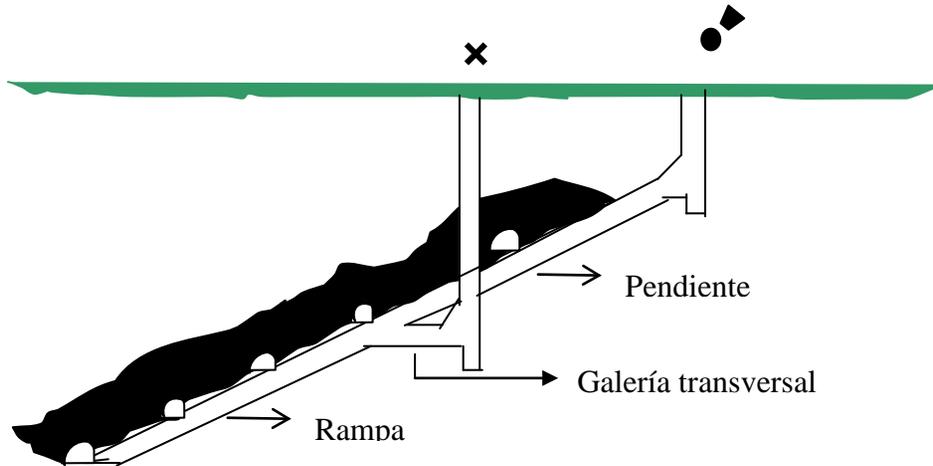


Figura No. 71: Galería transversal maestra (a).

- **De nivel:** Por ella sale toda la masa menífera de un nivel.

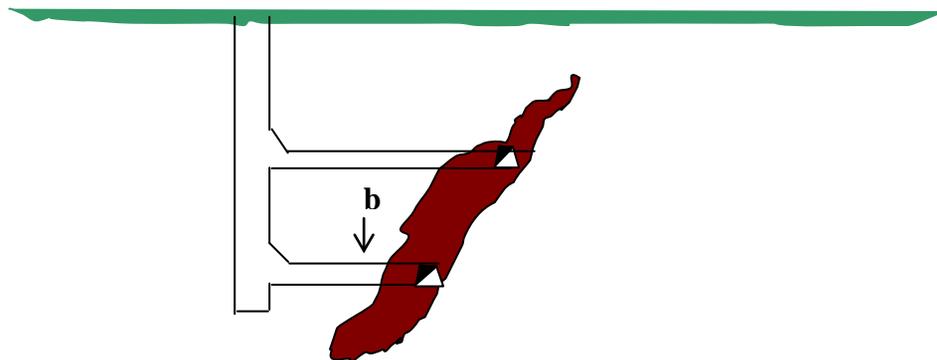


Figura No. 72: Galería transversal de nivel (b).

- **De grupo:** Se realiza con el objetivo de explorar nuevos cuerpos en un mismo yacimiento.

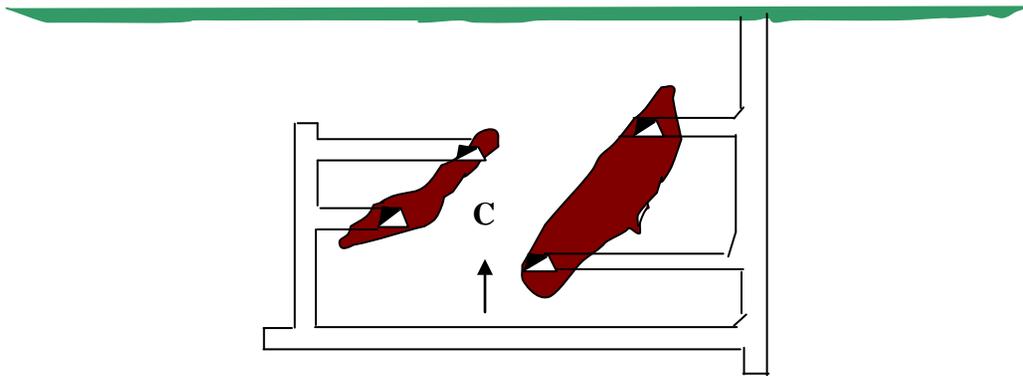


Figura No.73. Galería transversal de grupo (c).

- **De concentración:** En ella se concentra toda la masa menífera de uno o varios niveles. Figura 74.

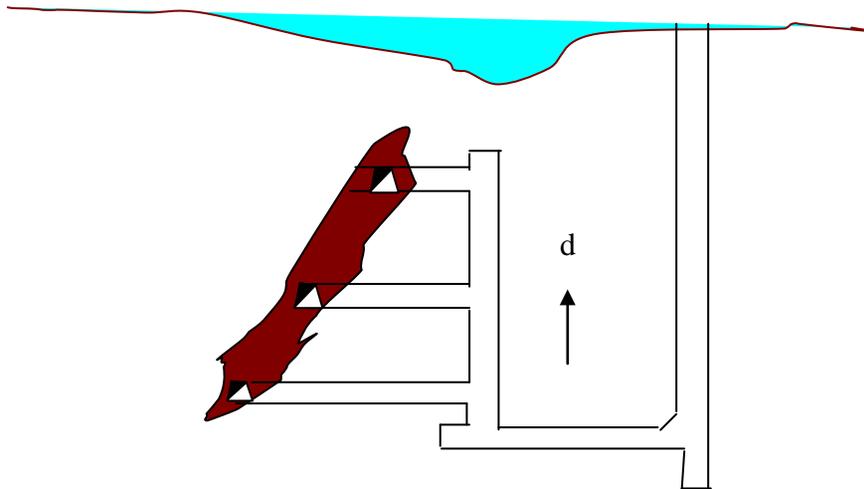


Figura No.74. Galería transversal de concentración (d).

### C) Contrapozo de Apertura. Figura No. 75.

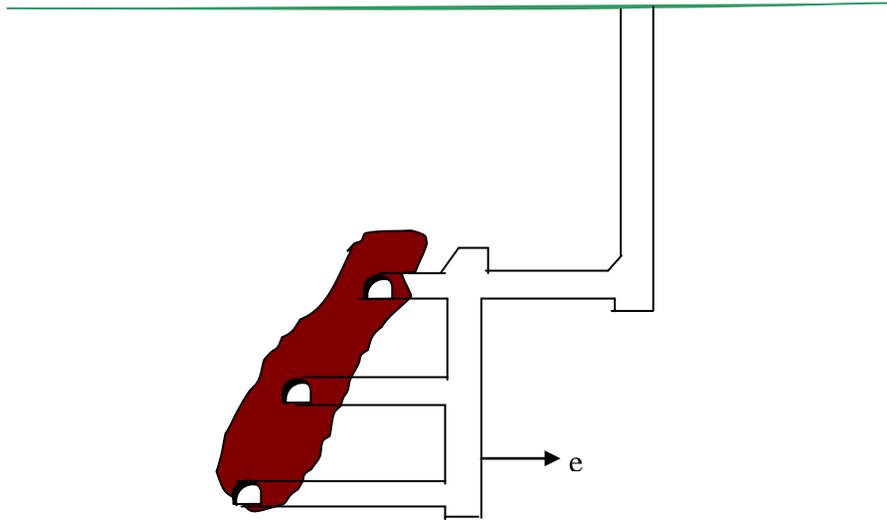


Figura No. 75. Contrapozo de apertura (e).

Es conveniente aclarar que no todos los autores denominan estas excavaciones de la misma manera. Por ejemplo, Borisov a las galerías transversales las denomina **cortavetas**.

#### III.2. Tipos de excavaciones y requisitos de seguridad.

Anteriormente se definió el concepto de trabajo de apertura como el conjunto de operaciones y excavaciones subterráneas que comunican la superficie con un punto del yacimiento. A lo que se añade, que por razones de seguridad todo yacimiento se apertura por lo menos a través de dos excavaciones o series de excavaciones subterráneas: por una se envía el aire fresco al interior de la mina y por la otra se expulsa el aire viciado a la superficie, luego de haberse ventilado los frentes de trabajo.

De acuerdo con la función que realizan las excavaciones de apertura se clasifican en:

- ⇒ Principales
- ⇒ Auxiliares

⇒ Complementarias

⇒ De grupo

Las excavaciones de apertura **principales** se utilizan para la extracción de la masa minera a la superficie, para la ventilación de la mina, para el transporte de equipos, materiales y el personal debajo mina. Son los **pozos verticales, pozos inclinados, socavones y galerías transversales**.

Las excavaciones de apertura **auxiliares** se destinan para determinados usos específicos diferenciándose de las principales en que por lo general tienen una sección de menor área. Son los pozos o redes de contrapozos que se comunica con la superficie que se utilizan para el descenso de material de relleno y otros materiales, para la ventilación, como vía de escape como son las excavaciones de reserva para la extracción y otros fines.

Las excavaciones de apertura **complementaria** tienen como función llegar hasta los niveles profundos de la mina. A ella pertenecen **los pozos ciegos o interiores, tanto verticales como inclinados**.

Las excavaciones de **grupos** se utilizan para la apertura de cuerpo minerales que se encuentran distantes de la excavación de apertura principal, por lo general como consecuencia de su descubrimiento tardío.

⇒ **Esquema de apertura según la posición relativa de extracción y ventilación.**

La ubicación relativa de los pozos de extracción y ventilación entre si y con respecto al cuerpo mineral brinda esquemas que basan su diferencia principal en el recorrido que realiza la corriente de aire bajo mina, razón por la cual se conceptúan como esquema de ventilación, sin embargo aperturan y la consecuencia de su elección van mas allá de los limites de la ventilación de minas.

Existen dos esquemas: **central y diagonal**.

El esquema **central** se caracteriza porque tanto el pozo de extracción como el de ventilación se encuentran ubicados en la cercanía o en el mismo centro de masa

del campo de mina, situándose los pozos a una distancia mínima de 30 m uno del otro por razones de seguridad.

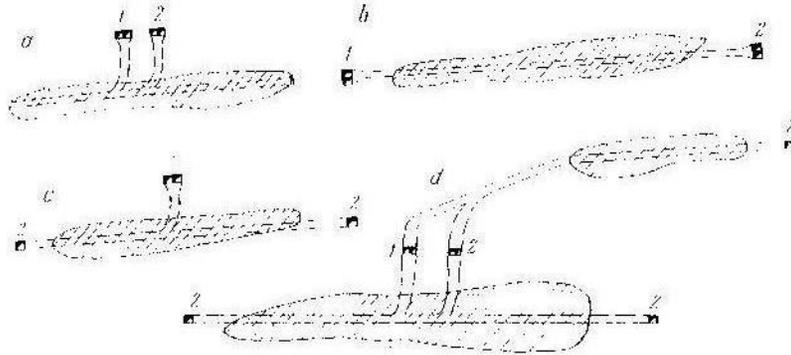


Figura No.76. Disposición recíproca de los pozos principal y auxiliar (en el plano) 1- pozo principal, 2- pozo auxiliar, a) esquema central, b) diagonal, c) central diagonal, d) disposición mutua del pozo principal y de cuatro pozos auxiliares.

Las **ventajas** que ofrece este esquema son las siguientes:

1. Permite una mayor concentración de las edificaciones de sobre mina lo que facilita una mayor organización y dirección de los trabajos que se realizar en la superficie, disminuye las vías de comunicaciones y reduce el área total del complejo de superficie, esto último es de gran importancia en las minas que se encuentran en zonas montañosas.
2. Requiere una cantidad pequeña de pozos lo que tiene gran significado en minas de mediana y pequeña producción que laborean yacimientos a grandes profundidades.
3. Al estar ubicados los pozos uno cerca del otro permite el laboreo en ascenso de uno de ellos con el consiguiente aumento de la higiene del trabajo, velocidad de laboreo y disminución de los gastos. La profundización de los pozos también resulta más cómoda.
4. Disminuye el plazo de puesta en marcha de la mina al crearse con rapidez el flujo de la corriente de ventilación.

5. Ofrece la posibilidad de proyectar un solo pilar de seguridad de los pozos o un número mínimo de ellos, lo cual disminuye las pérdidas de mineral cuando es imposible evitar dejar pilares con reservas minerales.

Sus **desventajas** son:

1. Dificultades en la ventilación de la mina: posibilita la formación de cortocircuitos en la corriente de aire; el aumento constante de las longitudes totales de las excavaciones de preparación, obliga a un mayor control de la ventilación e impide elaborar un solo proyecto de ventilación.
2. La existencia de “prácticamente” una sola salida de la mina resulta muy peligroso para la evacuación del personal en caso de averías (derrumbe, fuego, inundación).

El esquema **diagonal** (llamado también de **flancos**) (figura No. b y c), se subdivide en esquema central diagonal y diagonal propiamente dicho. En el primero de los casos el pozo de extracción esta situado en o cercano al centro de masa del campo de mina y los pozos de ventilación en los flancos o limites del campo de mina; en el segundo tanto el pozo de extracción como el de ventilación están situado en los flancos.

Las principales **ventajas** de los esquemas diagonales son:

1. ventilación más barata, segura y sencilla.
2. ofrece mayor información geológica del yacimiento y en el drenaje del campo de mina.
3. mejora las condiciones de seguridad de la mina al crear más vías de escape.

Entre las mayores **desventajas** se encuentran:

1. mayores gastos en el laboreo y mantenimiento de las excavaciones de apertura.
2. aumento del tiempo de puesta en marcha de la unidad productora al tener necesidad de terminar.

**Requisitos de seguridad**

Durante la apertura de un yacimiento es necesario tener en cuenta un conjunto de factores que influyen en el estado tensional del macizo, (aparte del relieve, las propiedades físico-mecánicas de las rocas y los elementos de yacencia). Todos ellos, se deben analizar pues una vez extraído el mineral, las rocas que circundan el macizo comienzan a descender desmoronándose ocupando el espacio laboreado. Este hundimiento y bajo determinadas condiciones puede afectar la superficie.

La profundidad de explotación segura cuando el movimiento de las rocas llega hasta la superficie, depende de la relación entre la profundidad de yacencia y su potencia. Esa correlación, para que la profundidad de explotación ofrezca seguridad, no debe ser menor de 200 m.

Ahora bien, si la profundidad de explotación es menor que la profundidad de seguridad, entonces se formará en la superficie una depresión, circunscripta por los límites del desplazamiento del terreno denominada zona de deslizamiento. En esta zona existe otra que se destaca por la formación de grietas y un desprendimiento más intenso de las rocas. Es la denominada zona de derrumbe, Figura No.77 .

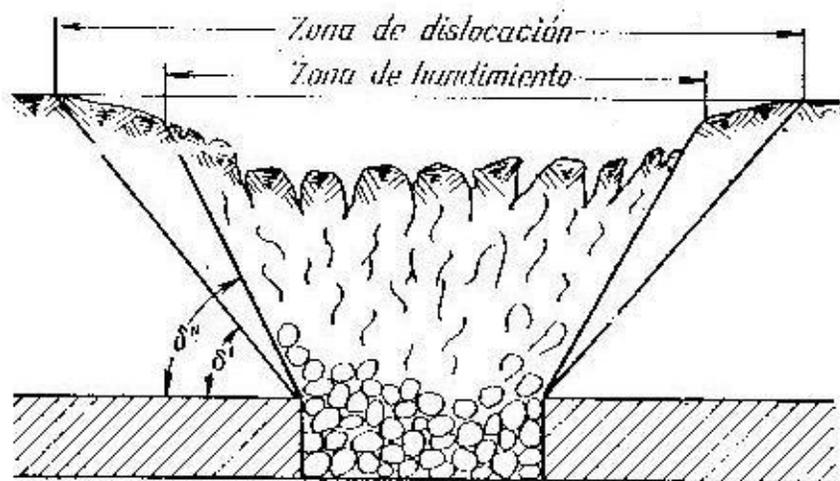


Figura No.77. Esquema de dislocación de las rocas, al ser explotado el mineral.

De ahí que el ángulo formado entre la horizontal y el colgante del cuerpo mineral sea el de deslizamiento por el colgante y el otro sea del yacente. El formado en la zona de derrumbe se denomina *ángulo de derrumbe del colgante y yacente respectivamente*. En dependencia de las condiciones de explotación estos ángulos toman valores diferentes y varía entre 30-40 grados para condiciones desfavorables de explotación y entre 70-80 grados par condiciones difíciles de explotación.

Por tanto, las excavaciones de apertura deben situarse fuera de dichas zonas de deslizamiento a una distancia no menor de 20-60 m. en la práctica mundial los valores de estos ángulos oscilan en:

- 1- rocas de caja fuertes y estables.....55-80 grados
- 2- rocas blandas..... 30-50 grados
- 3- Rocas o suelos secos.....37-45 grados
- 4- Rocas o suelos húmedos.....25-37 grados
- 5- Rocas o suelos muy húmedos.....20-30 grados

Es importante tener en cuenta que no siempre las excavaciones mineras atraviesan un solo tipo de roca, en el caso de existir dos o más tipos litológicos cada ángulo de deslizamiento se determina capa a capa.

Otra forma de conservar las edificaciones de superficie sobre mina es dejando pilares de seguridad, o sea porciones de cuerpos de mena que no serán extraídos durante la explotación minera. De estos pilares por lo general se pierde de un 40-60 % de mineral. El dimensionamiento de estos pilares se realiza por métodos gráficos a partir de los ángulos de derrumbe y de deslizamiento de las rocas cuyos valores aparecen reflejados anteriormente.

### **III.3. Clasificación de los esquemas de apertura según el tipo de excavación y su posición con respecto al cuerpo mineral.**



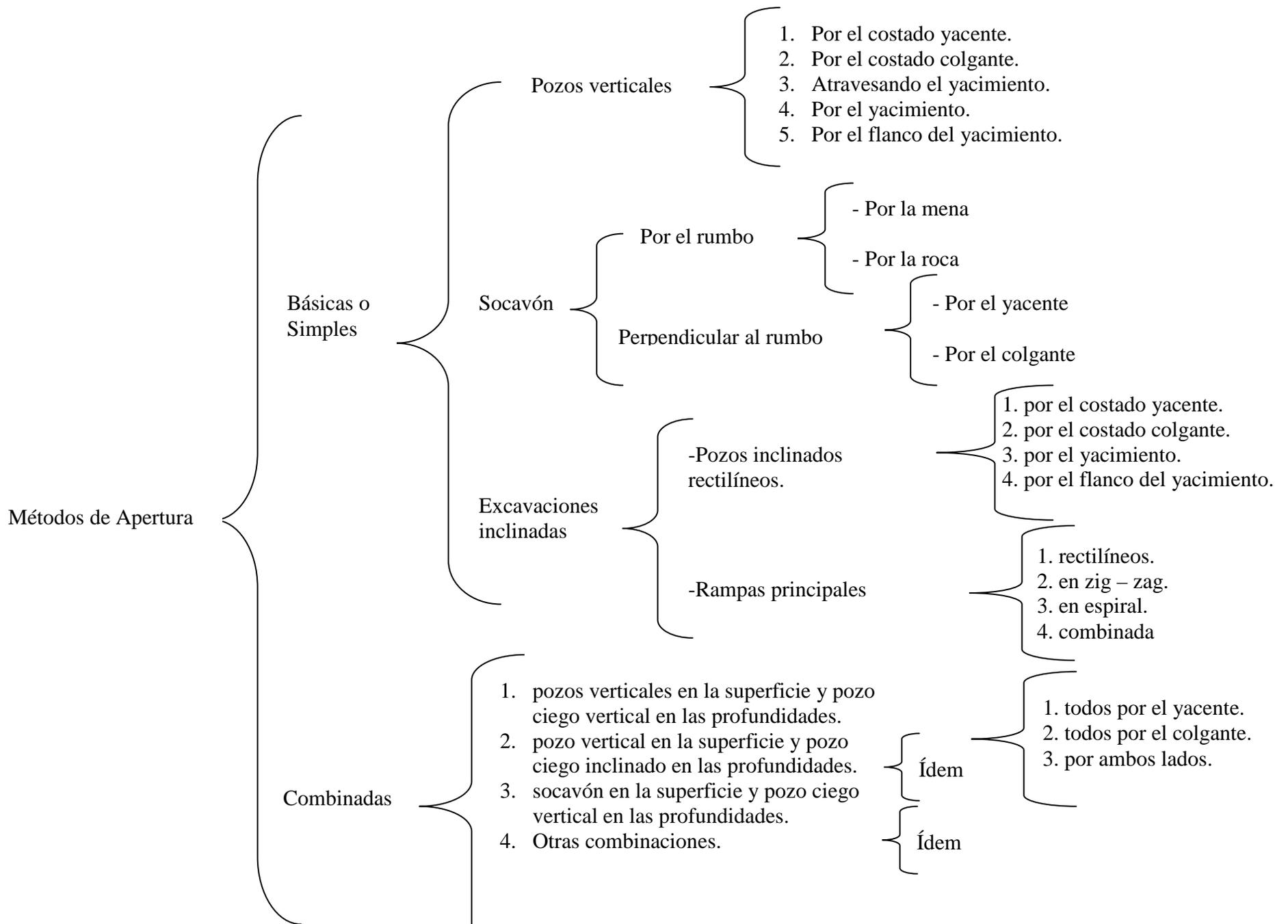


Figura 78. Clasificación de los métodos de apertura.



**Métodos de apertura básicos o simple:** Formados por una excavación principal de apertura en los niveles superiores de la mina.

**Métodos de apertura combinados:** Constituidos por dos o más excavaciones principales de apertura. Una en los niveles superiores de la mina y otra en los niveles inferiores.

↗ **Apertura por pozo vertical.**

Estos esquemas se aplican hasta profundidades de 1200 – 1400m., en yacimientos con buzamientos de 0° a 10° y mayores de 30° cuando el relieve de la superficie de la tierra es poco accidentado.

- a) El esquema de pozo vertical por el costado yacente es el mas utilizado en la práctica mundial, el resto de los esquemas se utiliza cuando factores geomíneros o topográficos así lo exigen.

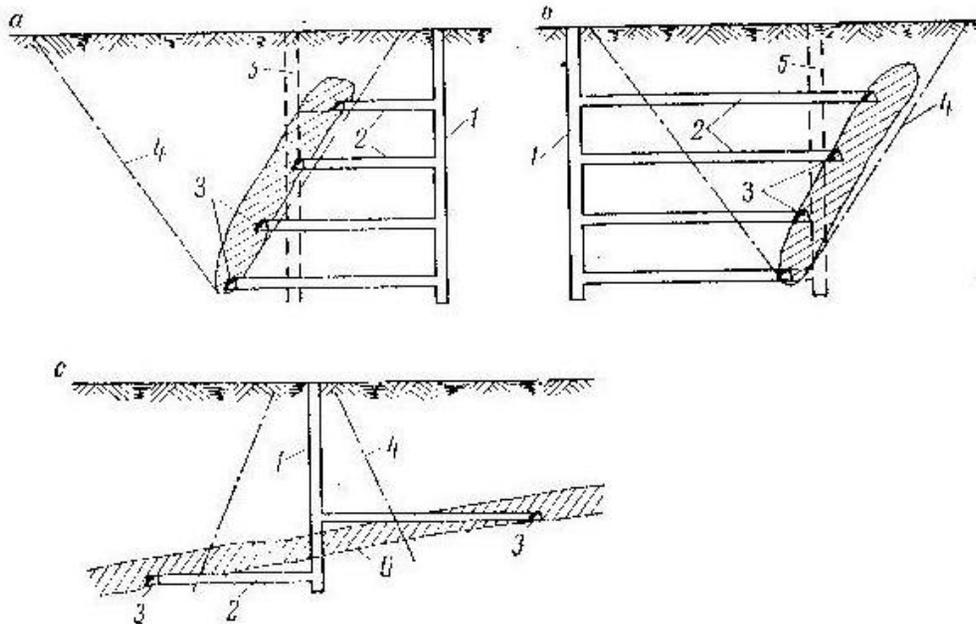


Figura No. 79. Apertura por pozo vertical: 1, pozo de mina a) por el costado yacente, b) por el colgante, c) que atraviesa el yacimiento; 2, cortaveta; 3, galería; 4, límite de la zona de dislocación; 5, pozo auxiliar; 6, pilar de seguridad.

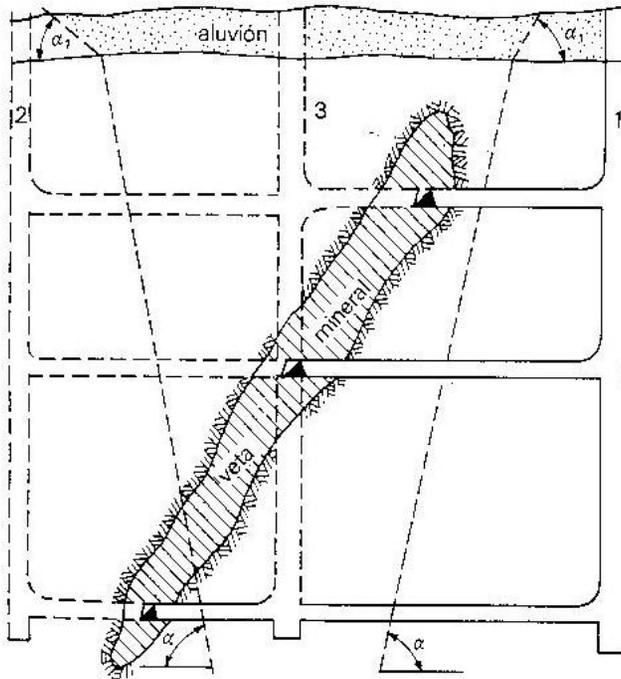


Figura No.80. Variante de apertura por pozo vertical: 1, pozo en el costado yacente; 2, pozo en el costado colgante; 3, pozo por el yacimiento;  $\alpha_1$ , ángulo de equilibrio natural en los aluviones,  $\alpha_2$ , ángulo de equilibrio natural de las rocas.

Sus dos grandes **ventajas** son:

1.- las presiones mineras, que surgen como consecuencia de la explotación del yacimiento, se manifiestan con menores intensidades en el costado yacente por lo que los costos de laboreo y mantenimiento de las excavaciones de apertura son mínimas.

2.- No quedan reservas de menas en el pilar de seguridad del pozo.

Su mayor desventaja es la necesidad de excavar galerías transversales más largas, a medida que se profundiza el pozo.

b) El esquema de pozo vertical por el colgante se aplica cuando la topografía del terreno, o la presencia de rocas muy inestables, o condiciones hidrogeológicas difíciles nos impiden cavar el pozo por el costado yacente.

Sus **desventajas** son:

1. La gran longitud de de sus galerías transversales.
2. La necesidad de dejar pilares de seguridad de mineral cuando el pozo se excava dentro de los límites de la zona de deslizamiento.

El esquema de pozo vertical atravesando el yacimiento tiene la gran **ventaja**, sobre los dos esquemas anteriores, de que la sumatoria de las longitudes de sus galerías transversales es menor y de que el costo de transporte horizontal subterráneo, cuando el pozo se ubica en el centro de masa del yacimiento, se hace mínimo. Tiene la desventaja de que el pilar de seguridad del pozo inmoviliza una cantidad considerable de reservas melíferas.

Por su **desventaja** se aplica, solo en yacimientos de menas pobres, o poco valiosas que sean poco potentes y tengan una gran extensión por el rumbo.

- c) El esquema de pozo vertical por el yacimiento se utiliza cuando las condiciones de inestabilidad de las rocas de caja aconsejan excavar el pozo por la mena o cuando la morfología del yacimiento no nos deja otra alternativa.

Debido a las grandes pérdidas de mena, que se producen en el pilar de seguridad, se usa muy raras veces y preferentemente en yacimientos abruptos, de pequeña potencia que se encuentran a poca profundidad y están muy poco explorados.

- d) La apertura del pozo vertical por el flanco vertical resulta racional en yacimientos abruptos de poca longitud por el rumbo, cuando no es posible situar el pozo en el costado yacente. Resulta más ventajoso cuando el sentido del transporte subterráneo coincide con el de superficie. Se puede aplicar, también, en yacimientos horizontales de menas ricas o valiosas cuando se quieren evitar pérdidas de mena en el pilar de seguridad del pozo. En este caso la longitud de la galería maestra aumenta.

#### ↗ **Apertura por pozo inclinado.**

El gran desarrollo experimentado en las últimas décadas por el método de apertura por pozo inclinado obliga a subdividirlos en dos grandes grupos, los esquemas que utilizan pozos inclinados rectilíneos y los que utilizan pozos

inclinados en espiral o en zig-zag conocidos en muchos países con el nombre de apertura por rampas.

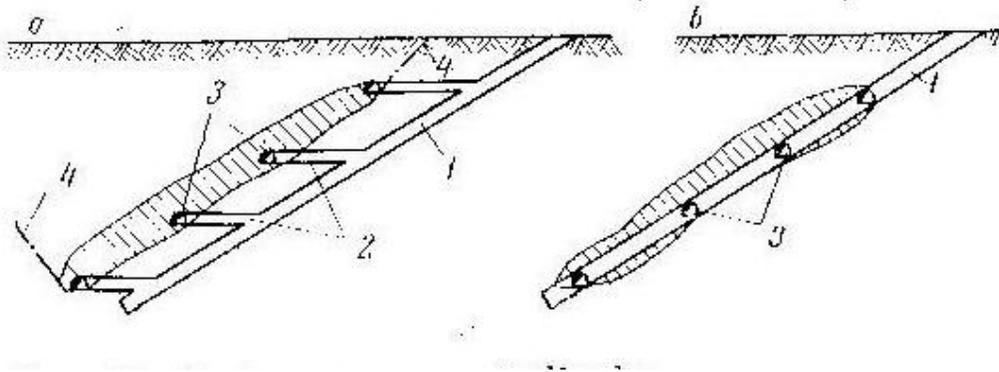


Figura No.81. Apertura por pozo inclinado: pozo de mina; 2, cortaveta; 3, galería; 4, límite de la zona de destrucción.

El primer grupo se aplica en yacimientos regulares con ángulo de buzamiento entre 10 grados y 30 grados que yacen hasta profundidades de 500-600 m. La inclinación de estos pozos puede llegar hasta 45-50 grados; cuando su ángulo de inclinación es mayor a 18 la extracción se realiza mediante jaula o skips y cuando es menor a 18° la extracción puede realizarse también mediante bandas transportadoras o camiones; aunque existen bandas transportadoras especiales que pueden utilizarse en pendientes hasta 25°.

**El segundo grupo** se puede aplicar tanto en yacimiento regulares como irregulares, con cualquier ángulo de buzamiento y en profundidades mayores de 600 m (es bueno aclarar que los ingenieros checos Zamora y Pokorny han calculado que para yacimientos con menos de 1 millón de toneladas de reserva de explotación, la profundidad máxima en que se pueden aplicar racionalmente las rampas es de alrededor de 470 m).

Estos pozos no sobrepasan la pendiente del 10 % por cuanto su finalidad, precisamente, es permitir que la extracción de la mena se realice por transporte automotor o por bandas transportadoras.

Veamos, ahora, los esquemas del grupo de aperturas por **pozos inclinados rectilíneos**:

- a) El esquema del pozo inclinado por el yacente es el de mayor difusión por las mismas razones señaladas en el esquema de pozo vertical por el yacente.
- b) El pozo inclinado por el colgante se recomienda cuando el yacimiento es horizontal y tiene gran extensión, o cuando el relieve u otros factores geomíneros nos impiden excavar el pozo por el yacente. además de que se aumentan las pérdidas de mena en el pilar de seguridad del pozo tiene la desventaja de lo complejos que resultan los empalmes del pozo con las galerías transversales.
- c) La apertura por pozos inclinados por el yacimiento se aplica raras veces por lo general cuando el yacimiento es grande y las menas son pobres o poco valiosas o cuando se quiere iniciar la producción de la mina lo mas rápido posible. También se aplica cuando tiene lugar el paso de la explotación a cielo abierto a la subterránea, donde el pozo inclinado pasa a ser una continuación de la trinchera de apertura. Señalamos que la gran estabilidad de la mena es un factor que influye a favor de la elección de este esquema.
- d) La apertura por pozos inclinados en unos de los flancos del yacimiento y fuera de la zona de deslizamiento se aplica tanto en yacimientos abruptos como en horizontales, siempre de poca profundidad y extensión por el rumbo. Tiene como ventajas, la ausencia de pérdidas de mena en el pilar del pozo y la posibilidad de reducir la longitud del pozo inclinado al poder proyectar con ángulos de inclinación mayores. Como el transporte subterráneo de la mena se realiza todo en el mismo sentido, este hecho puede convertirse en una desventaja del esquema si este sentido no coincide con la ubicación de la planta de beneficio.

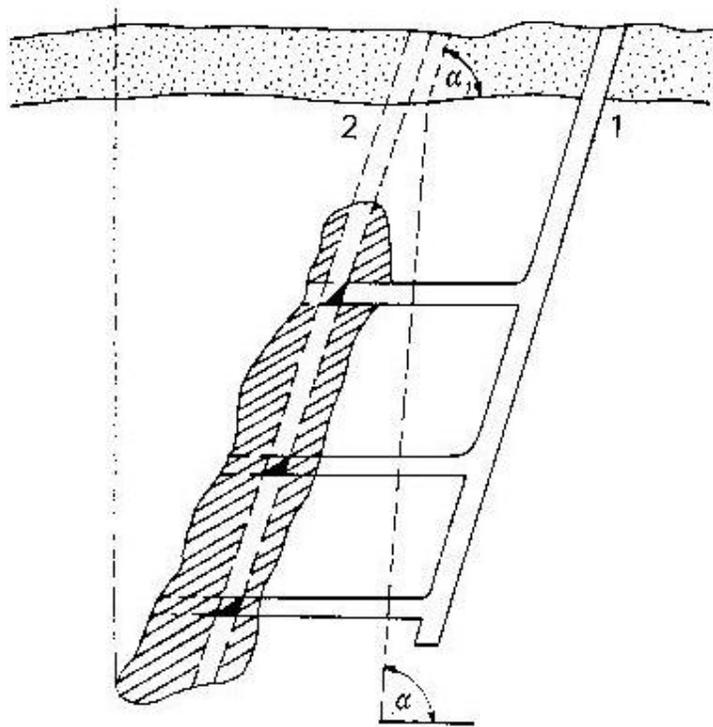


Figura No.82. Variante de apertura con pozo inclinado:1, pozo en el costado yacente; 2, pozo por el yacimiento;  $\alpha$ , ángulo de equilibrio natural de las rocas.

Clasificar los esquemas de apertura por rampas resulta hasta el momento, algo controvertido por cuanto los pozos en espiral pueden ocupar en una sola apertura, distintas posiciones con respecto al cuerpo mineral además de que los pozos inclinados rectilíneos pueden ser considerados como rampas cuando poseen una pendiente igual o menor al 10%. Sin embargo los esquemas mas frecuentes son: pozos en zig-zag por el costado yacente o por uno de los flancos del yacimiento y pozo en espiral por el contorno “envolviendo” el cuerpo mineral, esta apertura del pozo en espiral del yacimiento de zinc se emplea en la mina Kempbell (USA) que tiene tres espiras y media y con una inclinación de  $8^{\circ}$ - $10^{\circ}$  y una longitud de 420m).

#### ↗ **Apertura por socavones.**

Este método de apertura se aplica cuando el relieve es montañoso y el yacimiento se encuentra por arriba de la cota predominante en la zona (o por arriba de la cota de la planta de beneficio).

Tiene la ventaja sobre otros métodos de que el transporte subterráneo se simplifica y que el desagüe de la mina se realiza por gravedad. Su desventaja es lo limitado de su aplicación: solo para la apertura de yacimientos de montaña.

De acuerdo con la topografía del lugar y a las condiciones de yacencia del yacimiento los esquemas de apertura pueden ser:

- Socavón transversal al rumbo (por el colgante, por el yacente).
- Socavón por el rumbo (por la mena y por la roca).

Los socavones transversales al rumbo se aplican generalmente cuando el yacimiento está formado por paquetes de filones, lo que posibilita una mejor exploración geológica.

El socavón por el rumbo se emplea generalmente cuando el yacimiento aflora a la ladera de la montaña, adquiere la ventaja de lograrse una rápida puesta en explotación del yacimiento.

La ubicación definitiva del socavón depende de las propiedades físico – mecánicas de las rocas y de la mena (por el yacente, por la rocas del colgante, por la mena), aunque en la elección del esquema influyen mucho las condiciones locales; ubicación de la planta de beneficio, facilidad en el acceso, ubicación de la fuente de energía- y de agua, volumen de roca a mover por el complejo de superficie.

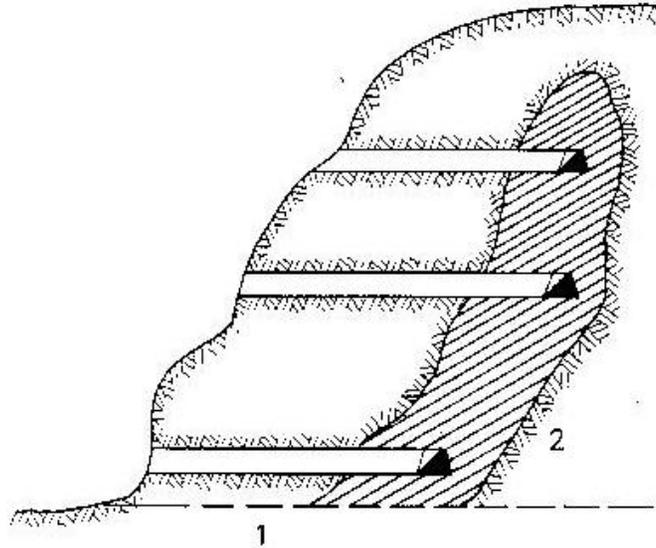


Figura No.83 . Apertura con socavones: 2, socavón; 2, galería de mina.

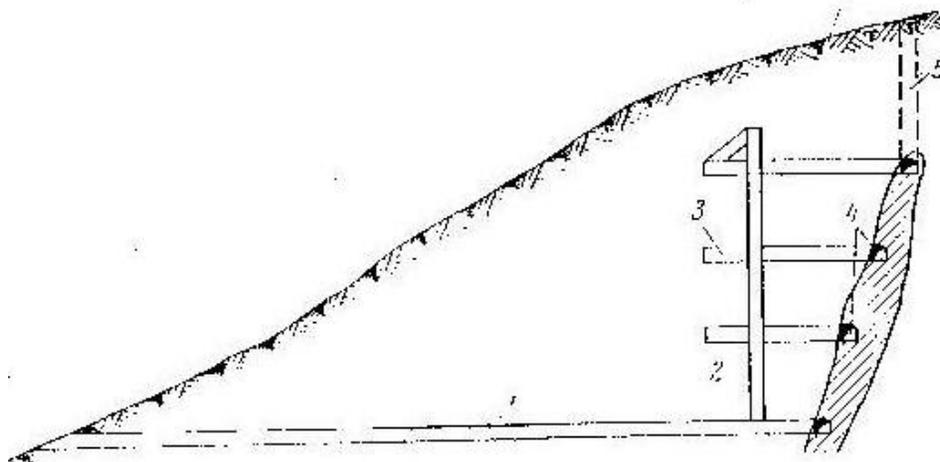


Figura No.84. destape por socavón con contracielo maestro; 1, socavón; 2, contracielo maestro; 3, cortaveta; 4, galería; 5, calicata de ventilación.

En la apertura 1 del yacimiento Merceditas el socavón M-1 se encuentra en la roca del subyacente y se llega al lente a través del contrapozo de tránsito y de colada.

#### ⇒ **Método de apertura combinado.**

Existen determinadas situaciones que pueden obligar a la elección del método combinado de apertura:

1. Cuando el yacimiento se extiende a gran profundidad. En este caso existen dos factores que obligan a la apertura escalonada del yacimiento.

- a) Factor técnico: las posibilidades técnicas del equipo de ascenso lo que se fabrican para profundidades desde 1000 hasta 1500 m.
- b) Factor económico: aumento de la productividad de apertura al realizarse de forma paralela el ascenso en los distintos escalones (disminución del tiempo de descenso en el vacío).

2. Cuando existen cambios bruscos en el buzamiento del yacimiento o se invierte.

- a) Factor económico: se reduce sensiblemente la galería transversal.

3. Cuando los yacimientos de montaña se extienden por debajo de la cota predominante.

- a. Factor técnico: imposibilidad de extraer las reservas de los niveles inferiores mediante el socavón.

4. cuando varían las condiciones de estabilidad o hidrogeológicas de las rocas por las que atraviesa el pozo.

En estos casos se crean 2 o 3 escalones de apertura por las siguientes razones:

- 1. Para disminuir los tiempos de ascenso y descenso de los recipientes que extraen la masa menífera de los niveles inferiores lo que conlleva al aumento de la productividad de la excavación principal de apertura.
- 2. Por limitaciones técnicas de la instalación de ascenso resulta obvio lo racional que sería fabricar un cable con el diámetro requerido para soportar, además de las cargas normales, la carga de su propio peso cuando penda de 2.5 a 3 Km. Sería considerable también, las dimensiones de la tambora del guinche principal, así como la potencia del motor del guinche.
- 3. Cuando un yacimiento de montaña se extiende por debajo de la cota predominante de la región. En este caso, la apertura de las reservas que se encuentran por arriba de la cota predominante se realiza por el método por

socavón, con sus consiguientes ventajas y las reservas por debajo del socavón se extraen a través de un pozo interior vertical o inclinado.

4. Cuando las condiciones de estabilidad o hidrogeológicas son difíciles. Estas circunstancias pueden ser conocidas de antemano o aparecer de improviso. En todos los casos se analizaría siempre la conveniencia o no de seguir profundizando por un método especial de laboreo.
5. Otros factores..

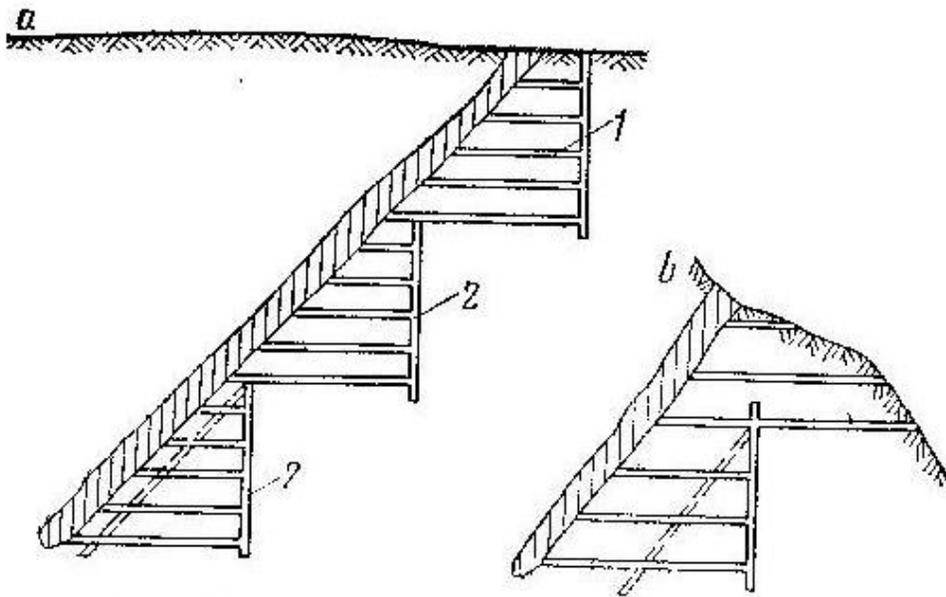


Figura No.85. Métodos de apertura combinados

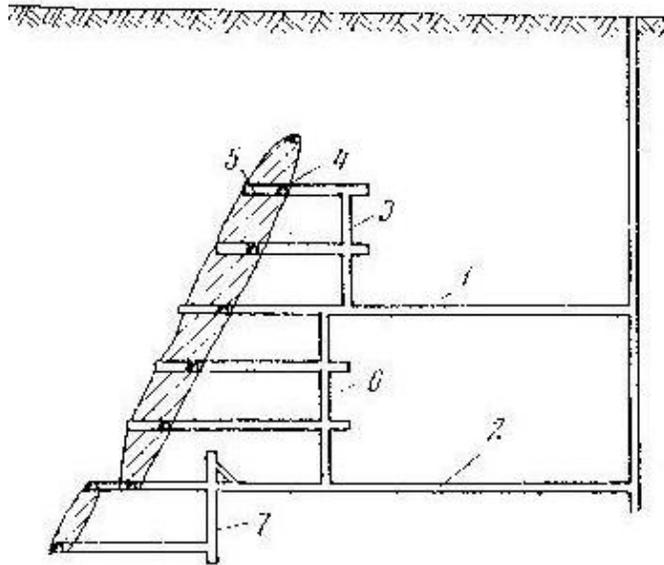


Figura No.86. Apertura de un yacimiento de fuerte buzamiento por grupos de cortavetas 1 y 2, cortavetas; 3, 6, contrapozo; 7, pozo ciego.

### III.3.1.- Evaluación comparativa de los métodos de apertura.

#### Pozo vertical vs. Pozo inclinado

- A igual profundidad de yacencia, la longitud de los pozos verticales es menor.
- Para igual producción anual de la mina, el área de la sección transversal de los pozos verticales es menor.
- El costo de laboreo de los pozos verticales es de un 20 a un 30 % menor.
- El costo de explotación de los pozos verticales es de un 15 a un 30 % menor
- La velocidad de ascenso por los pozos verticales es mayor.
- Las instalaciones de ascenso de los pozos verticales son más seguras.
- Los empalmes de las galerías con los pozos verticales son mas sencillas y fáciles de construir.
- La sumatoria de las longitudes de las galerías transversales es menor en los pozos inclinados y por lo tanto son menores los costos del transporte horizontal subterráneo.

- Al instalarse bandas transportadoras en los pozos inclinados y rampas se elimina la marcha en vacío de los recipientes de ascenso elevándose la productividad por arriba de la de los pozos verticales.
- La instalación de las bandas transportadoras en las rampas permita la automatización y el control a distancia del ascenso de la masa menífera con la consiguiente reducción del personal bajo mina.
- Las rampas permiten el empleo de camiones para el ascenso de la masa menífera lo que brinda grandes ventajas económicas por la flexibilidad que posee ese medio de transporte y por lo barato y fácil que resulta construir y mantener su infraestructura.

#### **Pozo vertical vs socavón.**

- El costo de laboreo de un metro lineal de socavón es de 5 – 6 veces más barato, a igual producción anual de la mina.
- La velocidad de laboreo del socavón es considerablemente mayor.
- El transporte por el socavón es mas efectivo, seguro y con menos interrupciones.
- Cuando se usan locomotoras eléctricas en el socavón el gasto específico del transporte de la masa menífera es de 6 – 8 veces menor.
- En la apertura por socavón el drenaje y desagüe del campo de mina se realiza por gravedad.
- En la apertura por socavón las inversiones iniciales son mínimas.
- Las condiciones de aplicación de la apertura por socavón están limitadas a la existencia de yacimientos de montañas que se encuentra por arriba de la cota predominante de la región.

#### **III.4. NOCIONES FUNDAMENTALES DE LA PREPARACIÓN SUBTERRÁNEA.**

La preparación del yacimiento para las labores de arranque se caracteriza por:

- ◆ El método de preparación, es decir, por el tipo, número y disposición de las excavaciones preparatorias.

- ◆ El volumen de las labores de preparación.

El método de preparación a emplear depende de las condiciones geólogo – mineras del yacimiento y de las condiciones técnico – económicas de la mina.

En las primeras están: potencia, ángulo de buzamiento, estabilidad de las rocas de caja y de la mena, profundidad de yacencia, condiciones tectónicas, necesidad de desagüe y de exploración adicional.

En la segunda están: productividad planificada de la mina, tipos de equipos utilizados, plazo de servicio de las excavaciones, condiciones de ventilación, valor de la mena.

Requisitos que se les plantean a los esquemas de preparación.

- ◆ Brindar la mayor seguridad a los trabajos de carga y de transporte de la masa menífera.

- ◆ Asegurar el volumen necesario de aire para los frentes de extracción y al mismo tiempo posibilita la ejecución de medidas profilácticas para aislar el sector en caso de incendio, esto ultimo cuándo se laborean menas autoinflamables.

- ◆ Garantizar en tiempo las normas de adelanto de las reservas preparadas y listas con relación al arranque.

- ◆ Garantizar la productividad planificado del nivel o bloque.

- ◆ Brindar la posibilidad de aplicación, y uso efectivo de la mecanización y automatización de la carga y transporte.

- ◆ Inmovilizar la menor cantidad posible de mena en los pilares de protección de las excavaciones.

- ◆ Satisfacer los anteriores requisitos con el volumen mínimo de excavaciones y el mínimo costo de laboreo.

- ◆ Asegurar el tránsito de personal, equipos y materiales a los frentes de extracción.

De estos requisitos los cuatro primeros y el último tienen carácter obligatorio, el resto señalan lo óptimo, aunque a veces hay que entrar en contradicción con ellos para lograr mejores resultados.

#### **III.4.1.- Esquemas de preparación**

Para facilitar su clasificación, el concepto método de preparación, lo limitamos a la ubicación de las excavaciones en el horizonte de transporte.

Clasificar los esquemas de preparación resulta una tarea algo difícil de resolver para su gran diversidad. Se puede decir, que en realidad cada yacimiento tiene su propio esquema de preparación.

En un intento de generalización podemos establecer la siguiente clasificación a partir del tipo de excavación y del ángulo de buzamiento del yacimiento.

**Esquemas simples:** son aquellos que están formados por un solo tipo de excavaciones de preparación.

**Esquemas combinados:** son aquellos formados por más de un tipo de excavaciones de preparación.

Tabla No. 1. Esquemas de preparación subterránea

<b>ESQUEMA DE PREPARACION</b>		
Simple	Para yacimientos abruptos e inclinados	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Con una galería de mina por la roca.</li> <li>2. Con una galería de mina por el mineral.</li> <li>3. Con dos galerías de mina por el mineral.</li> <li>4. Con una galería de mina por la roca y otra por el mineral.</li> </ol>
	Para yacimientos horizontales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Por una galería de mina por la roca subyacente.</li> <li>2. Por una galería de mina por el mineral.</li> <li>3. Por una galería de mina por el mineral y otra por la roca subyacente.</li> </ol>
Combinados	Para yacimientos abruptos e inclinados	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Por una galería de mina por la roca y una serie de cruceros.</li> <li>2. Por una galería de mina por el mineral y una galería de minas por la roca con una serie de cruceros.</li> <li>3. Otras combinaciones.</li> </ol>
	Para yacimientos horizontales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Por una o más galerías de paneles y una serie y una series de galerías de explotación.</li> <li>2. Otras combinaciones.</li> </ol>

Volumen mínimo y costo mínimo del laboreo de las excavaciones preparatorias.

- ◆ Reservas mínimas de mineral en los pilares cerca de las excavaciones preparatorias.

♦ *Clasificación*

- ♦ Se preparan los yacimiento de poca potencia (de 0,6 – 0,8 hasta 2m) las excavaciones preparatorias generalmente se ubican por el mineral.
- ♦ Se preparan los yacimientos potentes (hasta (15 – 20m) se puede situar las excavaciones en el mineral y en las rocas encajantes sobre todo cuando el contorno del cuerpo mineral es irregular.

Al preparar los yacimientos de gran potencia ( más de 15 – 20 m) se pueden situar las excavaciones preparatorias principales, generalmente se sitúan en el costado yacente; las distancia entre las galerías ubicadas en las rocas y el cuerpo mineral se aumenta proporcionalmente en la profundidad de laboreo. La preparación en las rocas estériles en los yacimientos potentes y muy potentes es obligatorio cuándo ellos tienen a la autoinflamación.

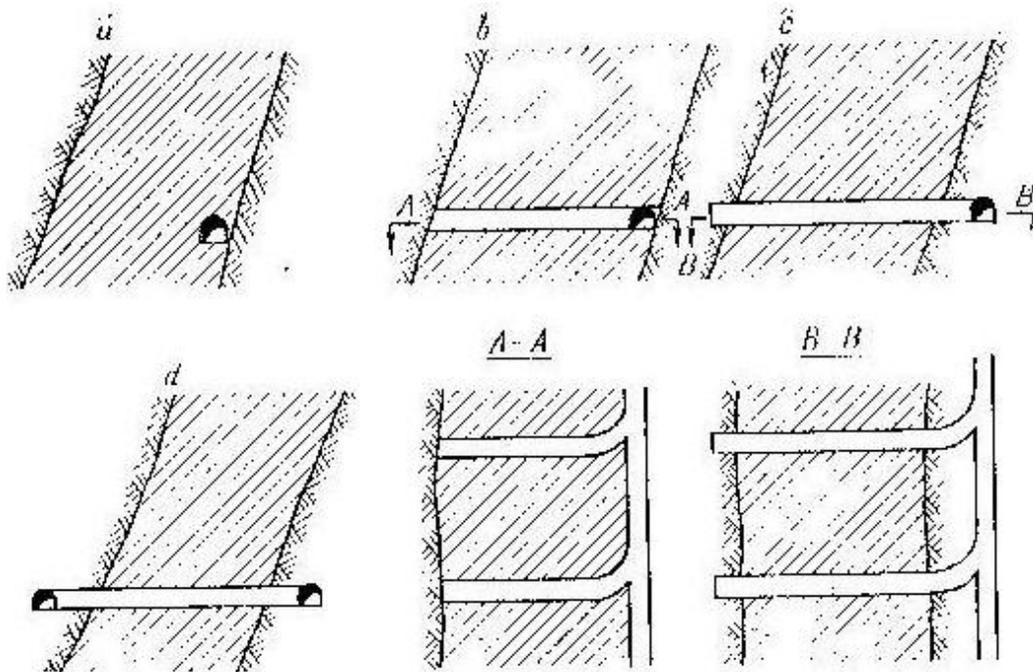


Figura No.87. Esquemas de la preparación con galería de transporte en función de la potencia.

Atendiendo a estas condiciones los esquemas fundamentales de preparación son los siguientes.

Para yacimientos abruptos e inclinados.

Los principales índices técnicos – económicos de los trabajos de preparación son:

- ◆ Coeficiencia de preparación:  $k_p$

$$K_p = \text{sumatoria } l_{ep} Q_b \cdot 1000$$

Donde sumatoria  $l_{ep}$ : suma total de las longitudes de las excavaciones de preparación del bloque o nivel, m.

$Q_b$ . Reservas preparadas del bloque o nivel.

Significa la cantidad de metros de excavaciones de preparación que son necesarios para preparar  $10^3$ t de mena.

Volumen específico de preparación

$$V_p = \text{sumatoria } V_{ep} / Q_b, \text{ m}^3/\text{t}$$

Donde sumatoria  $V_{ep}$ : volumen total de la excavación de preparación,  $\text{m}^3$  significa la cantidad de  $\text{m}^3$  de excavaciones de preparación que hay que laborear 1t de mena.

Lógicamente mientras menor sea el valor de estos coeficiente, serán menores los gastos específicos de los trabajos de preparación.

El valor específico de los gastos totales de preparación.

$$C_t = (\text{sumatoria } C_{lyc} - C_p) : Q_b / 1 - q$$

$C_p$ : Valor de la extació de pozo

Condiciones de aplicación de los esquemas de preparación.

- ◆ Para yacimientos finos y muy finos de 0,2 hasta 2,5 – 3m de cualquier buzamiento por lo general se aplica el esquema de galería de mina por el mineral, sirven también de explotación geológica.

- ◆ Para yacimiento de potencia media y potencia hasta 15 – 20m usa el anterior esquema, disponiendo por lo general la galería de mina por el contacto estéril mineral del costado yacente, y raras veces por el colgante. Esas excavaciones sirven para la exploración geológica.
- ◆ En los yacimientos muy potentes menores 25m se hace muy difícil el transporte de la masa menífera desde todos los sectores del bloque por lo que se usa el esquema combinado de una galería de mina con una serie de cruceros.

La selección del esquema es frecuentemente una tarea técnico – económica muy complicada, mientras que la selección del lugar de ubicación de los contra pozos no exigen grandes dificultades y como regla está unida con las excavaciones del horizonte principal.

Los esquemas posibles de la ubicación del horizonte principal se planifican en cada caso concreto debido a las condiciones geomineras y a las condiciones técnicas del laboreo de los yacimientos.

#### Exigencia planteada a los esquemas de preparación.

1. Seguridad de las labores durante la carga y el transporte del mineral, la ventilación necesaria de las excavaciones de arranque, posibilidad de ejecución de las medidas profilácticas y cuándo es necesario aislar el sector de incendios, al laborear menos sulfurosos que se auto inflaman.
2. Preparación a tiempo de la reservas de mineral para el arranque, garantía de la cantidad necesaria de minerales preparados u listos para el arranque.
3. Obtención de la productividad del trabajo planificada.
4. Posibilidad de la aplicación y uso efectivo de la mecanización y automatización de la carga y el transporte.

Si durante la elección del esquema de preparación para los factores técnicos nos quedamos con varias variantes de esquemas de ubicación de las excavaciones se realiza la comparación económica por los índices mayores. En este caso se toma en consideración.

- ◆ El costo de laboreo de las excavaciones preparatorias.
- ◆ El costo de transporte del mineral hasta la galería transversal principal.
- ◆ En algunos casos el costo de ventilación de las excavaciones preparatorias.
- ◆ Valor obtenido por venta del mineral extraído durante el laboreo de las excavaciones principales.

El valor específico de los gastos totales de extracción.

$$A = (\text{sumatoria } C_i - C_b) : Q_i R / 1 - P$$

Donde:

Sumatoria de  $C_i$  suma de gastos de laboreo de excavaciones preparatorias, transporte a la galería transversal de la ventilación.

$C_b$ : valor obtenido por la venta de la extracción de pozo.

El estudio de las excavaciones de costo que forman parte de este proceso tecnológico las estudiaremos, en los diferentes métodos de explotación dado su gran variedad y particularidades por lo que hoy solo los nombraremos.

- ◆ Pequeros
- ◆ Tolvas
- ◆ Ranura de costa: vertical, horizontal
- ◆ Trincheras de costa

#### Requisitos que se les exige a las excavaciones de preparación.

1. Brindar seguridad al trabajo durante el acarreo, la carga y el transporte de la masa menífera.
2. Permitir el paso de la cantidad de aire necesaria a los frentes de trabajo.
3. Posibilitar la ejecución de medidas profilácticas y de aislamiento del sector en explotación en caso de incendio cuándo se laborean menas sulfurosas que se auto combustionan ( cuerpo 70 minas de Matahambres)
4. Garantizar a tiempo la cantidad de reservas preparadas y reservas listas.

5. Asegurar la productividad y la intensidad del arranque planificada para el sector a explotar.
6. Posibilitan la aplicación y uso adecuado de la mecanización y automatización de la carga y transporte de la masa menífera.
7. Atar el mínimo de mena a los pilares de protección de esas excavaciones
8. Favorecer la exploración geológica y el drenaje del sector.
9. Volumen mínimo y costo mínimo.

#### **III.4.2.- Elección del esquema de preparación.**

Es de significar que el planteamiento de esta tarea se refiere siempre al esquema de preparación del horizonte de transporte, pues el resto de la preparación está relacionada con el Método de explotación elegido y los factores geológico – minero existentes, que hace que muchos autores expresen que; “cada mina tiene su propio esquema de preparación”.

Los factores que influyen en la elección del o los esquemas técnicamente posible de aplicar son:

- ◆ Elementos de yacencia del cuerpo de mena, principalmente su buzamiento y su potencia.
- ◆ Las propiedades físico – mecánicas de la mena y de las rocas de cajas, principalmente su fortaleza y estabilidad.
- ◆ Por el esquema de salida y de carga de la masa menífera. (Este factor pudiera enunciarse de otra forma, por el Método de explotación elegido).
- ◆ Por la producción planificada por el horizonte de transporte.
- ◆ Por el esquema de ventilación y el orden de laboreo del nivel adoptado.
- ◆ Otros.

## Generalidades.

Se le llama preparación en la explotación subterránea, al conjunto de trabajos y excavaciones que dividen al campo de mina en sectores más pequeños para su explotación.

- ◆ Cuando los yacimientos son abruptos e inclinados el campo de mina se divide en niveles y estos en bloques.
- ◆ Cuando son horizontales o poco inclinados el campo de mina se dividen en paneles y estos en pilares de explotación.

En el primer caso las excavaciones de preparación son: galerías longitudinales de transporte y de ventilación, cruceros, cortavetas y contrapozos. Hay un grupo de excavaciones especiales de preparación y que generalmente pertenecen a la preparación de un determinado Método de explotación y que se denominan excavaciones de corte y que tienen la finalidad de crear las condiciones para el arranque masivo de la mena. Estos son entre otros: galería de corte, ranuras de corte horizontal, ranura de corte vertical, horizontes de salida de la mena o de fragmentación secundaria, galerías de subnivel, piqueta, tolvas, embudos.

En el segundo de los casos la excavación de preparación son: galerías de paneles, galería de explotación, recortes.

Los propósitos de estas excavaciones son:

- ◆ Permitir el acarreo y carga de la masa menífera desde los frentes de arranque hasta el horizonte de transporte.
- ◆ Brindar acceso a los frentes de trabajo en los sectores de explotación de personal, equipos y materiales.
- ◆ Conducir el aire fresco a los frentes y permitir la salida del aire viciado.
- ◆ Exploración geológica: acopiar mayor información geológica del sector a explotar.
- ◆ Otros propósitos.

Hasta aquí se han tratado los esquemas de apertura y preparación de los yacimientos metalíferos, analizando los principales esquemas de preparación, así como los principales factores que se toman a la hora de elegir el esquema de preparación más racional desde el punto de vista técnico y económico.

### **III.5.- Elección del Método de Explotación por el modo subterráneo.**

En la literatura minera universal existe un gran número de Métodos de Explotación (ME) o Sistemas de Explotación agrupados según diferentes criterios.

Se denomina **Métodos de Explotación Subterránea** al conjunto de excavaciones de preparación y corte, así como los procesos tecnológicos (trabajos de arranque) que se realizan en un orden lógico en tiempo y espacio para arrancar la mena de un sector del campo de mina en cantidades masivas y de la forma más segura, económica y completa.

Se analizara en el presente acápite la clasificación de los métodos de explotación dada por M. Agoshkov (Rusia) y la clasificación Norteamérica, ambas utilizadas mundialmente.

La clasificación dada por M. Agoshkov es una de las Clasificaciones más completas y requiere de un profundo análisis y estudio para su comprensión.

Independientemente de la Clasificación que adopte para el estudio de los Métodos de Explotación, el ingeniero de minas siempre debe tomar decisiones las cuales inciden directa o indirectamente en los resultados finales de la explotación minera.

Una de estas decisiones es la Selección del (o los) Método o Variantes de Explotación para cada lugar o para todo el yacimiento que se vaya a explotar.

Esta etapa es de vital importancia para el desarrollo y explotación de la mina. De su correcta aplicación dependen los trabajos posteriores de cada parte del yacimiento que se explota y por ende la explotación racional de la mina en toda su vida útil. Para seleccionar un Método de Explotación es preciso primeramente, dominar los factores geomíneros que influyen directamente en dicha selección.

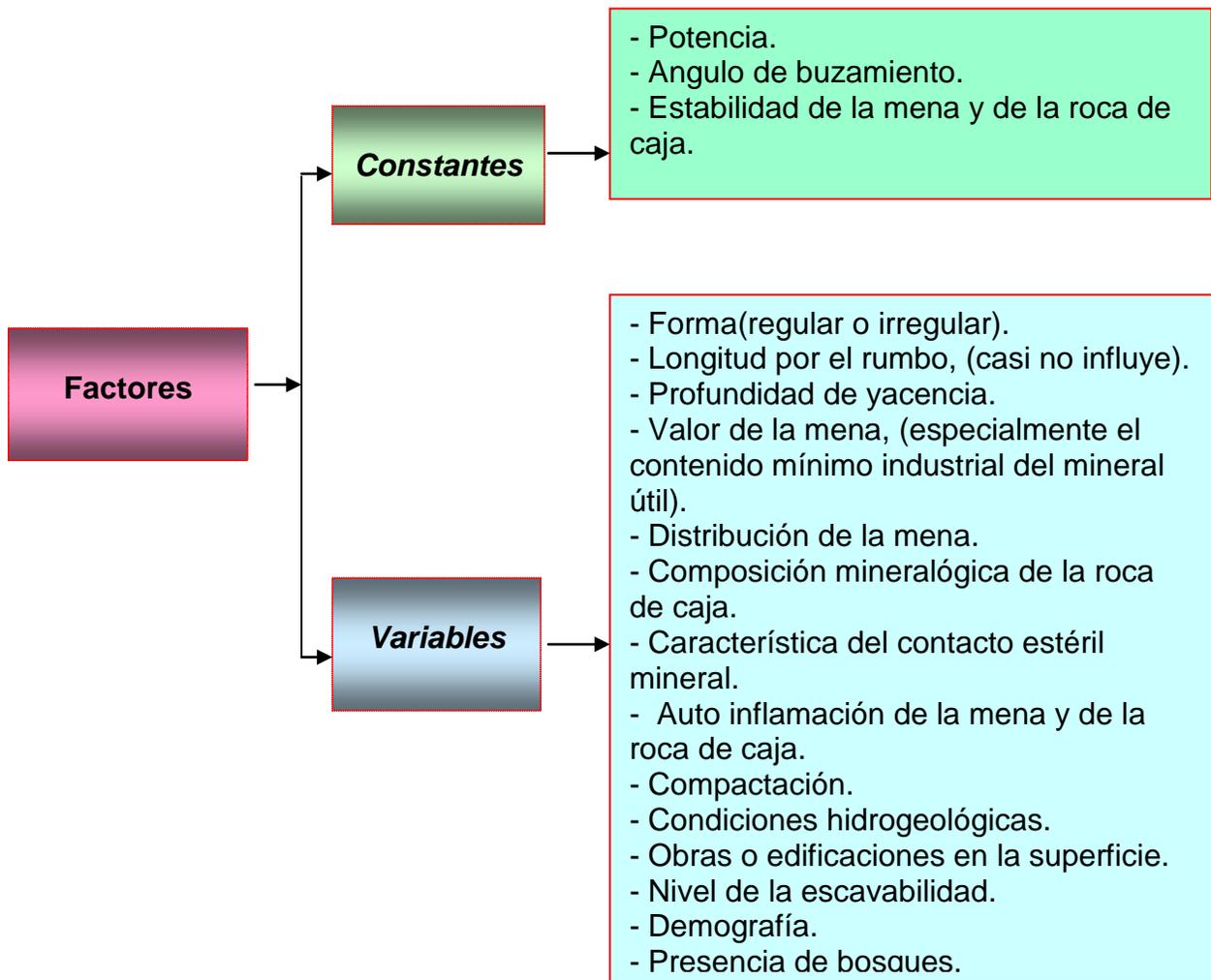


Figura No 88. Factores ingeniero-geológicos y técnico-mineros, que influyen en la elección del método de explotación:

**Índices que influyen en la elección de un método de explotación.**

**Índices técnico-económicos que influyen en la elección del método de explotación.**

1. Seguridad del trabajo.
2. Alta productividad.
3. Pérdidas mínimas, tanto de cantidad como de calidad.
4. Condiciones de beneficio.
5. Intensidad de laboreo.

### **III.5.1.- Metodologías para la elección del Método de Explotación.**

Para la selección de los métodos de explotación se conocen dos Métodos; estos son:

1. El Método directo.
2. El método de exclusión.

***El método de elección directo*** atendiendo a cada una de las condiciones concretas de los yacimientos, se elige directamente el o los Métodos de explotación más eficientes, los cuales deben satisfacer todas o la mayoría de las exigencias establecidas. Al finalizar esta selección se realiza un análisis comparativo de las disímiles variantes posibles a utilizar a partir de diferentes índices técnico-económicos.

***El método de exclusión*** es el más difundido en la práctica mundial. Su esencia consiste en el estudio de la posibilidad de aplicación de todos los Métodos de Explotación existentes y en la exclusión de aquellos que sean inaceptables para ese yacimiento mediante la combinación de varios factores geomíneros, (a veces uno de ellos es quien determina la aplicación o no de alguna Variante); es decir, ir eliminando las clases que por sus características no son utilizadas en el proyecto, de modo que se hace un estudio crítico de cada clase con sus respectivos grupos, variantes y subvariantes; y se excluye en cada caso, si no es posible su uso,

queda así la clase a utilizar, luego el grupo y finalmente las variantes o subvariantes.

A primera vista, este método resulta o parece ser voluminoso y difícil, ya que exige el estudio de gran número de Métodos para quedarse finalmente con una sola variante o varias. Sin embargo, al aplicar la Metodología de dicho Método, gran parte de las Clases se van eliminando por sí solas quedándose al final con uno o dos y a veces tres variantes posibles.

En síntesis la Metodología consta de los siguientes pasos:

1. Análisis de las condiciones minero - geológicas del yacimiento.
2. Exclusión de las Clases de método de explotación. que no son técnicamente posibles de aplicar.
3. De los Clases de método de explotación que se mantienen, se excluyen los Grupos de método de explotación que no son técnicamente posibles de aplicar.
4. De los Grupos de método de explotación. que se mantienen, se excluyen las Variantes de método de explotación que no son técnicamente posibles de aplicar.
5. De las Variantes de método de explotación técnicamente posibles de aplicar que se mantienen, se realiza un análisis comparativo a partir de sus índices técnico-económicos.
6. Elección de la Variante con mejores índices técnico-económicos.

Se ha descrito un Método para la Selección de los Métodos de Explotación pero de los yacimientos metalíferos.

Sin embargo, se conoce de Geología que existen diversos tipos de yacimientos a partir de su *génesis, composición mineralógica; también existen otras clasificaciones de Métodos de Explotación para cada caso concreto*, realizados a partir de las características propias de cada uno de ellos. Esta clasificación es la que se muestra a continuación, se parte en primer lugar del análisis de los factores que influyen en su clasificación:

Factores geológicos y minero-técnicos de la explotación subterránea de los yacimientos estratificados que obligan a su estudio por separado.

*Características generales de los yacimientos estratificados.*

1. Formados generalmente por capas casi horizontales con gran extensión en el plano y muy potentes.
2. Elementos de yacencias regulares; especialmente la potencia y el buzamiento.
3. Contenido de mineral constante.
4. Posibilidades de formarse mezclas explosivas durante su laboreo.
5. Presencia de gases naturales nocivos especialmente el gas metano, tan dañino para la salud humana.
6. Roca de caja de mediana estabilidad.
7. Gran cantidad de polvo, especialmente en los frentes de arranque.
8. Menas Blandas.

**Ejemplo:**

La gran extensión de estos cuerpos por el rumbo ha obligado a la utilización de Métodos de Explotación por Tajos Largos de frentes muy extensos. Esto ha brindado la posibilidad de emplear Sistemas automatizados de Fortificación mecanizada en dichos trabajos. Ejemplo de ello es el que se muestra en el Catálogo de Long Wall Systems.

La Presencia de gases naturales nocivos especialmente el gas metano, tan dañino para la salud humana, obliga al empleo de Esquemas de preparación, Ventilación y transporte diferentes a los tradicionalmente utilizados en los Yacimientos Metalíferos. En estos casos se emplean las llamadas excavaciones gemelas para poder evacuar todo el polvo y gases nocivos emanados del yacimiento.

La presencia de Menas Blandas obliga al empleo generalmente para la separación de la mena del macizo de Combinadas de laboreo, hidromonitores u otros

métodos especiales de laboreo. Estos trabajos se realizan con un mayor grado de automatización, mecanización, que en los yacimientos metalíferos.

La presencia de yacimientos muy potentes de este tipo, obliga a arrancarlos por capas de manera tal que se crean las condiciones en cada capa como si cada capa fuera un yacimiento independiente.

La presencia de rocas de caja inestable o medianamente estable, obliga en estos casos al empleo de Métodos de Explotación de Derrumbe de la roca del techo o de Relleno.

Entre las Clasificaciones de Métodos de Explotación más difundidas a nivel mundial para estos tipos de yacimientos se conoce la del académico L. Sheviakov, que agrupa los Métodos de Explotación de la siguiente manera.

Clasificación de los métodos de explotación más característicos:

1. Métodos de explotación por tajos largos,
2. Métodos de explotación por pilares largos,
3. Métodos de explotación por pilares cortos,
4. Métodos de explotación por cámaras,
5. Métodos de explotación por capas derrumbadas,
6. Métodos de explotación por capas rellenas.

Es preciso señalar que los primeros Métodos de Explotación se refieren a los yacimientos de potencias medias y potentes y los dos últimos grupos se refieren a los yacimientos muy potentes.

### **III.5.2.- Clasificación de los Métodos o Sistemas de Explotación para yacimientos metalíferos dados por M. Agoshkov.**

La existencia en la naturaleza de yacimientos con características similares ha provocado que para mejor estudio estos, se hayan agrupado entre sí atendiendo a sus caracteres de similitud, estos Métodos de explotación se han agrupado en clases determinadas.

La clasificación que se muestra es la propuesta por el académico ruso. M Agoshkov. El principio de acción fundamental de esta clasificación está dada por la forma en que se controla la presión minera en el frente.

Tabla No.2. Clasificación de los métodos o Sistemas de Explotación para yacimiento metalíferos dada por M. Agoshkov .

Clases	Denominación de las clases de los Métodos de explotación	Grupo	Denominación de los grupos o variantes del M .E
I	<b>M.E con la zona de arranque abierta</b>  (a partir de la forma del frente de arranque y su orden de laboreo)	1 2 3 4 5 6	M. E por bancada. M. E por testero. M.E por tajos largos (frente continuo) M.E por cámaras y pilares. M.E de arranque por subnivel. M.E de arranque por nivel
II	<b>M.E con almacenamiento de la Mena.</b>  (a partir del M. A que se emplea a partir de la forma en que se forman.	1 2 3	M. E. con barrenos desde el almacén. M. E. con barrenos desde excavaciones espacia M. E. por taladros.
III	<b>M.E con relleno del minado antiguo (atibado) desde fuentes internas o externas a partir del tipo explotación.</b>	1 2 3 4	Por capas horizontales. Por capas inclinadas. Por testeros. Por tajos largos.

IV	M.E con fortificación del minado antiguo (entibado).	1	Con fortificación de madera apuntalada.
		2	Con fortificación de madera cuadrangular.
		3	Con fortificación de piedra.
V	M.E con fortificación y relleno del minado antiguo. (a partir del orden de laboreo del frente de A en el bloque.	1	Por capas horizontales.
		2	Por testeros.
		3	Por bloques cortos.
VI	M.E con derrumbe de la roca de caja (a partir del ángulo de buzamiento y estructura del frente.	1	Por derrumbe por capas horizontales.
		2	Por pilares con derrumbe de la roca del techo.
VII	M.E con derrumbe de la Mena y la roca de caja. (a partir de la forma en que se produce el derrumbe).	1	Por derrumbe por subnivel.
		2	Con auto derrumbe del nivel.
		3	Con derrumbe forzoso del nivel.
VIII	M.E combinados a partir de la forma en que se arranca la cámara.	1	Por cámaras abiertas.
		2	Por cámaras almacenadas.
		3	Por cámaras rellenas.

**III.5.3.- Clasificación de los métodos o sistemas de explotación para yacimientos metalíferos dada por la clasificación Norteamérica. (M.L. Jeremic).**

Tabla No. 3. Clasificación de los métodos o sistemas de explotación para yacimientos metalíferos dada por la clasificación Norteamérica. (M.L. Jeremic).

<b>clases</b>	<b>Denominación de la clase de los Método de explotación</b>	<b>Grupo</b>	<b>Variantes</b>
I	Sistema de explotación con la zona de arranque abierta (Open – Stop Mining Methods)	1 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arranque por subnivel. (sub – level - stoping).</li> <li>▪ Arranque por taladros largos. (large – diameter blasthole Stoping).</li> </ul>
II	Autosostenimiento del frente de arranque.  Self – supporting ability of open – stope span.		
III	Estructuras de sostenimiento artificial en frentes de arranque. (artificially supported stope structure)	1 2 3 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fortificación de Madera cuadrangular. (Supported by timber (square set methods).</li> <li>▪ Almacenamiento de la mena. Almacenamiento). (Supported by broken ore (shrinkage methods).</li> <li>▪ Fortificación por relleno (corte y relleno).</li> </ul>

			(Supported by mine fill (cut – and- fill methods)).
IV	ME de derrumbe. (caving and drawing methods)	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Derrumbe por capas horizontales. (Top slicing).</li> <li>▪ Derrumbe por subnivel. (sub – level caving).</li> <li>▪ Derrumbe por nivel. (block caving).</li> </ul>
		2	
		3	
V	Combined open / filled structures. (método combinado/Cámara abierta y relleno)	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vertical crater retreat stoping.</li> <li>▪ In – the- hole drill stoping.</li> <li>▪ post - pillar stoping.</li> </ul>
		2	
		3	

Estas clasificaciones se diferencian entre sí por la forma en que son agrupados por los diferentes autores, pero el principio de arranque del mineral es el mismo.

### **Orden del estudio de los sistemas de laboreo.**

El estudio de cada sistema comprende:

- 1- Investigación de las condiciones, las cuales favorecen a un sistema dado.
- 2- Descripción de una variante típica del sistema y de las operaciones principales de producción durante la ejecución del arranque.
- 3- Descripción de las variantes esenciales del sistema.
- 4- características técnica- económica del sistema y sus ventajas en comparación con los otros sistemas que son análogos según condiciones de empleo.

### **Condiciones del empleo de los sistemas de laboreo.**

Para todos los sistemas del laboreo existen ciertas condiciones cuyo empleo da mayores resultados en comparación con otros sistemas.

El campo de aplicación de cualquier sistema de laboreo se determina por los siguientes factores:

- 1- Forma, potencia y ángulo de buzamiento del cuerpo mineral.

- 2- las propiedades Físico- mecánicas de los minerales y de las rocas laterales y el carácter del contacto del cuerpo mineralizado con las rocas..
- 3- El valor de los minerales, los componentes de la Mena.
- 4- Infracciones geológicas y subexcavación de las rocas por agua.
- 5- Condiciones locales: presencia y costo de materiales para la fortificación y el relleno, posibilidades de derrumbar las rocas.

### **Características técnico- económicas de los Método de explotación**

- 1) Seguridad – accidentes morales / año.
  - “ graves / año.
  - “ leves / año.
- 2) Productividad – prod / hombre- turno.
  - “ / mes.
- 3) Costo de producción de una tonelada, \$ / t.
  - Gastos principales por concepto de preparación; corte y arranque.
- 4) Pérdida y empobrecimiento de la Mena; %.
- 5) Intensidad de laboreo; m/ tiempo.
- 6) Flexibilidad y sencillez.

### **Factores que influyen en la elección del Método de explotación.**

- 1) Elementos de yacencia – ángulo de buzamiento – Potencia.
- 2) Propiedades físicas y mecánicas de la roca y de caja y la Mena.
- 3) Geomorfología del yacimiento.
- 4) Valor de la Mena.
- 5) Geología – dislocación
  - hidrología.
  - intercalaciones de estéril
  - compactación, autoxidación
- 6) factores locales.
  - presencia de bosques.
  - demografía.

### **III.6.- Ejemplos de algunos Métodos de explotación subterránea.**

A continuación se exponen algunos ejemplos de los métodos de explotación de la clase I (sistema de explotación con la zona de arranque abierta) y clase VII (sistema de explotación con derrumbe de la Mena y la roca de caja).

#### **Ejemplos de la Clase I. M .E con la zona de arranque abierta.**

Esta clase se caracteriza porque durante las labores de arranque en el bloque el minado antiguo se encuentra libre sin rellenarse, ni entibarse. A veces se usan elementos de fortificación sólo de una forma auxiliar y /o temporal. Las rocas de caja están sostenidas por pilares de mena que por lo general son los mismos pilares de protección de las excavaciones de preparación del bloque, o otras veces son pilares de sostenimiento de Mena o de intercalaciones de estériles que se abandonan en el minado antiguo.

#### **Condiciones de aplicación de la clase.**

- 1) Menas y rocas muy estables. (Esta es una característica imprescindible)
- 2) Elementos de yacencia regulares.
- 3) Profundidad de yacencia hasta 800m.

#### **Clase I, Grupo 1. M .E. por bancada.**

**Esencia:** Consiste en el arranque del bloque por capaz horizontales en calderillas (de arriba hacia abajo). En dicho arranque el frente adopta una forma escalonada; es decir en bancos iguales que en una cantera de donde viene su nombre.

#### **Condiciones de aplicación:**

- 1) Se usa cuando la Mena es algo inestable y el cuerpo mineral es de potencia y ángulo de buzamiento abrupto.
- 2) Las rocas de caja deben ser muy estables.
- 3) En la actualidad este método se aplica poco debido a lo costoso laborioso que resulta el arranque de la Mena.

#### **Principales variantes de este grupo:**

- A – M. E sin galería inferior de transporte.**
- B - M. E con galería inferior de transporte.**
- C - M. E con el frente en forma de embudo.**

#### **Variante A: condiciones de aplicación.**

Es la más difícil en cuanto a los procesos tecnológicos del arranque y se aplica especialmente en aquellos yacimientos cuando por debajo del último horizonte de la mina aparece un balsón o pequeño cuerpo de Mena que se extiende a unos 20- 30 m por debajo de ese último horizonte y no resulta nacional desde el punto de vista económico excavar un nuevo horizonte de la mina.

Los escalones son de 1,5 – 3 m (en dependencia de la perforadora y de la seguridad, el ancho. La nueva arrancada se sube al otro escalón a pala. La perforación puede ser con barrenos horizontales o verticales.

Otra forma de ascender la Mena es a través de una tina colocándola así:

#### **Arranque:**

En el centro del bloque y en el piso de la galería de transporte se construye un contrapozo de corte del que se laboran las etapas I de 2- 3 m de profundidad, luego a D – I del pozo y por toda la potencia del cuerpo se hace el arranque de los sectores (1.1) en la primera capa con perforación manual descendiente y con una longitud de 2- 3 m. Luego se profundiza una nueva etapa del contrapozo II y se arranca del primer banco los sectores (2,2) y del 2<sup>do</sup> banco (2- 2) y así hasta arrancar todo el mineral.

Arrastre: Se realiza paleando la Mena de escalón a esa con hasta la G- J o usando una tina que se haga por el pozo mediante un winche.

Los obreros por lo general trabajan en plataforma de madera que se instalan sobre apoyos incados en las rocas laterales y a veces trabajan en su propio escalón desplazándose por escaleras de maderas.

#### **Reglas de seguridad.**

1-Prohibido hacer un paralelo los trabajos de perforación y arrastre en el bloque.

2- Los obreros deben trabajar con cinturones de seguridad y demás equipos de protección física.

Consideraciones finales:

1-Es indispensable que la roca de caja sea muy fuerte y muy estable (de lo contrario no se puede aplicar esta variante).

2- Al usarse tina para el arrastre hay que llevar el pozo de la Gt superior hasta el pozo de corte.

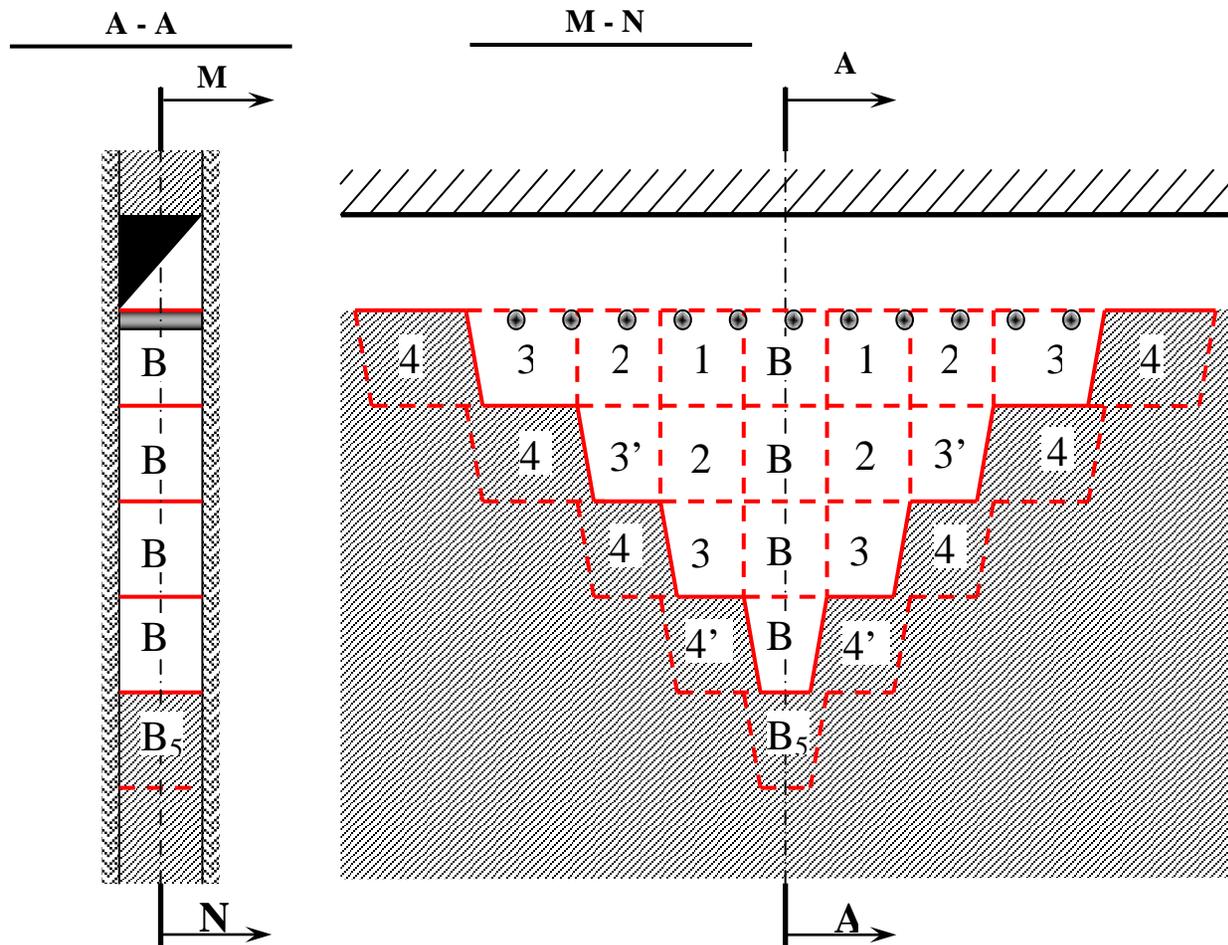


Figura No.89. V Sistema de escalones descendentes sin galería inferior de transporte

Variante: M. E con galería inferior de transporte.

Trabajos de perforación y corte.

Una galería de transporte inferior 1 y una de ventilación 3 amabas por la potencia del cuerpo de Mena y un contra pozo central 2 la altura del bloque es de 20- 30 y su largo de 50 – 60 m

Dividiéndose en 2 planos de 20 – 30 m.

Arranque: El arranque se realiza por capas horizontales en calderillas, iniciándose el arranque de cada capa, desde el pozo central. Como las capas superiores van adelantadas de 1,5 – 2m con relación a la capa inferior (inmediato) el frente ha comparado las bancadas de altura de 1,5 – 3 m y un ángulo de inclinación de 60<sup>0</sup>. La separación de la Mena se hace por martillos neumáticos o por perforadoras manuales desde las plataformas de trabajo.

1-disponiéndose los bancos de forma inclinada.

El arrastre se realiza paleando la masa menífera hacia el pozo central aunque una buena parte de esta masa por gravedad al aplicar voladura de lanzamiento y chocar los pedazos con el hastial intocado del pozo central. Esta es la razón por la cual los flancos del bloque no se laborean al unísono si no sucesivo.

Cuando se labore la última etapa del flanco, es decir, cuando el arranque se hace en la galería inferior de transporte, a medida que avanza la bancada se va construyendo un techo continuo de madera con piqueta “china” que laboren la evacuación de la Mena.

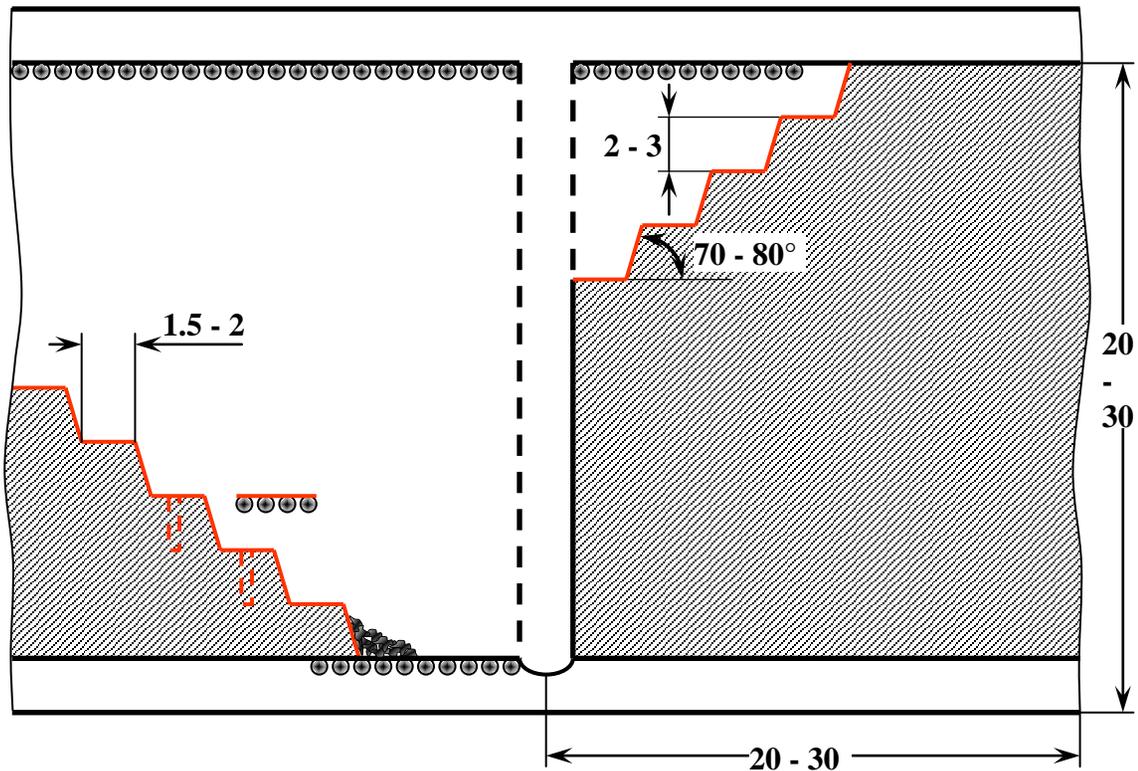


Figura No.90. Sistema de escalones descendentes con galería inferior de transporte

**Clase I, Grupo 3, M.E por tajos largos (frente continuo).**

**Esencia:** Este M se caracteriza por poseer un frente de arranque en forma rectilínea o poco sinuosa que se extiende por toda la altura inclinada o por toda la longitud del bloque; según se disponga por el rumbo o por el buzamiento. Dicho frente se desarrolla o bien por el buzamiento o bien por el rumbo; muy raras veces se disponen en otra dirección; se denomina “tajos largos”. Se desarrollan de forma continúa por lo que estos métodos se conocen también con el nombre de “F. Continuo”. Las rocas de caja se sostienen por pilares . que aparecen dispuestos desordenadamente en el minado antiguo. (Estos pilares se abandonan en aquellas zonas donde el mineral es de baja ley o existan intercalaciones de rocas estériles. Otra forma de sostenimiento es entibado artificial como caravanas y estemples. En muchas variantes las rocas se sostienen mediante pilares de protección de las excavaciones de preparación del bloque (lo usual).

El perfil transversal de los tajos largos es rectilíneo en los yacimientos finos y rectilíneos o escalonados en los yacimientos potentes.

Condiciones de aplicación:

- 1) Generalmente estos M. E se utilizan en yacimientos poco inclinados u horizontales y raras veces en yacimientos inclinados.
- 2)  $M \approx 1,2- 4m$  y excepcionalmente en  $m \approx 7- 10m$ .
- 3) Condición necesaria presencia de rocas suprayacentes muy fuertes y estables, cuando la potencia es fina, de poco valor; pues existe la necesidad de dejar pilares en el minado antiguo.

**M .E. Tajos Largos por el rumbo (para cuerpos minerales poco potentes).**

Esencia: El frente de trabajo se dispone por el buzamiento y se desplaza por el rumbo.

Condiciones de aplicación:

- 1) ángulo de buzamiento =  $0-40^0$ .
- 2) Potencias de 1,5 – 3m.
- 3) Rocas suprayacentes estable.
- 4) Mena estable y fuerte o moderadamente estable y fuerte.

Trabajos de preparación y corte.

Una galería de transporte 1 y una de ventilación 2 ambas por el buzamiento del cuerpo. Una galería inclinada por el buzamiento que me une 1 y 2. y conforma el tajo largo.

Cuando la galería de transporte está protegida por pilares a 3-4 m, de ella se laboreo la galería de corte, esta va adelante unos 8-10m del tajo. Esta excavación se realiza con el fin de unir la GT con el frente de trabajo a través de las piqueras 5.

Trabajos de arranque.

La separación de la Mena se realiza por perforación y explosivos con barrenos de 1,3- 1,8m que se perforan por toda la extensión del tajo. Los disparos se realizan utilizando serie de detonadores micro retardados. Generalmente el arranque se realiza por Winche Scraper colocando el Winche en unas cámaras que se construyen cada 8-10m a veces hasta 20m en el hastial contrario de la GT. Otro método es la utilización de transportadores de rastrillo en pendientes de hasta 18°. En pendientes menores (10°) se utilizan cargadores transportadores con buenos resultados.

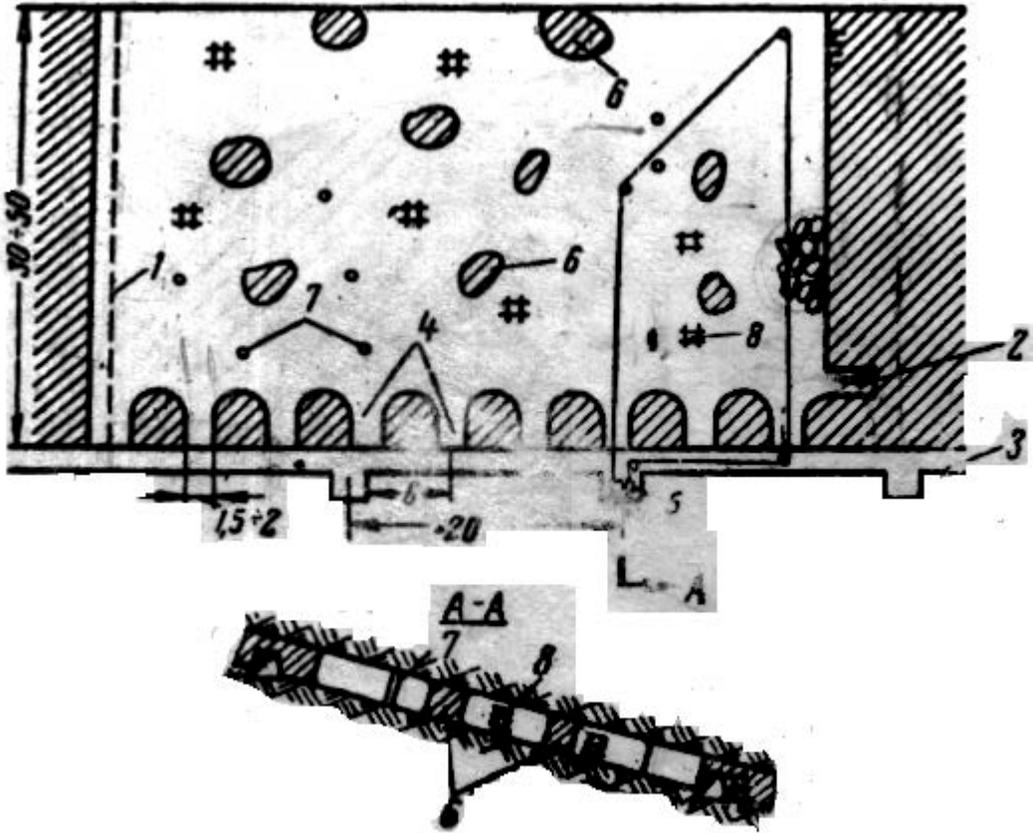


Figura No.91. Método de explotación con almacenamiento del mineral con extracción por tajo largo por el rumbo

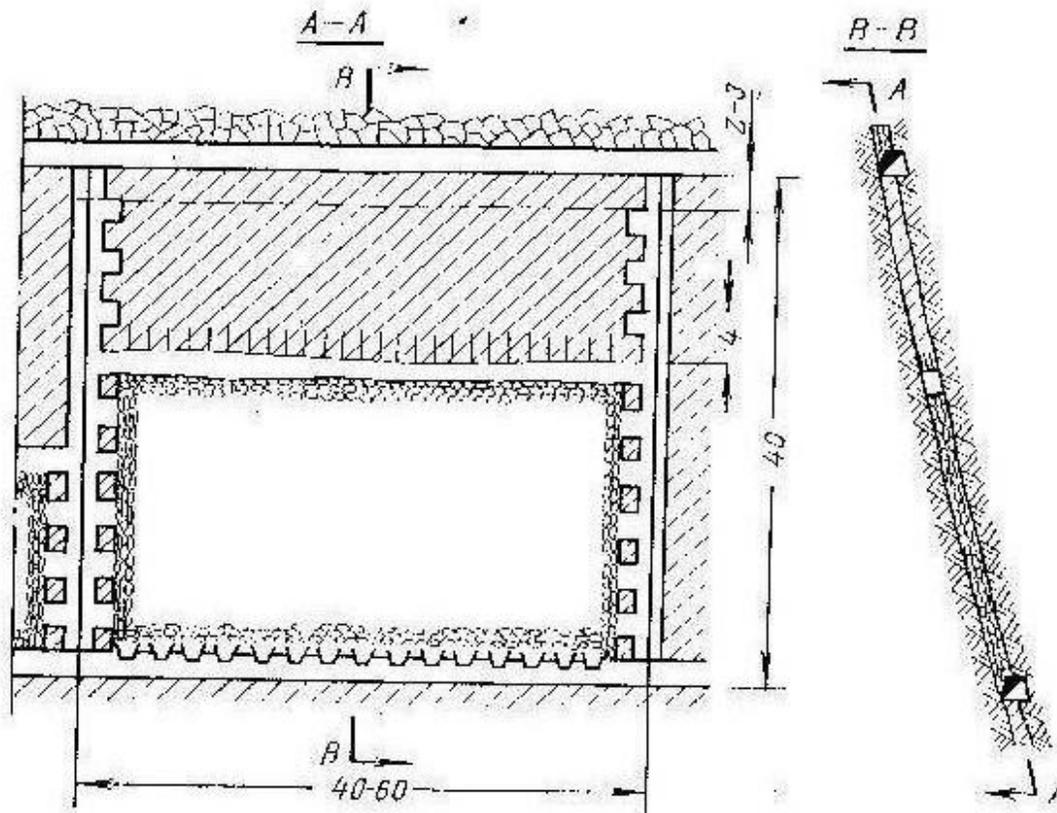


Figura No.92. Método de explotación con almacenamiento del mineral con extracción por tajo largo por el alza

**Clase I, Grupo: 4. M . E por cámaras y pilares.**

**M .E por cámaras y pilares:**

Esencia: Este método se caracteriza porque las cámaras en explotación se alternen sucesivamente con pilares de mina que quedan abandonados en el minado antiguo para siempre. Las cámaras por lo general se disponen perpendicular a la galería de transporte aunque pueden situarse también con cierta inclinación con respecto a ella.

Condiciones de aplicación

Se emplea en yacimientos horizontales o poco inclinados con potencias que pueden variar desde 3-5 m y hasta 20m. Se usan en presencia de rocas de cajas estables y fuertes. Las Menas pueden ser de fortaleza media o tener una

estabilidad relativamente baja pero si debe ser homogénea, no debe tener zonas con intercalaciones de estériles.

Se prefieren potencias de 2-10m y yacen cías horizontales. Es de significar que en los últimos 15 años han aparecido variantes que permiten la utilización de cámaras y pilares con ángulo  $> 25^{\circ}$  y más.

### Clasificación

Existe gran cantidad de variantes que se distinguen por la forma de arranque y el orden de su desarrollo.

### Variante clásica

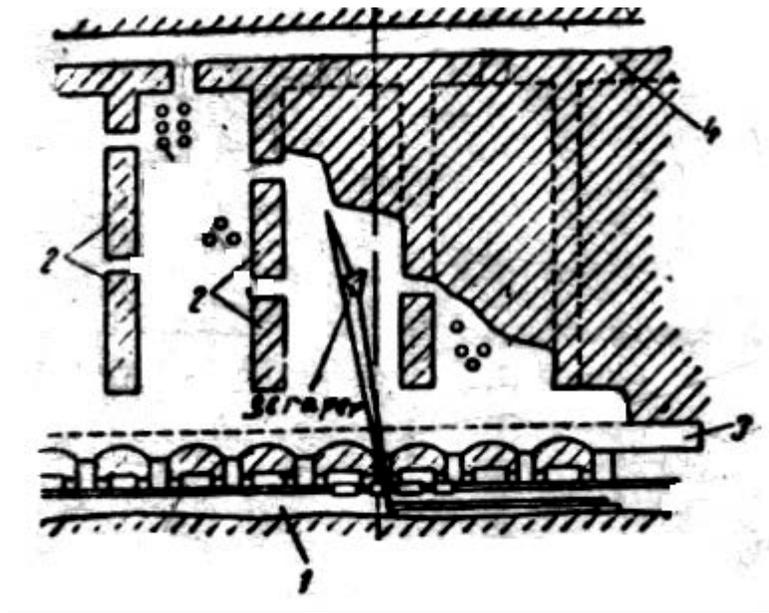


Figura No.93. M .E por cámaras y pilares:

### **Ejemplos de la Clase VII, grupo 3, clase IV, grupo 3, Método de explotación con derrumbe.**

La explotación por hundimiento se basa en que tanto la roca mineralizada como la roca encajante esté fracturada bajo condiciones más o menos controladas. La extracción del mineral crea una zona de hundimiento sobre la superficie por encima del yacimiento. En consecuencia es muy importante establecer un proceso de fracturación continuo y completo, ya que las cavidades subterráneas sin sostenimiento, presentan un riesgo elevado de desplomes repentinos que originan graves efectos posteriores durante la explotación.

Las características de la roca constituyen el aspecto esencial del comportamiento del mineral frente al hundimiento. Es necesario no solamente que el hundimiento ocurra, sino que además el mineral presente una granulometría adecuada.

La fragmentación de la roca es provocada más que por las fatigas de tracción que por las de compresión, de modo que la tendencia será de tener mineral mejor fragmentado en el centro del bloque que en los extremos. Este tiene la ventaja de evitar la mezcla del mineral útil con el material proveniente de la roca encajante.

En la explotación por Block Caving, por una parte, conviene minimizar las concentraciones de esfuerzos en el nivel de producción y pilar de protección, para mantener estables las galerías de extracción; y por otra, conviene maximizar la concentración de esfuerzos sobre el nivel de hundimiento para producir la socavación y mejorar la fragmentación del mineral.

Los trabajos tendientes a romper la base de un bloque determinado, tienen su inicio en el diseño de la malla, la cual determinará las características del resto de las galerías componentes del sistema. La determinación de la malla depende fundamentalmente de las características de la roca.

El éxito en el hundimiento de un bloque, independiente de las características de hundibilidad de la roca, depende de los factores fundamentales que son:

- A. La base del bloque deberá fracturarse completamente; si se quedaran pequeñas áreas sin quebrar, ellas actúan como pilar, transmitiéndose

grandes presiones desde el nivel de hundimiento hacia el de producción, las que pueden llegar a romper el pilar existente entre ellos, afectando completamente la estabilidad de las galerías del nivel de producción. Esto trae consigo un aumento importante en los costos de extracción.

- B. La altura de socavación inicial proporcionada por la tronadura, debe ser tal que no se produzcan puntos de apoyo del bloque que impidan o afecten el proceso de socavación natural inmediata.

En general, con el método Block Caving, se puede recuperar el 90% del mineral comprendido por la zona de explotación. Este coeficiente de recuperación depende principalmente de la forma en que se efectúa la extracción del primer tercio de la producción del block.

### **Principio del método**

Los esfuerzos que actúan en un lugar, y a cierta profundidad de un yacimiento, tienen su origen en el peso de las rocas hasta la superficie, y en los fenómenos externos de un yacimiento, tales como: Movimientos "horizontales, debido a movimientos de placas en la corteza terrestre. Todo macizo rocoso permanece en equilibrio mientras no se cree una cavidad lo suficientemente extensa en su interior, de modo de romper el equilibrio existente, creando una redistribución de esfuerzos en su alrededor.

La estabilidad de ésta cavidad dependerá de sus dimensiones, competencia de la roca y de los esfuerzos existentes en el área. Si la resistencia de la roca, no es lo suficiente para soportar el cambio de sollicitación, ésta socavará hasta llenar la cavidad con material fragmentado de distintas densidades. Una vez llena la cavidad se genera una fuerza de reacción que restablece el equilibrio.

Si se extrae el mineral fragmentado, a medida que se socava, el equilibrio no se restablece y la socavación continuará hasta la superficie.

El Block Caving se basa en éste principio, consiste en crear una cavidad de manera que la dinámica de desplome no se detenga, extrayendo el mineral por una malla de puntos ubicados en la base del bloque

El método de explotación por Block Caving se define luego, como el derrumbamiento de bloques por corte inferior, el mineral se fractura y fragmenta gracias a las tensiones internas y efecto de la gravedad. Por consiguiente se necesita un mínimo de perforación y tronadura en la extracción del mineral.

La palabra bloque está referida al sistema de explotación, en que el yacimiento se divide en grandes bloques de varios miles de metros cuadrados. Cada bloque se corta por la zona inferior; es decir, se excava practicando una ranura horizontal mediante tronadura.

De ésta forma queda sin apoyo el mineral que está por encima (millones de toneladas) y las fuerzas de gravedad que actúan sobre ésta masa producen una fractura sucesiva que afecta al bloque completo. Por último y debido a las tensiones de la roca, se produce la fragmentación del material, este puede extraerse por medio de piques o a través de cargadores.

### **Campo de aplicación.**

Básicamente, el método de explotación Block Caving, es un sistema normalmente usado para extraer depósitos profundos, masivos, de bajas leyes en CU, Fe.

Hoy en día, la producción masiva de extracción de menas subterráneas, bajo condiciones favorables, es una de las más eficientes, con bajos costos de minas.

Este método se utiliza en numerosos yacimientos de grandes dimensiones; en general, yacimientos de alto tonelaje, que cubren una extensa área y son muy potentes. Usualmente, la producción está en un rango de 10.000 t - 100.000 t/ día.

Su campo de aplicación es muy amplio. Se puede aplicar teóricamente en cualquier tipo de roca no demasiado resistente a la tracción y cualquiera que sean las características de la roca encajante, pero es preferible que la resistencia de la roca que se explota sea menor que la de la roca encajante.

La explotación por Block Caving, es un método económico bajo condiciones favorables. El extenso trabajo de desarrollo que tal explotación conlleva y el tiempo que se emplea hasta alcanzar la plena capacidad de producción, son los

inconvenientes de partida. Por otra parte existen ciertos riesgos de derrumbamientos y fragmentación, que están fuera de los controles de minería.

En general, los yacimientos más favorables para la aplicación del método de hundimiento por bloques son los grandes intrusivos de cobre porfirico, yacimientos de hierro, tanto sedimentarios como intrusivos. Estos depósitos deberán estar ubicados a gran profundidad y deberán ser extraídos a costos inferiores que por un método a cielo abierto. Los depósitos deben tener grandes reservas, cubrir un área extensa y tener una altura relativamente grande. La mayoría de estos depósitos se explotan a gran escala durante un periodo bastante largo, de tal forma que justifiquen la gran inversión requerida para ponerlos en producción.

El primer caso, o sea, la formación de pilares, se evita con un adecuado diseño de perforación y, especialmente, con un correcto cargue de los tiros. En todo caso, si se verifica la existencia de un pilar, se interrumpe la etapa de hundimiento, concentrando las actividades en eliminarlo completamente, para poder continuar con la secuencia de "quemadas". En el segundo caso, para evitar los posibles puntos de apoyo del bloque, una vez tronada la base, es necesario determinar previamente la altura que debe alcanzar la socavación producida por la tronadura.

La extracción en cada punto debe ser controlada con sumo cuidado de manera de evitar contaminaciones del mineral con el estéril. El contacto mineral-estéril debe mantenerse según un plano bien definido que pueda ser horizontal o inclinado.

En general, con el método Block Caving, se puede recuperar el 90% del mineral comprendido por la zona de explotación. Este coeficiente de recuperación depende principalmente de la forma en que se efectúa la extracción del primer tercio de la producción del block.

### **Método Block Caving Extracción Gravitacional**

Esta variante del método de explotación es aplicable a yacimientos o sectores en los cuales la competencia de la roca permite principalmente usar fuerzas de gravedad como método de traspaso de mineral.

El grado de fracturación obtenido permite la utilización de embudos, los cuales se encuentran conectados a buitras donde la distribución y traspaso de mineral es controlado por buitreros.

La utilización de estas variantes esta aún vigente en el sector Teniente3, Isia Estándar, Quebrada Teniente. El sector principalmente es mineral secundario, utilizando una malla de extracción de 10 x 10. (Figura No.94 y 95)

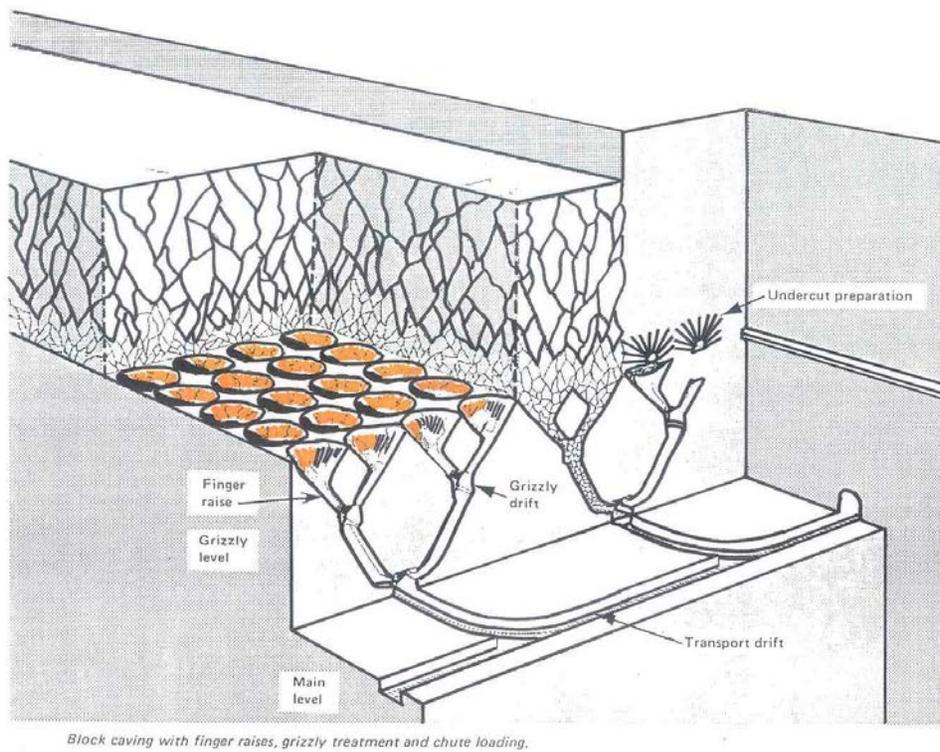


Figura No. 94. Método Block Caving Extracción Gravitacional

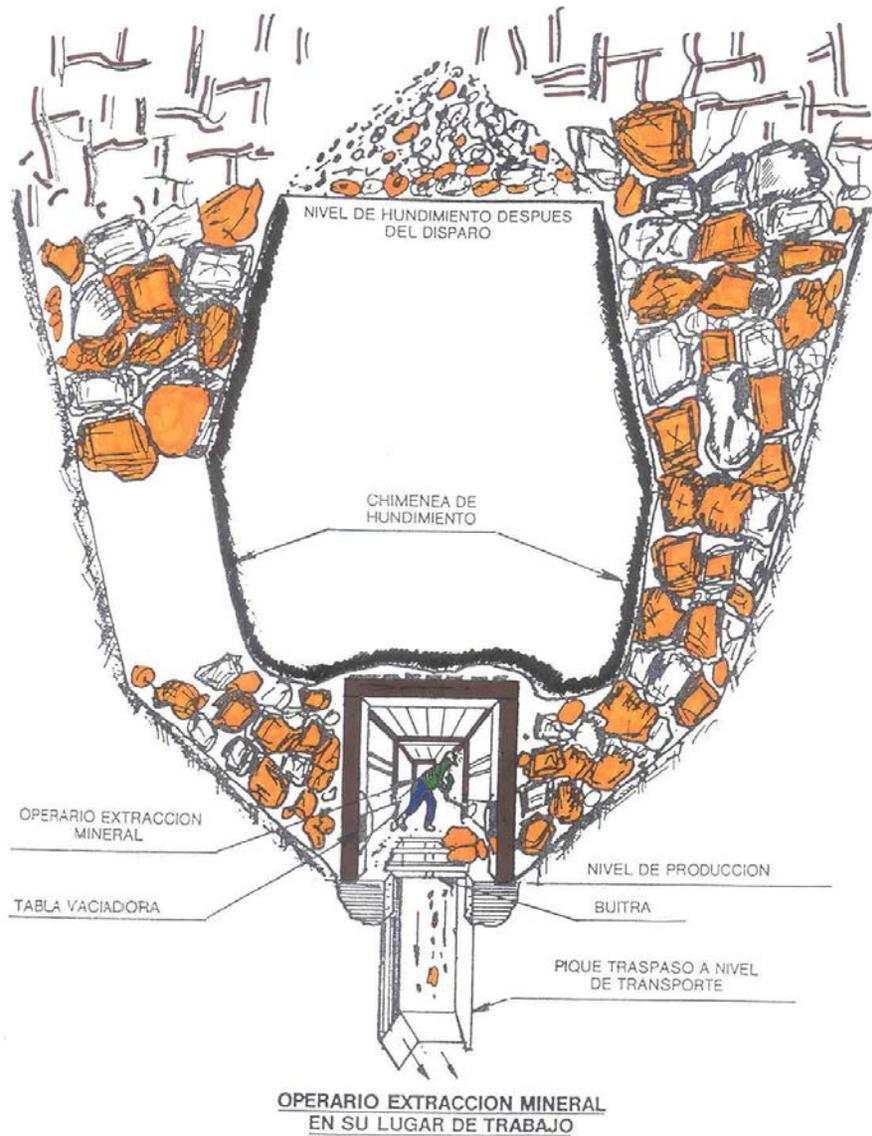


Figura No. 95. Método Block Caving Extracción Gravitacional

### **Método Block Caving con Reducción Mecanizada**

La diferencia fundamental con la variante anterior corresponde la utilización de un martillo picador como una forma de distribución y reducción de tamaño del mineral en el punto de extracción, debido a una mayor competencia de la roca, las colpas de mayor tamaño también llevan asociadas una variación del diseño minero, la

que se ve materializada en la construcción de zanjas y reforzamiento de los puntos de extracción. ( figura No.96 )

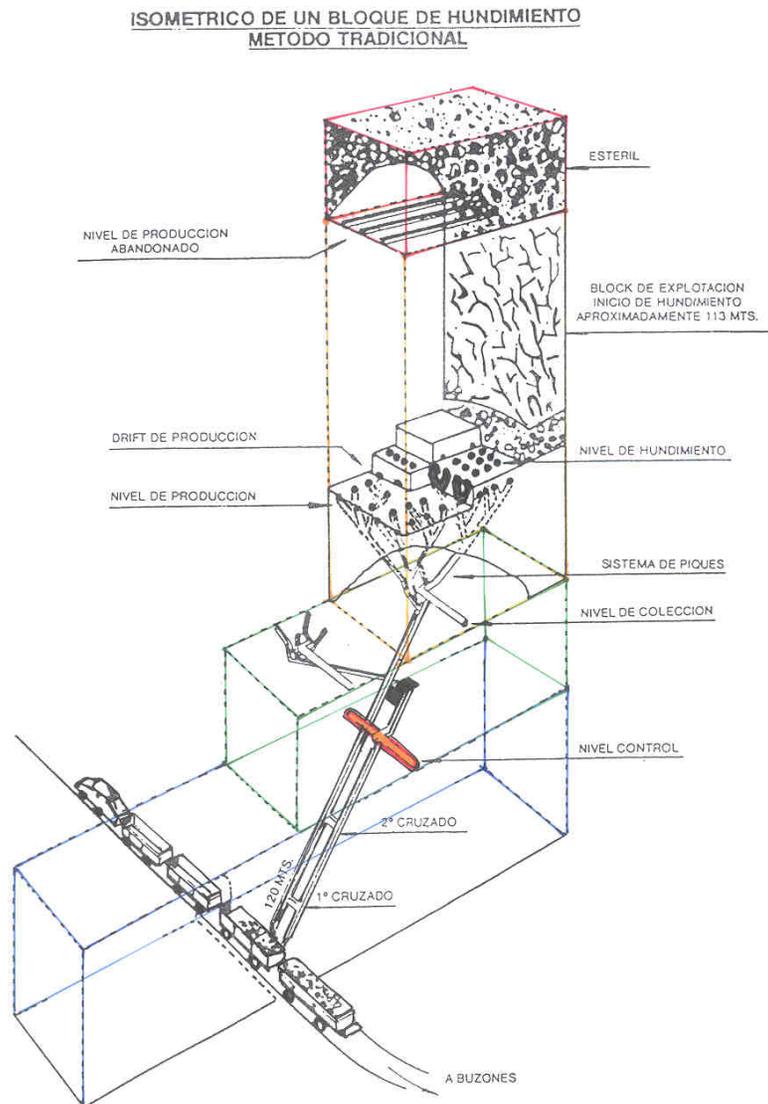


Figura No. 96. Método Block Caving con Reducción Mecanizada

### **III.7.- Características generales del Método de explotación subterráneo.**

En la figura siguiente se muestra un esquema general de explotación de un yacimiento por el modo subterráneo.

Iniciamente se realiza el acceso al yacimiento, se procede a su destape o apertura mediante un *pozo de mina vertical 1*, a partir de él se trazan las *galerías de minas 2, 3, 4*, que dividen el yacimiento verticalmente en niveles. En la parte superior del pozo se encuentran las instalaciones de sobremina, en este caso una *torre de castillete de extracción 5* y *al máquina de extracción 6* que opera el ascenso y descenso de los *recipientes de carga 7*, que pueden ser empleados para la carga del mineral, la roca, personal, materiales. Además del *pozo de extracción de excava un pozo auxiliar 8* que constituye la salida de emergencia a la superficie y que proporciona *las condiciones normales de ventilación y está equipado de una instalación de extracción auxiliar 9* y tiene un compartimento de escaleras 10, el laboreo del cuerpo mineral se realiza generalmente en sentido descendente, el mineral se extrae primeramente en el nivel superior, entre las galerías 2 y 3 y continuación en el piso inmediato superior, entre las galerías 3 y 4 y así sucesivamente.

Las labores de extracción son precedidas de labores preparatorias o de acceso. Por medio de *galerías ascendentes o realces 12*, el *bloque se divide en bloques o plantas (subniveles) B1 y B2*, dentro de cuyas márgenes se practican toda una serie de galerías y excavaciones horizontales y verticales (*pasillos de circulación 13, coladeros 14*), a esta determinada secuencia de los trabajos preparatorios y de extracción es a lo que se le denomina *método o sistema de explotación*. El proceso de arranque se realiza mediante la voladura de cargas de explosivos distribuidas en *barrenos 15*, los barrenos son perforados con maquinas perforadoras directamente desde la superficie del mineral arrancado. El mineral arrancando baja por la cavidad por gravedad hacia *los pozos tolvas 16* y *coladeros 14* donde es cargado a través de *las bocas de descarga 17*, a *las vagonetas 18* que son arrastradas por locomotoras eléctricas 19 hasta el pozo de extracción, las

que son ascendidas hasta la superficie y descargadas desde *la estacada (pasarela)*20.

En un nivel, las labores de extracción y las preparatorias se llevan acabo simultáneamente en varios bloques. Así los bloques B1 y B2 se encuentran ene la etapa de ensanche, mientras que el bloque B3 se halla en la etapa de preparación.

Simultáneamente con la extracción en el piso superior, se procede al destape y la preparación del nivel inferior. En la figura se muestra la excavación de la galería de transporte 4 y la perforación de un contracielo o realce 21. El mineral arrancado durante el trazado de galerías es cargado por las máquinas cargadoras 22 y los agujeros de barreno son perforados por máquinas perforadores 23.

Durante la explotación es imprescindible ventilar las galerías subterráneas, pues los trabajos con explosivos proporcionan gran cantidad de gases nocivos y polvo. El aire viciado, es aspirado según lo indican las flechas discontinuas, a través del pozo auxiliar y el canal de ventilación 24, por el ventilador 25. El aire fresco es aportado según las flechas del trazado continuo a través del pozo principal.

La explotación subterránea trae aparejadas grandes afluencias de agua subterránea, que se van colectando en un pozo colector 26, para evacuar esas aguas en la cámara de bombas 27 se instalan las bombas 28.

De este modo en el proceso general de explotación subterránea se destacan tres etapas principales, el destape o apertura, la preparación y extracción, cada una de las cuales contiene distintas operaciones, arranque, acarreo o carga del mineral, entibación de las galerías, ventilación y desagüe, transporte subterráneo y ascenso hasta la superficie.

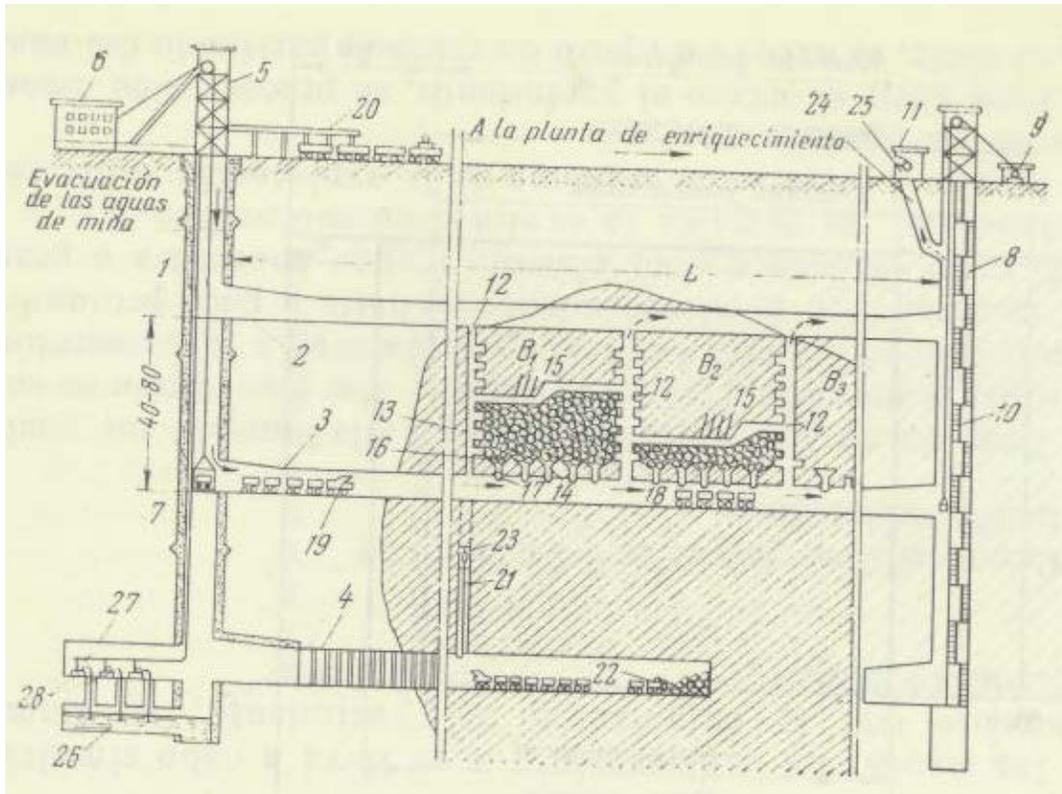


Figura No.97. Esquema de explotación de un yacimiento por Método subterráneo, Borisov, S. M, 1986.

## 1. BIBLIGRAFIA

2. Borisov, S. M. Klókov y B. Gronovói. Labores mineras. Editorial pueblo y educación, Ciudad de la Habana, 1986. 480 Pág.
3. Polanco Almanza R. y Guilarte Alpajón D. Explotación a Cielo Abierto. ISMM Moa 1999. (Soporte electrónico)
4. Bustillo Revuelta M., C. López Jimeno. Manual de Explotación y Diseño de Explotaciones Mineras. Gráficas Arias Montano, S. A. Madrid 1997. 705 p.
5. Manual de rocas ornamentales. Colectivo de autores. ETS de Ingenieros de Minas de Madrid. 1996.
6. Popov, G. The working of mineral deposits. Editorial MIR, 324 Pág
7. Mecánica de suelos. E Juarez Badillo y Alfonso Rico. Tomo I y II.
8. Curso Iberoamericano de Aplicaciones Geomecánicas y Geoambientales al desarrollo sostenible de la Minería. Roberto Blanco Torrens y Domingo Javier Carvajal Gómez Ediciones Panorama Minero. Argentina, 2003.
9. Rock Mechanic Principles. Coates. 1999.
10. Ingeniería geológica. Luis I. González de vallejo. Pearson education, S.A. 2002, España.
11. Barton, N. 1973: Review of a new shear strength criterion for rock joints. *Engineering Geology* 7:287-332.
12. Barton, N. R. & Choubey, V. 1974: A Review of the Shear Strength of Filled Discontinuities in Rock. Ed. e. Brooch.
13. Bieniawski, Z.T. 1989: "Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering". J. Wiley.
14. Bieniawski, Z. T. 2011: Errores en la Aplicación de las Clasificaciones Geomecánicas y su Corrección. *Caracterización Geotécnica del Terreno. Geocontrol Madrid*. Pp 2– 30.
15. González de Vallejo L. 1998: Las Clasificaciones Geomecánicas para Túneles. *Ingeotúneles: Carlos López Jimeno \_ Madrid. I. T. S. De Ingenieros de Minas. U. P. Madrid. T – I pp25 – 66.*

16. Goodman R. E.; Taylor R. L. & Brekke T. 1968: A Model for the Mechanism of Jointed Rock. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. Soil Mechanics and Foundation. 94(SM3): 637-659.
17. Hoek, E. 1994: Strength of Rock and Rock Masses. News J. of ISRM, 2: 4-16.
18. Hoek, E. 2007: Practical rock Engineering. Rock Mass Properties. In-situ and Induced Stresses. Canadá. 237p, [www.rocscience.com](http://www.rocscience.com).
19. Hoek, E. & Brown, E.T. 1980: Empirical strength criterion for rock masses. J. Geotech. Engng Div., ASCE 106(GT9), 1013-1035.
20. Hoek, E., & Brown, E. T. 1985: Excavaciones Subterráneas en Roca. McGraw-Hill de México S.A. de C.V. pp103-439.
21. John.A. Hudson. Engineering Rock mechanics and introduction to de principles. Imperial College of Science. University of London. ELSEVIER SCIENCE. Second edition. 2000.
22. John.A. Hudson. Engineering Rock mechanics. Part 2. Illustrative worked examples. Imperial College of Science. University of London. ELSEVIER SCIENCE. Second edition. 2000.
23. Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. Perú.2004
24. Fragmentación de rocas con explosivos. José Otaño Noguel. Editorial Félix Varela, 1998.
25. Elementos de Física de las Rocas. José Otaño Noguel. Editorial Pueblo y Educación, 1981.
26. Caracterización Geomecánica de Macizos Rocosos en obras subterráneas de la Región Oriental del País. Mada Cartaya Pire. Tesis Doctoral, 2001.
27. Metodología para la elección de los sostenimientos en excavaciones subterráneas de pequeña sección influenciadas por la acción sísmica. Osmany Mondejar Oquendo. Tesis doctoral, 2001.
28. Ground Mechanics in Hard Rock Mining. M. L. Jeremic. A.A.Balkema, 1987.

29. Manual de Ingeniería de Taludes. Publicaciones del ITGE de España. Serie: Minería y Seguridad Minera. Madrid. 1991.
30. Elementos de la Mecánica de los Macizos rocosos. Roberto Blanco Torrens. Editorial Félix Varela, 1999.
31. Manuel Arlandi Rodríguez. Realización de proyectos en minería subterránea del del mármol. GEOCONSULT.2005.
32. Laboreo de excavaciones subterráneas. Dr.C Roberto Blanco. Editorial Felix Varela, 2000
33. Fortificación de excavaciones subterráneas. Dr.C Roberto Blanco. Editorial Felix Varela, 1995
34. Fortificación de excavaciones horizontales. Dr.C Roberto Blanco. Editorial Felix Varela, 1995
35. Proyecto de construcción subterránea (construcción de excavaciones horizontales), Parte I. Dr.C Roberto Blanco; Ing Gilberto Sargentón. Editorial Felix Varela, 1993
36. Herbert Herrera Juan. Métodos de minería a cielo abierto. Universidad politécnica de Madrid. Escuela técnica superior de ingenieros de minas. 2007.
37. Proyecto de construcción subterránea (construcción de pozos), Parte II. Dr.C Roberto Blanco; Ing Gilberto Sargentón. Editorial Felix Varela, 1993
38. laboreo de excavaciones de exploración. Dr.C. Roberto Blanco; Dr.C. José Otaño.200
39. Laboreo de excavaciones horizontales. Dr.C. Roberto Blanco; Dr.C. José Otaño.2000
40. Labores Mineras. S. Borísov; M. Klókov.
41. construcción de pozos en condiciones minero geológicas difíciles. Dr.C. Roberto Blanco. Editorial Felix Varela, 1993
42. Construcciones de la superficie de la mina. Dr. C. Roberto Blanco; Ing. Miguel Díaz Díaz. Ediciones ENPES Varela, 1991.
43. Manual de túneles y obras subterráneas. Carlos López Jimeno. 1997
44. Ingetúneles, Tomo I. Carlos López Jimeno, 1999.

45. Ingetúneles, Tomo I. Carlos López Jimeno, 1999.
46. [www.upct.es/~euitc/programas/minas/explotacion/tercero/em3\\_tecnologiaminera.pdf](http://www.upct.es/~euitc/programas/minas/explotacion/tercero/em3_tecnologiaminera.pdf)
47. [www.ismm.edu.cu/revistamg/v17-n1-2000/art9-1-2000.pdf](http://www.ismm.edu.cu/revistamg/v17-n1-2000/art9-1-2000.pdf)
48. [www.ujaen.es/serv/sga/documentos/programas/200405/eup/5896/5896\\_3.doc](http://www.ujaen.es/serv/sga/documentos/programas/200405/eup/5896/5896_3.doc)
49. [www.usc.es/estaticos/congresos/histec05/b16\\_escudero.pdf](http://www.usc.es/estaticos/congresos/histec05/b16_escudero.pdf)
50. [Monografías sobre Ingeniería de túneles y obras subterráneas](#)
51. [http--www-ext.lnec.pt-ISRm-](http://www-ext.lnec.pt-ISRm-)
52. scienceDirect - International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences
53. [ScienceDirect - Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 22, Issue 1, Pages 1-118 \(January 2007\).](#)
54. [http://www.upct.es/~euitc/programas/minas/explotacion/tercero/em3\\_tecnologiaminera.pdf](http://www.upct.es/~euitc/programas/minas/explotacion/tercero/em3_tecnologiaminera.pdf)