

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS



MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO

Juan Herrera Herbert

Octubre 2006

CLASIFICACIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO

Juan Herrera Herbert
Fernando Pla Ortiz de Urbina

OBJETIVOS DEL TEMA

1. Conocer y comprender el concepto de método minero en toda su extensión y distinguir los distintos tipos existentes.
2. Conocer y comprender el concepto de sistema operativo minero o sistema minero.
3. Comprender el origen y la finalidad de la clasificación de los distintos sistemas.
4. Comprender la utilidad de las diferentes clasificaciones en que se pueden estructurar los yacimientos minerales
5. Conocer los distintos tipos de clasificación de yacimientos.
6. Conocer la clasificación de los métodos de explotación a cielo abierto
7. Saber la diferencia entre recursos marginales, recursos latentes y estériles.
8. Saber qué es el "Break Even"
9. Diferenciar la tipología de los materiales explotados por la minería actual.



inversiones de capital que se precisan para abrir una nueva mina o para cambiar el método de explotación existente son muy elevadas, y la influencia que estos tienen sobre los costes de extracción son muy importantes, es necesario que dicho proceso de selección responda a un análisis sistemático y global de todos los parámetros específicos del yacimiento: geometría del depósito y distribución de leyes, propiedades geomecánicas del mineral y rocas encajantes, factores económicos, limitaciones ambientales, condiciones sociales, etc.



1. IMPORTANCIA DE LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

El diseño de una mina tiene múltiples facetas y objetivos, entre los que cabe destacar: la selección del método de explotación, el dimensionamiento geométrico de la mina, la determinación del ritmo anual de producción y la ley de corte, la secuencia de extracción, etc.

En el pasado, la selección de un método minero para explotar un yacimiento nuevo se basaba en la revisión de las técnicas aplicadas en otras minas y en las experiencias conseguidas sobre depósitos similares, dentro de un entorno próximo. Actualmente, como las

La variabilidad de esos parámetros y las dificultades de cuantificación total de los mismos han impedido el desarrollo de regias rígidas y esquemas precisos de explotación, aplicables a cada yacimiento particular. No obstante, los avances logrados en las diferentes ramas de la ciencia y la tecnología, durante las últimas décadas, han permitido establecer unos métodos generales de explotación y unos procesos numéricos de selección, válidos durante la etapa de estudio de viabilidad de un proyecto.

Tan importante o más que el método minero, y en ocasiones ligado con el mismo, se encuentran la determinación del ritmo de producción anual y la ley de corte. Su incidencia sobre la economía del proyecto es muy grande, ya que, por ejemplo, la ley de corte afecta directamente al volumen total de reservas

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSIMM	CAPÍTULO 1 CLASIFICACIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO	Pág.: 2 de 2

explotables, a la ley media del mineral y en las minas a cielo abierto al ratio estéril / mineral; y por otro lado, el segundo parámetro de diseño, que es la capacidad de producción, si es muy pequeña no permite las economías de escala y da lugar a que los ingresos se consigan de forma muy lenta, y si el ritmo de explotación es intenso conlleva una inversión inicial muy alta, que puede llegar a no recuperarse durante la reducida vida de la mina.

Por todo lo indicado, esta etapa técnica de estudio y selección del método dentro del desarrollo de un proyecto minero es de suma importancia, ya que condicionará los resultados económicos futuros.

2. DEFINICIÓN DE “MÉTODO MINERO”

Se denomina “método minero” a un proceso iterativo tanto desde el punto de vista temporal como espacial, que permite llevar a cabo la explotación minera de un yacimiento por medio de un conjunto de sistemas, procesos y máquinas que operan de una forma ordenada, repetitiva y rutinaria.

En principio tan solo existen, actualmente, tres métodos en su sentido más amplio, que son:

- El método de explotación por minería a cielo abierto
- El método de explotación por minería de interior o minería subterránea
- El método de explotación por sondeos.

La minería a cielo abierto se caracteriza por los grandes volúmenes de materiales que se deben mover. La disposición del yacimiento y el recubrimiento e intercalaciones de material estéril determinan la relación estéril/mineral con que se debe extraer este último. Este parámetro, comúnmente denominado "ratio", puede ser muy variable de unos depósitos a otros, pero en todos condiciona la viabilidad económica de las explotaciones y, consecuentemente, la profundidad que es posible alcanzar por minería de superficie.

En minería subterránea la extracción de estéril suele ser prácticamente insignificante a lo largo de la vida de la mina, pues sólo procederá de las labores de acceso y preparación. En este grupo de métodos, el control del terreno o de los huecos, una vez extraído el mineral, es una de las consideraciones más importantes que interviene en la forma de explotar un

yacimiento. Los tipos de control o tratamiento de los huecos dentro de los macizos rocosos varían desde el mantenimiento rígido del terreno mediante pilares, pasando por diferentes grados de sostenimiento de los hastiales, con cierre y hundimiento controlado de estos, hasta el hundimiento completo del mineral o del recubrimiento de estéril.

En la minería por sondeos, la concepción de la explotación es radicalmente distinta, consiguiéndose grandes producciones con relativamente muy poco personal y unas altas cotas de automatización del proceso.

3. DEFINICIÓN DE “SISTEMA OPERATIVO”



Se entiende como sistema minero al conjunto interrelacionado de técnicas y procesos que llevan a cabo la extracción de los minerales en una forma repetitiva, rutinaria e iterativa.

Dependen fundamentalmente de la resistencia que las rocas oponen a su fragmentación o arranque y posteriormente a su transporte.

4. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE YACIMIENTOS.

Los yacimientos explotables por Minería a Cielo Abierto pueden clasificarse atendiendo a los siguientes criterios:

- Por su forma
- Por el relieve del terreno original
- Por su proximidad a la superficie
- Por su inclinación
- Por su complejidad o número de mineralizaciones
- Por la distribución de la calidad del mineral en el yacimiento
- Por el tipo de roca dominante

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 1 CLASIFICACIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO	

4.1. CLASIFICACIÓN POR SU FORMA

- **Isométricos:** Se extienden en todas direcciones. Depósitos masivos.
- **Estratificados o filonianos:** Se presentan según dos direcciones preferentes.
- **Columnares o cilíndricos:** Se extienden en una sola dirección.
- **Intermedios o mixtos:** Combinan características de dos o más de los grupos anteriores, debido a su propia génesis o a la tectónica que los ha dislocado o replegado.

La morfología de los yacimientos marca acusadamente:

- La geometría final de las explotaciones,
- La secuencia de extracción y
- El método minero más adecuado

4.2. CLASIFICACIÓN POR EL RELIEVE DEL TERRENO ORIGINAL

- **Horizontales o planos:** Cuando la superficie es relativamente llana u horizontal.
- **En ladera:** Según disposición de masas mineralizadas, pueden ser a favor de talud o contra talud.
- **Montañosos:** cuando el terreno es irregular y se presentan importantes accidentes topográficos.
- **Submarinos y subacuáticos:** cuando están cubiertos por una lámina de agua.

La geometría del terreno determina, en cierta medida, el método de explotación y la aplicabilidad de medios mecánicos para llevar a cabo la extracción de los distintos materiales

4.3. CLASIFICACIÓN POR SU PROXIMIDAD A LA SUPERFICIE

- **Superficiales:** cuando no existe material de recubrimiento o este presenta un espesor inferior a los 20 o 30 m.

- **Profundos:** Localizados a profundidades mayores, entre los 40 y 250 m.
- **Variables:** Aquellos en los que una parte es económicamente explotable a cielo abierto y el resto, al ir desarrollándose en profundidad, por minería subterránea o de interior.

La posición de un yacimiento puede ser, con respecto a la superficie, regular o irregular, no pudiéndose clasificar en algunos casos en un único grupo de los indicados al compartir características propias de varios grupos.

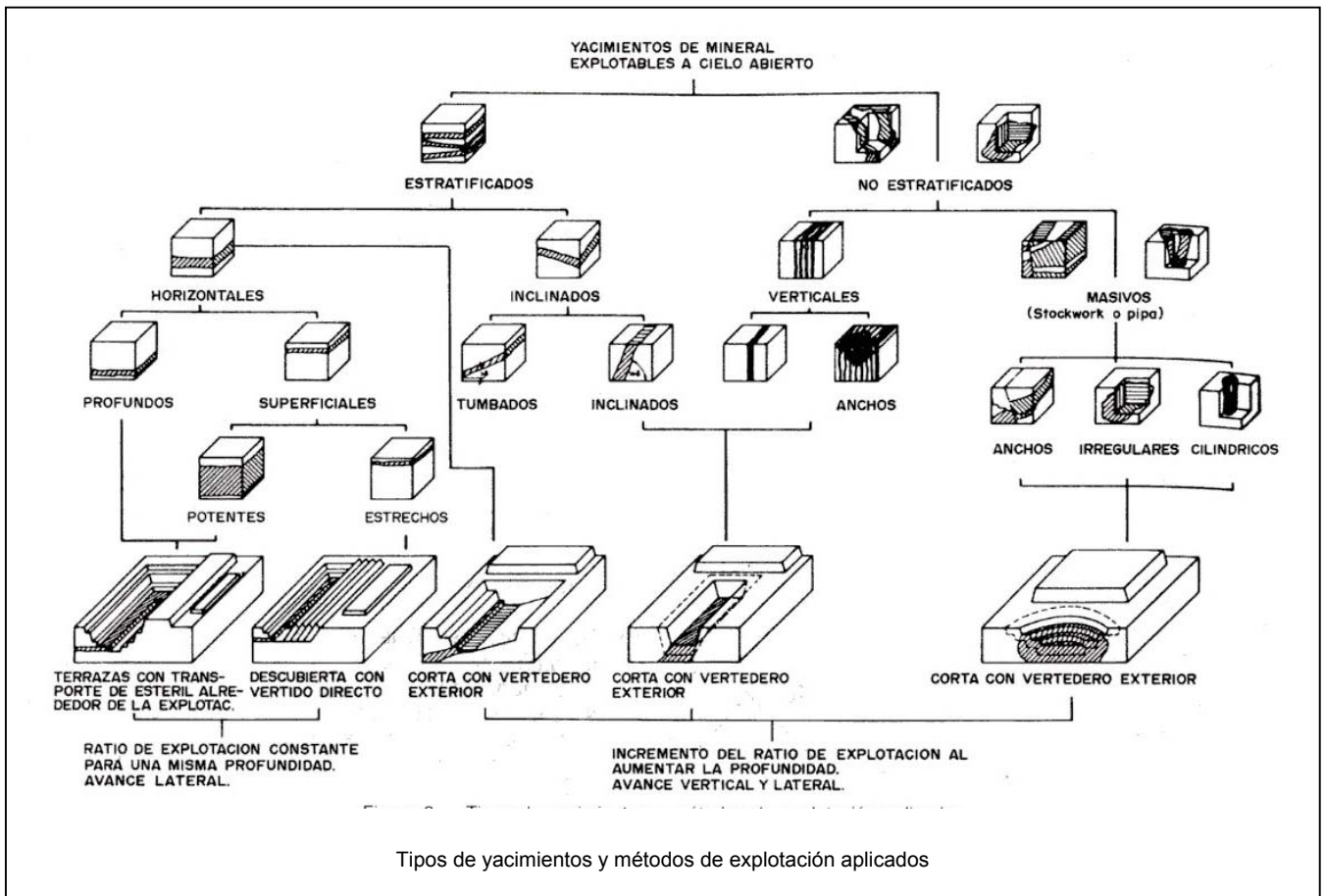
La posición relativa de un yacimiento determina el tamaño de la explotación, tanto en planta como en profundidad, así como los sistemas aplicables, especialmente en lo referente a los medios de transporte.

4.4. CLASIFICACIÓN POR SU INCLINACIÓN

- **Horizontales:** con ángulos que pueden variar desde los 0° hasta los 10° o 15° sobre el plano horizontal.
- **Tumbados:** con ángulos entre 10°-15°, hasta los 25°-35°.
- **Inclinados:** con ángulos que superan los 25°-35° y llegan hasta los 70°-80°.
- **Verticales:** con ángulos comprendidos entre los 70° y 90°.

En consecuencia, se puede comprender que el ángulo que presentan las masas mineralizadas:

- Condiciona la elección del método de explotación,
- Condiciona las relaciones de estéril y mineral.
- Afecta a la economía de las operaciones
- Condiciona la probabilidad de rellenar los huecos creados en yacimientos alargados cuando se proceda a la recuperación de los terrenos afectados.



4.5. CLASIFICACIÓN POR SU COMPLEJIDAD O NÚMERO DE MINERALIZACIONES

Simple.

- Caracterizados por una estructura homogénea, sin presencia de otros niveles mineralizadores o inclusiones.
- Todos los minerales se extraen conjuntamente del yacimiento.

Complejos.

- Pueden contener, junto con minerales con altas leyes, masas de mineral pobre o esterilizadas con contactos claros. La explotación se realiza de forma selectiva para evitar la pérdida o dilución del mineral aprovechable.
- En otros casos, son depósitos con diferentes masas o niveles mineralizados, que obligan a una explotación más compleja, aún cuando

los contactos con el estéril sean nítidos



Depósitos diseminados.

- Pueden tener una complicada estructura y una distribución más o menos aleatoria del contenido recuperable.
- Obliga a una fuerte minería selectiva así como a una muy difícil concentración mineralúrgica. Tipo "Stockworks"

4.6. CLASIFICACIÓN POR LA DISTRIBUCIÓN DE LA CALIDAD DEL MINERAL EN EL YACIMIENTO

Uniformes.

- La calidad o ley del mineral es la misma dentro de los límites del yacimiento.
- La explotación se lleva a cabo con uno o varios tajos, pero sin proceder a la mezcla de

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 1 CLASIFICACIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO	Pág.: 5 de 5

los minerales extraídos.

No Uniformes.

- La mineralización presenta calidades distintas en alguna dirección del yacimiento (en planta o en profundidad).
- La explotación se efectúa de forma simultánea en varias zonas para, a continuación, proceder a la mezcla y homogeneización de los minerales extraídos.

4.7. CLASIFICACIÓN POR EL TIPO DE ROCA DOMINANTE

- El recubrimiento de estéril y el mineral son rocas compactas, metamórficas o ígneas.
- El recubrimiento está constituido por rocas ígneas o metamórficas no homogéneas, con alternancia de estériles blandos y duros. El mineral e intrusiones de estériles son rocas compactas o meteorizadas y también de origen ígneo o metamórfico.
- Las rocas del estéril de recubrimiento son blandas y densas, con el mineral y rocas de intrusión compactas o meteorizadas, de origen ígneo o metamórfico.
- Tanto el recubrimiento como la zona mineralizada están constituidas por rocas ígneas o metamórficas meteorizadas.
- Las rocas de recubrimiento son blandas y sedimentarias. El mineral no es homogéneo.
- El recubrimiento y el mineral son blandos y de origen sedimentario.

5. MÉTODOS MINEROS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN

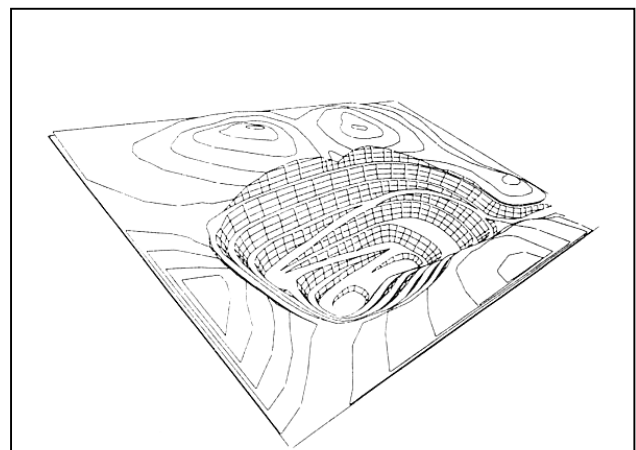
Por las lógicas y naturales diferencias que imponen sus características estructurales y sus aplicaciones, se pueden varias clases de materiales que darán lugar a una primera selección de los submétodos clásicos de la minería a cielo abierto (MCA):

Cortas
 Transferencia
 Descubiertas

Terrazas
 Contorno
 Canteras
 Graveras
 Minería hidráulica
 Lixiviación
 Especiales o mixtos

5.1. CORTAS

En yacimientos masivos o de capas inclinadas, la explotación se lleva a cabo tridimensionalmente por banqueo descendente, con secciones verticales en forma troncocónica. Estos métodos son los tradicionales de la minería metálica y se adaptaron en las últimas décadas a los yacimientos de carbón, introduciendo algunas modificaciones.





Esquema de una corta minera



Mina de Palabora.
 Cortesía: Rio Tinto

La extracción, en cada nivel, se realiza en un banco con uno o varios tajos. Debe existir un desfase entre bancos a fin de disponer de unas plataformas de

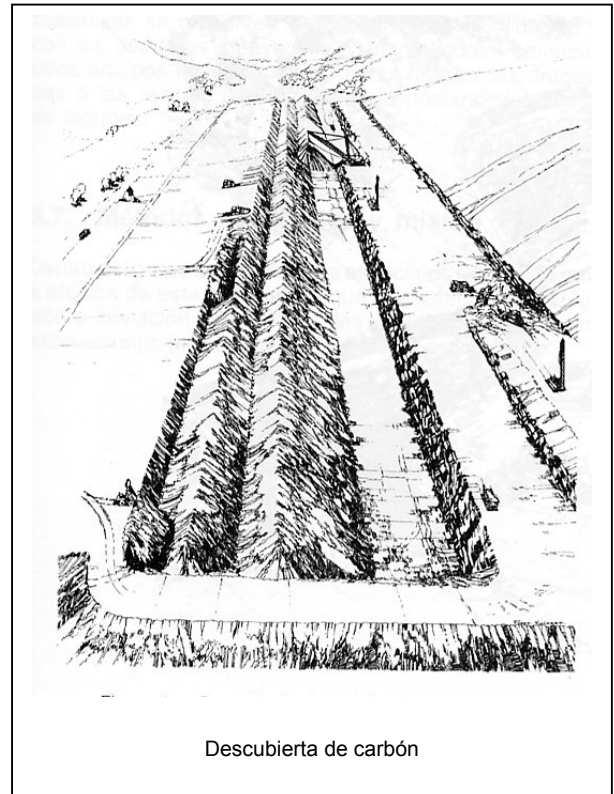
 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 1 CLASIFICACIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO	Pág.: 6 de 6

trabajo mínimas para que operen los equipos a su máximo rendimiento y en condiciones de seguridad. Las pistas de transporte se adaptan a los taludes finales, o en actividad, permitiendo el acceso a diferentes cotas.

La profundidad de estas explotaciones suele ser grande, llegándose en algunos casos a superar los 300 m. Salvo en los yacimientos con una gran corrida, como sucede con los de carbón, las posibilidades de relleno de hueco con los propios estériles son escasas. Por ello es siempre necesario crear depósitos exteriores para albergar esos materiales.

La vida de estas explotaciones suele ser grande, por lo general superior a los 15 o 20 años, al menos en la minería metálica, existiendo algunas explotaciones bien conocidas que han trabajado durante más de un siglo.

En cuanto a las cortas de carbón, cuya apertura tuvo lugar, en la mayoría de los casos, a mediados de los años 70, suele ser viable la transferencia de los estériles a los huecos creados, pues los yacimientos son, como ya se ha indicado, alargaos y, una vez alcanzada la fase de hueco inicial en un extremo del depósito, es factible efectuar el autorrelleno.



Descubierta de carbón

5.2. DESCUBIERTAS

Estos métodos se aplican en yacimientos tumbados u horizontales, con unos recubrimientos de estéril inferiores, por lo general, a los 50 m. Consiste en el avance unidireccional de un módulo con un solo banco desde el que se efectúa el arranque del estéril y vertido de éste al hueco de las fases anteriores. El mineral es entonces extraído desde el fondo de la explotación, que coincide con el muro del depósito.

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



La maquinaria que se utiliza depende del volumen de reservas extraíbles, siendo en las grandes minas de frecuente aplicación las dragalinas y, en las pequeñas, si no se justifican las fuertes inversiones en maquinaria, los equipos convencionales como los tractores de orugas, las excavadoras hidráulicas, las palas cargadoras, etc.

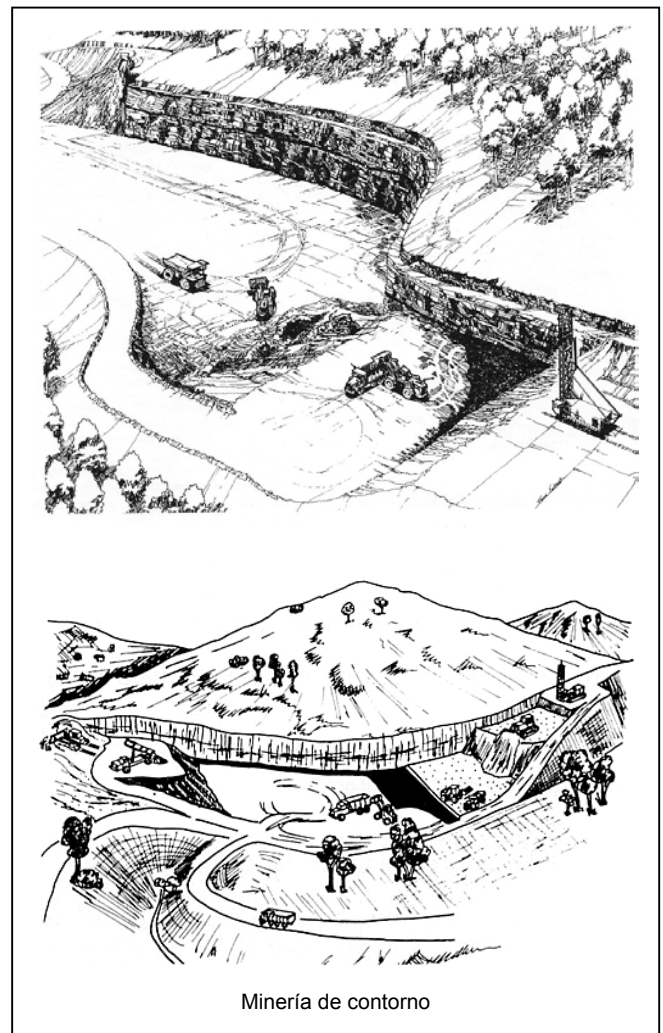
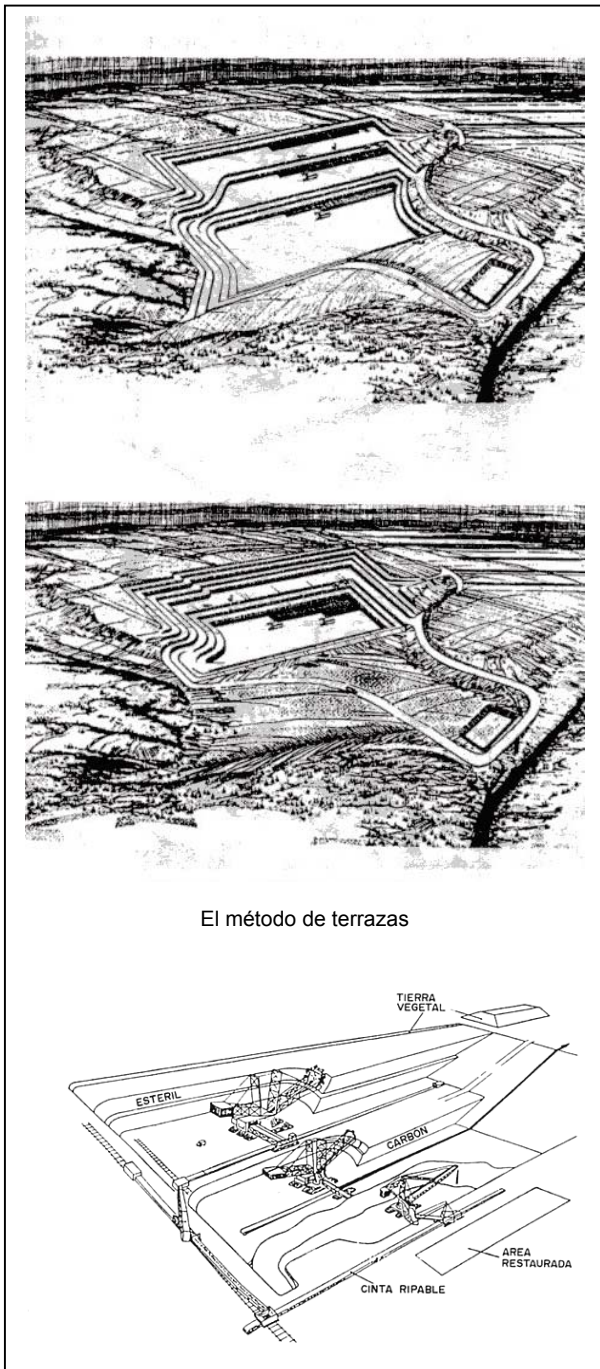
5.3. TERRAZAS

Este método se basa en una minería de banqueo con avance unidireccional. Se aplica en yacimientos relativamente horizontales, de uno o varios niveles mineralizados y con recubrimientos potentes, pero que permiten depositar el estéril en el hueco creado, transportándolo alrededor de la explotación.

Las profundidades que se alcanzan son importantes, existiendo casi exclusivamente una limitación de tipo económico en la determinación de cual es el último nivel mineralizado que se explotará. Al igual que sucede con los métodos de descubierta y tal como se ha indicado, se efectúa un autorrelleno del hueco creado, por lo que, desde el punto de vista de la restauración de los terrenos, las posibilidades de actuación son grandes.

Los equipos y sistemas mineros que se utilizan son muy variados, desde los totalmente discontinuos con equipos convencionales de carga y transporte, hasta los continuos, con transporte con cintas y trituración dentro de las propias explotaciones, que poseen un alto grado de electrificación.

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSIMM	CAPÍTULO 1 CLASIFICACIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO	Pág.: 7 de 7





5.4. CONTORNO

En yacimientos de carbón con capas tumbadas, de reducida potencia y topografía generalmente desfavorable, se aplican los métodos conocidos bajo la denominación de minería de contorno.

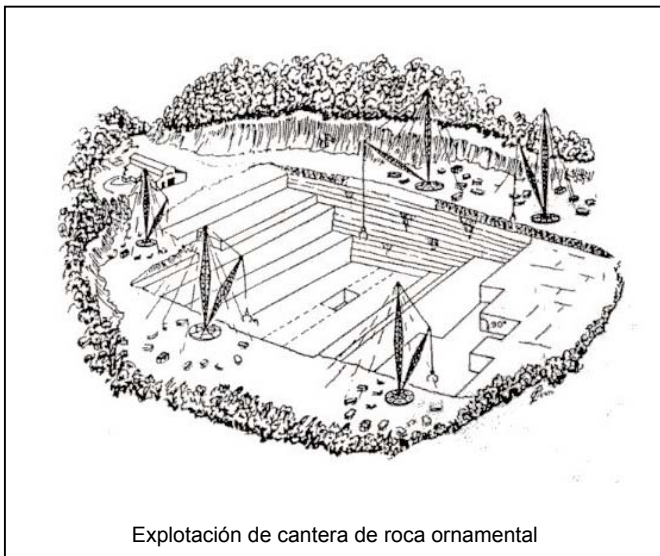
Consisten en la excavación del estéril y del mineral en sentido transversal al afloramiento, hasta alcanzar el límite económico, dejando un talud de banco único y progresión longitudinal siguiendo el citado afloramiento.

Dado el gran desarrollo de estas explotaciones y la escasa profundidad de los huecos, es posible realizar una transferencia de los estériles para la posterior recuperación de los terrenos.

La maquinaria que se utiliza suele ser del tipo convencional, accionada por motores diesel.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 1 CLASIFICACIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO	Pág.: 8 de 8

El relleno de los huecos suele efectuarse una vez que se haya alcanzado una situación que permita el vertido dentro de la explotación.



Hoy día la situación es muy diferente, como se verá más adelante.

En líneas generales, el método de explotación aplicado suele ser el de banqueo, con uno o varios niveles, situándose un gran número de canteras a media ladera.

Las canteras pueden subdividirse en dos grupos:

- El primero, donde se desea obtener un todo-uno fragmentado apto para alimentar a las plantas de tratamiento y obtener un producto destinado a la construcción en forma de áridos, a la fabricación de cementos, a la fabricación de productos industriales, etc. En este tipo de explotación se dan canteras donde la extracción no es cuidadosa y se dan grandes alturas de banco.
- El segundo, dedicado a la explotación cuidadosa de grandes bloques paralelepípedicos, que posteriormente se cortan y elaboran. Estas explotaciones se caracterizan por el gran número de bancos que se abren para arrancar los bloques y la maquinaria especial con la que se obtienen planos de corte limpios.

5.5. CANTERAS

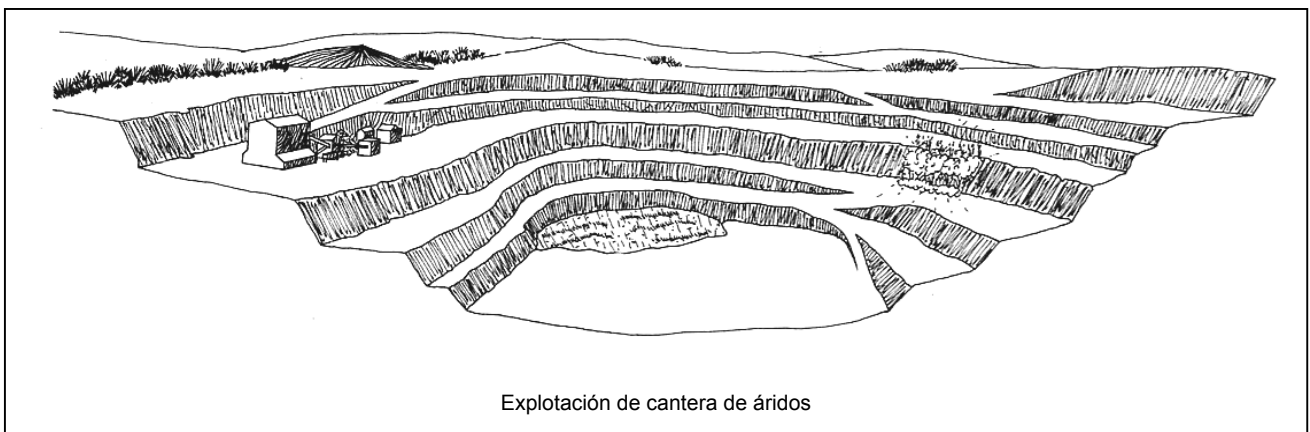
Canteras es el término genérico que se utiliza para referirse a las explotaciones de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción. Constituyen, con mucho, el sector más importante en cuanto a número, ya que desde muy antiguo se han venido explotando para la extracción y abastecimiento de materias primas con uso final en la construcción y en obras de infraestructura.



Antiguamente, debido al valor relativamente pequeño que tenían los materiales extraídos, las canteras se situaban muy cercanas a los centros de consumo y poseían unas dimensiones generalmente reducidas.

5.6. GRAVERAS

Los materiales detríticos, como son las arenas y las gravas, albergados en los depósitos de valle y terrazas de los ríos, son objeto de una explotación intensa debido a la demanda de dichos materiales por el sector de la construcción.

Las arenas y los cantos rodados se encuentran poco cohesionados, por lo que las labores de arranque se efectúan directamente por equipos mecánicos. Las explotaciones suelen llevarse a cabo en un solo banco, con una profundidad inferior, por lo general, a



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 1 CLASIFICACIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO	Pág.: 9 de 9

los 20 m.

Cuando las formaciones se encuentran en niveles altos, se utilizan equipos convencionales, como son las palas cargadoras de ruedas y los volquetes. Sin embargo, es frecuente que los materiales se presenten en contacto con el subalveo o los acuíferos infrayacentes, empleándose entonces otros equipos mineros como son las dragas, las dragalinas o las raspas, dando lugar a la posterior formación de lagunas.

5.7. MINERÍA HIDRÁULICA. DRAGADO

En mineralizaciones especiales, como son las metálicas de oro, casiterita, etc., contenidas en aluviones, resulta interesante la aplicación del método del dragado, inundando previamente la zona de explotación. Este método es económico cuando la propia agua de inundación se utiliza en el proceso de concentración, como ocurre con la separación gravimétrica. Las dragas, además del sistema de extracción que utilicen (cangilones, cabezas de corte, etc.), pueden llegar a incorporar la propia planta de tratamiento sobre la plataforma (cribas, ciclones, jigs, etc.), con capacidad para tratar grandes volúmenes de material, y un sistema de evacuación de estériles a la zona ya explotada.

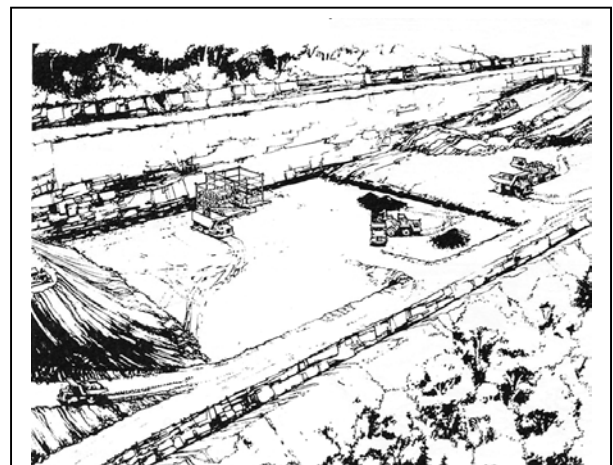
No obstante, hoy día es más frecuente observar que draga y planta son flotantes pero están separadas entre sí y conectadas por una tubería por medio de la cual la draga bombea el material extraído a la planta.

5.8. DISOLUCIÓN Y LIXIVIACIÓN

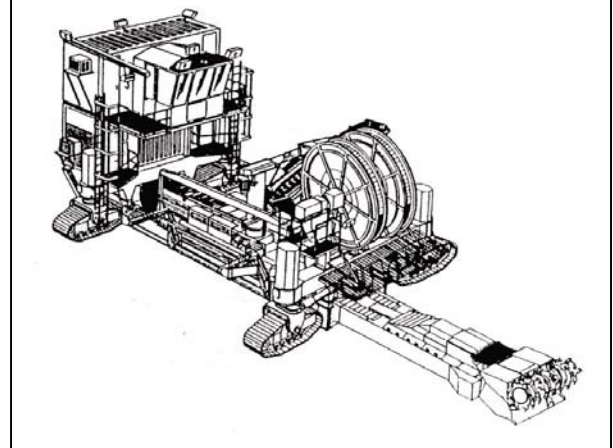
Algunos yacimientos de sales, como por ejemplo la glauberita, la thenardita, etc., se explotan procediendo primero a la descubierta del estéril superficial para después fragmentar el mineral mediante voladuras y, seguidamente, efectuar su disolución mediante la circulación de agua caliente, que es recuperada como una salmuera mediante un sistema de tuberías y bombas que la llevan hasta la planta de mineralurgia en la que se encuentran unos cristalizadores que permiten obtener el producto final.

Por su parte, la lixiviación consiste en la extracción química de los metales o minerales contenidos en un depósito. El proceso es fundamentalmente químico, pero puede ser también bacteriológico (ciertas bacterias aceleran las reacciones de lixiviación de metales sulfurosos). Si la extracción se realiza sin extraer el mineral, se habla entonces de "lixiviación in-

situ", mientras que si el mineral se arranca, transporta y deposita en un lugar adecuado, el método se denomina "lixiviación en heras" o "lixiviación en pilas" según corresponda. Una variante consiste en tratar el mineral, después de su molienda, en tanques que disponen de agitadores, conociéndose el procedimiento como "lixiviación dinámica"





Explotación por el método de "Auger Mining".



5.9. ESPECIALES O MIXTOS

Los métodos especiales o mixtos, se refieren a aquellas explotaciones que se llevan a cabo combinando labores de superficie con labores subterráneas, como es el caso de la denominada minería "auger", en la que después de haber efectuado la extracción parcial del mineral no explotable económicamente a cielo abierto mediante la utilización de equipos especiales que, situados en superficie, efectúan el arranque y transporte hasta el exterior.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 1 CLASIFICACIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO	Pág.: 10 de 10

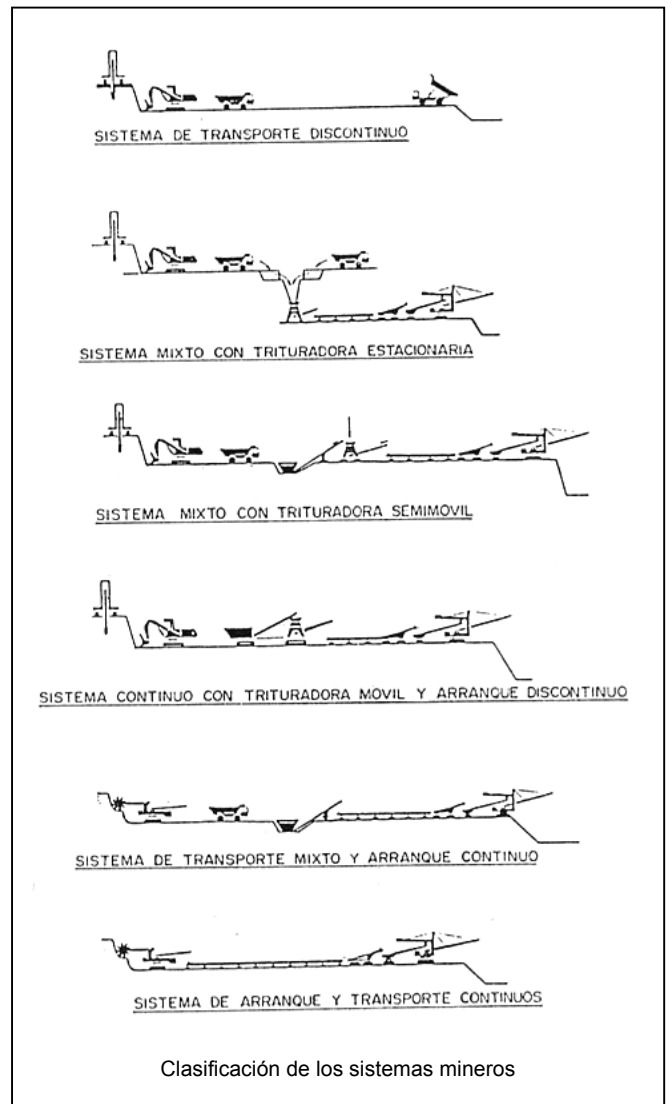
6. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ARRANQUE

Después de haber definido el método aplicable, es necesario establecer el sistema de explotación, que estará constituido por los diferentes equipos de arranque, carga y transporte.

Según la continuidad del ciclo básico, se diferencian los siguientes sistemas:

- Sistema totalmente discontinuo
- Sistema mixto con trituradora estacionaria dentro de la explotación
- Sistema mixto con trituradora semimóvil dentro de la explotación.
- Sistema continuo con trituradora móvil y arranque discontinuo
- Sistema de transporte mixto y arranque continuo
- Sistema de arranque y transporte continuos.

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



6.1. SISTEMA TOTALMENTE DISCONTINUO

La operación de arranque, con o sin voladura, se lleva a cabo con equipos discontinuos y el transporte se efectúa con volquetes mineros. Es, actualmente, el sistema más implantado debido a su gran flexibilidad y versatilidad.

6.2. SISTEMA MIXTO CON TRITURADORA ESTACIONARIA DENTRO DE LA EXPLOTACIÓN



Una parte de la operación se realiza con medios semejantes al sistema anterior, hasta una trituradora instalada dentro de la explotación, con la que se consigue una granulometría adecuada para efectuar desde ese punto el transporte continuo por cintas.

6.3. SISTEMA MIXTO CON TRITURADORA SEMIMÓVIL DENTRO DE LA EXPLOTACIÓN.

Conceptualmente es igual al sistema anterior, pero con mayor flexibilidad, ya que la trituradora puede cambiarse de emplazamiento cada cierto tiempo, invirtiendo en estos traslados varios días o semanas.

6.4. SISTEMA DE TRANSPORTE MIXTO Y ARRANQUE CONTINUO

Esta es una variante de la alternativa anterior, donde se ha sustituido el arranque discontinuo por una rotopala o equipo similar. Es un sistema poco

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSIMM	CAPÍTULO 1 CLASIFICACIÓN Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO	Pág.: 11 de 11

utilizado, aunque algunas minas lo aplican

6.5. SISTEMA CONTINUO CON TRITURADORA MÓVIL Y ARRANQUE DISCONTINUO

En este sistema se prescinde del transporte con volquete, ya que la trituradora móvil acompaña constantemente por el tajo al equipo de arranque y carga discontinuo.

6.6. SISTEMA DE ARRANQUE Y TRANSPORTE CONTINUOS.

Es, por excelencia, el sistema que aporta un mayor porcentaje de electrificación, ya que todas las unidades, excepto las auxiliares, van accionadas por motores eléctricos.

EXPLORACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Juan Herrera Herbert
Fernando Pla Ortiz de Urbina

OBJETIVOS DEL TEMA

1. Comprender como ha evolucionado el concepto de explotación de cantera.
2. Conocer como se entiende y se define hoy día una cantera y cual es la clasificación de las canteras en sectores en función del tipo de material explotado.
3. Saber qué son los áridos.
4. Saber a que se debe la importancia actual de los áridos.
5. Conocer como se clasifican los áridos y a qué responde, en términos generales, su clasificación.
6. Conocer la clasificación y tipología de las explotaciones de áridos.
7. Conocer las propiedades y características, así como las ventajas y los inconvenientes, de los siguientes tipos de explotaciones de áridos:
 - Canteras en terrenos horizontales.
 - Canteras en ladera.
 - Canteras subterráneas.
 - Supercanteras.
 - Graveras secas.
 - Graveras bajo lámina de agua.
 - Graveras con rebajamiento del nivel freático.





1. CONCEPTO DE EXPLOTACIÓN DE CANTERA. DEFINICIONES Y CARACTERÍSTICAS.

1.1. CONCEPCIÓN ANTIGUA Y TRADICIONAL DE LA CANTERA

Hasta hace relativamente pocos años, las explotaciones de cantera fueron explotaciones de escaso interés, dado que se consideraba que daban materiales de muy escaso valor económico, de los que había una enorme abundancia de yacimientos en todas partes, había pocos problemas de agotamiento de esos yacimientos y se exigían unos criterios de selección del material muy elementales.

El término “cantera” englobaba antiguamente a aquellas explotaciones superficiales que:

- Tenían un tamaño pequeño, una escasa tecnificación y bajas producciones,
- Tradicionalmente contaban con uno o dos bancos o de banco único de gran altura.
- Eran anárquicas en sus formas y planteamientos.
- Estaban destinadas a suministrar materiales

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSIMM	CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 2 de 2

abundantes de origen mineral y de escaso valor económico,

- Explotaban un yacimiento en el que existían pocos problemas de reservas, agotamiento o de selección del material por haber suficientes recursos a escala global o local
- El yacimiento tenía una calidad natural adecuada para las exigencias del mercado.

De hecho, eran explotaciones que podían satisfacer las necesidades locales de materiales de construcción sin mayores complicaciones, como lo prueba que la realización de cualquier proyecto nuevo, como podía ser la construcción de una nueva carretera, vía de ferrocarril, puerto, etc., suponía la localización y apertura de una nueva cantera (también llamada “préstamo” en el ámbito de la obra pública) con el fin de suministrar el material necesario para la obra.

Con respecto a su diseño, este limitó tradicionalmente (y desafortunadamente aún perviven algunos ejemplos) el número de bancos a uno sólo, habiéndose llegado a verdaderos extremos en este concepto por superar las alturas del mismo los límites razonables de seguridad y eficiencia. Por ello no es anormal encontrar cada vez más un mayor número de canteras con unos bancos de menor altura pero todavía próximos a los 20 m, para compensar con los menores costes de operación, el lógico encarecimiento que en capital supone la apertura de un nuevo banco. También se tiende a buscar en profundidad las reservas explotables para no ocupar mayor superficie de terreno que es más caro y difícil de restaurar.

Los materiales explotados se diferenciaban, a efectos estadísticos e incluso comerciales, entre los duros ya triturados y clasificados por la naturaleza, como las explotaciones de gravas y arenas de actuales ríos o, en su caso, paleocauces, de aquellos áridos producidos por la acción mecánica de trituradoras y clasificados por cribas, aunque esencialmente se tratara de un mismo producto. Aún hoy estos dos tipos de productos tienen todavía mercados diferenciados, aunque por razones de certificación y especificación técnica la distancia se va reduciendo.

1.2. DEFINICIÓN ACTUAL DEL CONCEPTO DE CANTERA



Actualmente, el concepto de cantera que se ha explicado en el apartado anterior está desapareciendo rápidamente motivado, por un lado, por las presiones sociales y ambientales y, por otro, por las crecientes especificaciones técnicas que debe cumplir el



material. Hoy día, en el sector de los áridos se está asistiendo a un cambio muy notable, en el que se ha pasado sin solución de continuidad de las mencionadas explotaciones casi totalmente anárquicas en sus formas y planteamientos y en las que bastaba con unas simples autorizaciones para iniciar los trabajos, a un cúmulo de exigencias técnicas, de calidad, medioambientales, sociales, etc., que obligan al cumplimiento simultáneo de múltiples requisitos en el planteamiento y el desarrollo de un proyecto por pequeño que sea.

La demanda de productos de cantera tiene, en general, una clara trayectoria ascendente función del crecimiento de la población y de la riqueza per cápita. Ya no es solo que las exigencias técnicas de la explotación se vean fuertemente incrementadas por las obligaciones ecológicas. Ahora, además, las diferentes Administraciones sienten la necesidad de contar con los informes favorables de un amplio número de Asociaciones, cuya oposición, muchas veces, no tiene gran justificación o solidez técnica, además de imponer el requisito de integrar las labores extractivas dentro de la política de ordenación del territorio para un teórico uso más racional de éste.

Como se ha indicado al principio, hasta hace relativamente poco tiempo, los áridos se consideraban como un recurso mineral y de escaso valor, razón por la cual las compañías mineras tradicionales no invertían en este sector. Sin embargo, la acelerada demanda de productos de cantera y las múltiples limitaciones, fundamentalmente de tipo ambiental, para la apertura de nuevas graveras y canteras, han hecho que estos materiales hayan pasado a tener un carácter agotable y, consecuentemente, a revalorizarse.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 3 de 3

Por otro lado, las especificaciones de los productos de cantera para materiales de construcción o, en su caso, de minerales industriales, son cada vez mayores y más difíciles de cumplir de forma natural por los propios yacimientos, con lo que se acude a cubrir este déficit en las plantas de tratamiento con sistemas que van incrementando su sofisticación. Las exigencias técnicas generales de la explotación se están viendo fuertemente incrementadas y existe una fuerte implantación de criterios de calidad de los productos y de garantía del cumplimiento de sus características y propiedades. En muchos países, y España no es una excepción, se está evidenciando la presencia de las corporaciones mineras internacionales en el sector de los áridos.

En el sector de la roca ornamental, se ha observado como la pujanza europea ha basado su internacionalización y crecimiento precisamente en la tecnificación y el mayor valor añadido obtenido a partir de los desarrollos tecnológicos y de calidad.

Son muchas las similitudes que existen entre los distintos tipos de empresas (áridos, minerales industriales y roca ornamental), la tecnología de explotación es parecida, la legislación minero – ambiental también y la rentabilidad de las inversiones es del mismo orden de magnitud. Pero sobre todo, es de la mano de las corporaciones que operan de forma global que se está viendo la implantación del desarrollo minero sostenible y, a partir de estas políticas, la introducción de recientes desarrollos tecnológicos y criterios de producción limpia.

No obstante, comparando los sectores de las canteras con otros ámbitos de la minería, todavía existen diferencias apreciables, como son el tamaño más reducido de las explotaciones, las menores inversiones iniciales y el menor riesgo, al margen del carácter todavía reducido fundamentalmente a ámbitos locales de los mercados de este tipo de productos, a pesar de su carácter crecientemente regional e internacional.

En España el sector de las canteras de áridos, de la roca ornamental y de los minerales industriales está sometido a fuertes presiones por parte de los organismos ambientales de las Administraciones Públicas derivadas, en muchos casos, de la falta de actuaciones de los explotadores en restauración de terrenos y por la ausencia de proyectos mineros y planificaciones bien elaboradas y ejecutadas. El sector presenta una fuerte atomización y dispersión de explotaciones y los profesionales que trabajan en este sector demandan cada vez una mayor formación para potenciar el desarrollo en los aspectos económicos, de seguridad en los trabajos y de conservación medioambiental.

A modo de conclusión, puede afirmarse sin riesgo a equivocarse, que se trata de una industria en transición.

1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE EXPLOTACIONES DE CANTERA

En línea con lo que se ha comentado en el apartado anterior, haciendo una clasificación muy elemental del conjunto de explotaciones de cantera, esta permitiría distinguir:



- Las canteras de áridos (Zahorras, rellenos, escolleras, asfaltos, hormigones, etc), incluyéndose también en este grupo a las graveras.
- Las canteras de roca ornamental (Pizarras, Granitos, Mármoles, etc).
- Las canteras de rocas y minerales industriales (Cementos, ladrillería, cerámica y vidrio, etc).



2. DEFINICIÓN DE ÁRIDOS

Las sustancias denominadas “áridos de construcción” pueden definirse como los materiales que cumplen las siguientes condiciones:

- Ser materiales minerales,
- De origen natural o artificial
- De carácter sólidos y además inertes
- Dimensionados en las granulometrías y formas adecuadas,
- Utilizados, mediante su mezcla íntima con aglomerantes de activación hidráulica (cales, cementos, etc.) o con ligantes bituminosos, para la fabricación de:

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSIMM	CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 4 de 4

- Hormigones.
- Productos artificiales resistentes.
- Aglomerados asfálticos.
- Zahorras para la construcción de bases y subbases granulares, bases estabilizadas, etc. en construcción de obras de infraestructura).
- Balastos, Sub-balastos y gravillas de las vías de ferrocarril.
- Escollera como elemento de protección frente a la erosión marina, fluvial o eólica.

- Rellenos de diverso tipo.
- Materias primas para la industria:
 - Cemento y yesos,
 - Arenas para filtros, moldes
 - Cargas para fabricación de pinturas, papel, micronizados, etc.

3. IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LOS ÁRIDOS

El consumo de áridos está íntimamente relacionado con el desarrollo socioeconómico de cada país y, consecuentemente, con la calidad de vida alcanzada en la sociedad.



Los áridos suponen hasta un 50% de la producción minera mundial, a pesar de que, su dispersión y minifundio no permita conocer con buena precisión las producciones. Tan solo en España existen más de 3.000 canteras, si bien van parándose a una media de 100 por año y cada vez es más difícil abrir una nueva.

Las explotaciones continúan teniendo un tamaño reducido, pero requieren inversiones cada vez más fuertes. En general, se caracterizan por un pequeño volumen anual de extracción (entre 500.000 y 1.000.000 t/año), salvo en el caso de las canteras de calizas para la fabricación de cementos y de áridos para abastecer las grandes aglomeraciones urbanas. Su valor medio de venta es, en general, inferior a los 10 Euros/t., con la lógica excepción de aquellas rocas ornamentales (mármoles, pizarras, granitos, areniscas, etc) cuyo valor estético supera con mucho al industrial. A mayor exigencia de calidad del producto el precio compensa la mayor preparación necesaria en la planta. La tecnología en las explotaciones ha ido progresando rápidamente a medida que tenían que abaratar los costos, competir, aumentar su producción y controlar la calidad.

El mercado ha pasado de tener un carácter local a ser regional e incluso internacional. Se observa pues una



transformación del producto en un “Commodity” capaz de viajar e incluso de cruzar el océano, siempre que la calidad del producto pueda compensar el mayor costo del transporte. Como ejemplos, podemos citar las actuales exportaciones de áridos desde Irlanda y Escocia hacia los EE.UU., las de Suiza y Francia hacia Holanda, o el caso de Venezuela, que exporta escollera a la zona del golfo de EE.UU.

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSIMM	CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 5 de 5



Actualmente es, y es presumible que continúe siendo, un negocio de escaso riesgo.

4. CLASIFICACIÓN CONCEPTUAL Y DENOMINACIONES



4.1. CLASIFICACIÓN EN CUANTO A ORIGEN Y NATURALEZA

Según su procedencia y proceso de obtención, se establece la siguiente clasificación:

- Áridos naturales.
- Áridos artificiales.
- Áridos reciclados.
- Áridos ligeros.
- Asimilados a áridos.

I. Áridos naturales

- Áridos granulares, obtenidos básicamente de graveras y donde el material extraído se usa tras haber sufrido un lavado y una clasificación.
- Áridos de machaqueo, obtenidos a partir de la trituración, molienda y clasificación de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los áridos granulares.

II. Áridos artificiales

Constituidos por subproductos o residuos de procesos industriales, como son las escorias siderúrgicas, las cenizas volantes de la combustión del carbón, estériles mineros, etc.



III. Áridos reciclados

Procedentes de materiales de demolición y derribo de edificaciones (hormigones, cerámicos, etc.) y/o de estructuras de firmes antiguos, etc.

IV. Áridos ligeros

Productos naturales o artificiales que se usan para la obtención de piezas o elementos de obra de bajo peso y/o aislantes.

V. Asimilados a áridos:

Se distinguirán en este caso:



- Materiales de préstamo, utilizables sin modificación de sus características naturales o con pequeñas modificaciones de adición de productos estabilizantes o tratamientos mecánicos en la construcción de terraplenes y pedraplenes fundamentalmente.
- Materiales de escollera, natural o artificial, constituido por bloques de formas y características variables en función de las condiciones y especificaciones de la obra.

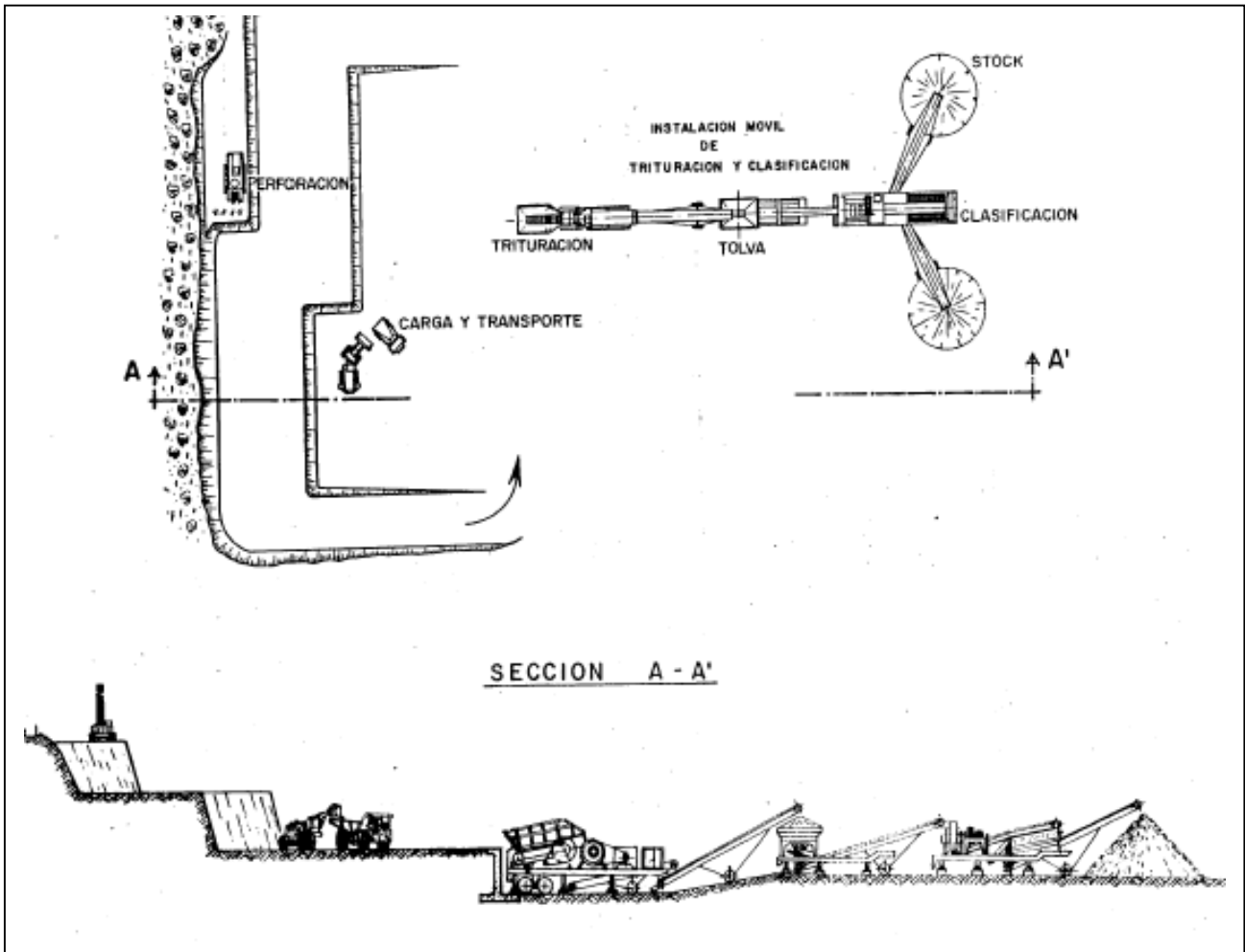
4.2. CLASIFICACIÓN Y DENOMINACIONES POR SU TAMAÑO

Su clasificación y su valor económico viene condicionado por la granulometría, que en general se denomina de acuerdo con la siguiente tabla:

Nombre	Tamaño en mm
Escollera	> 200
Cantos gruesos	100 - 200
Cantos medios	20 - 100
Grava	2 - 20
Arena	0,02 - 2
Limo	0,002 - 0,02
Arcilla	< 0,002



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 7 de 7



5. TIPOLOGÍA DE LAS EXPLOTACIONES

CANTERAS:

Se reserva el término cantera a aquellas explotaciones donde los materiales beneficiables se extraen de un macizo rocoso, generalmente competente.

- Canteras en terrenos horizontales:
- Canteras en ladera
- "Superquarries" (Supercanteras)
- Canteras subterráneas



GRAVERAS:

Se denominan así a aquellas explotaciones de áridos naturales granulares y se distinguirán:

- Graveras secas
- Graveras con explotación bajo lámina de agua
- Graveras con rebajamiento del nivel freático

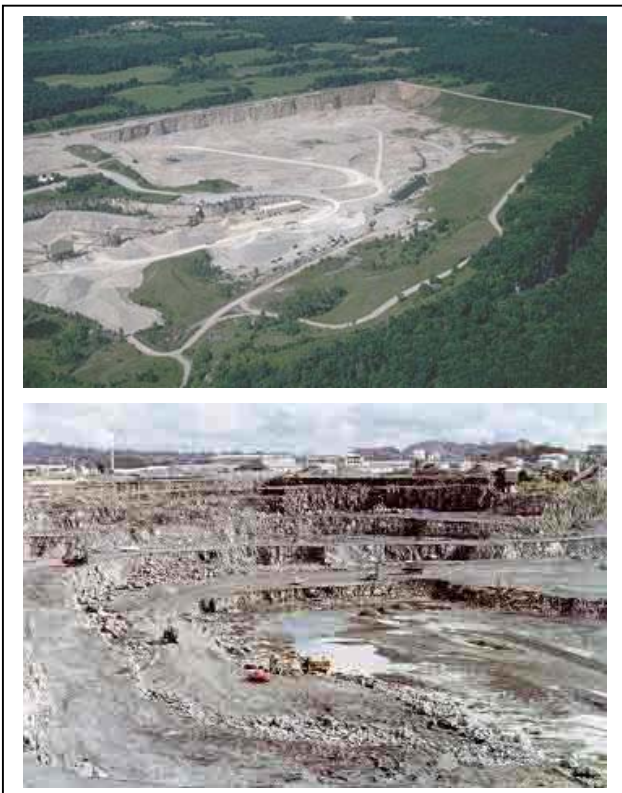
Para los materiales procedentes de las graveras se aplicarán unos sistemas de arranque directo cada día más parecidos a los de la minería hidráulica como el empleo de dragas flotantes (poco extendidas en España) o de dragalinas. Para los materiales de cantera, las técnicas de perforación y voladura, como arranque, y de carga con palas sobre volquetes son comparables con las cortas, si bien se tiende al uso de plantas de trituración móviles en el propio banco de explotación que seguirán la carga para abaratar el costo operativo y permitir una homogeneización en montones exteriores o en tolvas de clasificación.

Para los materiales finos y arcillosos el arranque puede ser directo al tener una resistencia a la compresión, en general, inferior a los 100 Kg./cm² y cabe el empleo de unos sistemas continuos de explotación parecidos a las descubiertas, con la posibilidad por tanto de efectuar una buena restauración del terreno tras la extracción del árido o arcilla.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 8 de 8

6. CANTERAS EN TERRENOS HORIZONTALES

Las labores se inician en forma de trinchera, hasta alcanzar la profundidad del primer nivel, ensanchándose a continuación el hueco creado.



La ampliación del hueco en superficie puede compaginarse con la profundización, compensándose distancias de acarreo.

Inconvenientes:

- Fundamentalmente la necesidad de efectuar el transporte de materiales contra pendiente.
- Mayores costes en el dimensionamiento adecuado de los sistemas de drenaje y bombeo para mantener seca la explotación.

Ventajas:

- Una vez excavado un hueco con las suficientes dimensiones, es posible instalar la planta de tratamiento dentro del mismo, consiguiéndose un menor impacto y una menor ocupación de terrenos.

- Permiten proyectar la pista general de transporte en una posición que no tenga que moverse en mucho tiempo.
- Permiten la instalación de un sistema de cintas transportadoras.





7. CANTERAS EN LADERA

Estas explotaciones son las más numerosas y se caracterizan por un gran número de bancos, aunque hasta hace pocos años la tendencia era trabajar con pocos bancos muy altos.

Según la dirección de los trabajos de excavación, pueden distinguirse las siguientes alternativas:

- **Avance frontal y frente de trabajo de altura creciente:**
 - Es la alternativa más frecuente por la facilidad de apertura de las canteras y a la mínima distancia de transporte inicial



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 9 de 9

hasta la planta de tratamiento.

- El frente de trabajo está siempre activo, salvo en alguna pequeña zona.
- El frente es progresivamente más alto, por lo que es inviable proceder a la restauración de los taludes hasta que no finalice la explotación.

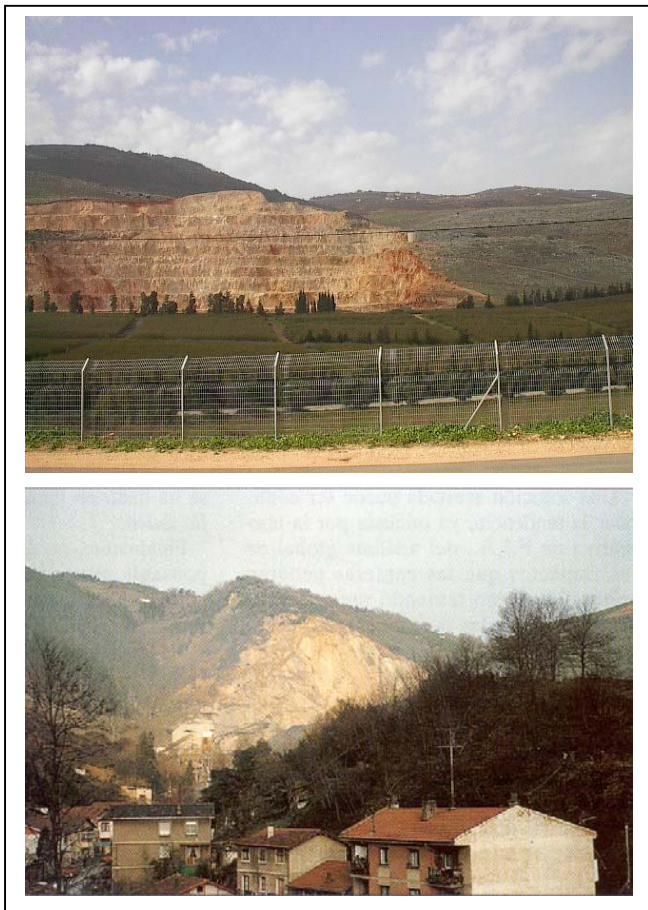
▪ **Excavación descendente y abandono del talud final en bancos altos:**

- Permite iniciar la restauración con antelación y desde los bancos superiores hasta los de menor cota.
- Requieren una definición previa del talud final y, consecuentemente, un proyecto a largo plazo.
- Exigen constituir toda la infraestructura viaria para acceder a los niveles superiores desde el principio y obliga a

una mayor distancia de transporte en los primeros años de la cantera

▪ **Avance lateral y abandono del talud final:**



- Se puede llevar a cabo cuando la cantera tiene un desarrollo transversal reducido, profundizándose poco en la ladera, pero con un avance lateral amplio.
- Permite recuperar taludes finales una vez excavado el hueco inicial, así como efectuar rellenos parciales
- Permite mantener de forma constante la distancia de transporte siempre que la



instalación se encuentre en el centro de la corrida de la cantera.

▪ **Excavación troncocónica con pérdida de macizo de protección.**

En todas las variantes mencionadas los sistemas mineros suelen ser discontinuos, ya que por su mayor flexibilidad se adaptan mejor a las condiciones cambiantes que se presentan a lo largo de la vida de las canteras.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 10 de 10

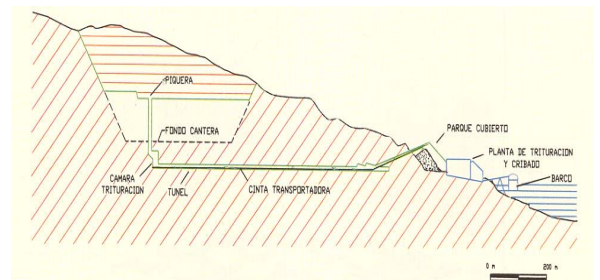
8. “SUPERQUARRIES” (SUPERCANTERAS)

Tienen su origen en la estrategia de algunas compañías de áridos en reducir costes y evitar los inconvenientes de la tramitación de apertura de nuevas explotaciones. Su fundamento se asienta en los siguientes principios básicos:

- Localización de un yacimiento suficientemente grande y con materiales de la adecuada calidad.
- Entorno natural de baja calidad para originar el menor impacto ambiental.
- Ritmos de producción de entre 5 y 20 Mt/año para aprovechar los efectos de las economías de escala en los costes de operación.
- Proximidad a vías de comunicación terrestres o marítimas.
- Inversiones específicas de entre 5 y 8 Euros/t de capacidad año
- Mayor eficiencia y control de las operaciones, que se traducen en altos rendimientos.
- Mayor eficiencia y control de las operaciones, que se traducen en altos rendimientos.
- Utilización del método de “corta”, con arranque por perforación y voladura, trituración dentro de la misma corta con equipos móviles y semimóviles y extracción por banda transportadora a través de túneles hasta la planta.
- Obliga al abandono de reservas y a la realización de labores subterráneas, pero permite un menor impacto ambiental.
- Las profundidades proyectadas llegan a superar los 200 m, por lo que es posible plantear dos secuencias de avance:
 - La primera consiste en explotar desde los bancos más altos a los más bajos, pero cada vez un nivel en toda su extensión y llevándolo hasta la situación de talud final
 - La segunda consiste en configurar varios bancos con vistas a aprovechar el descenso por gravedad y reducir el número de pistas a construir y conservación de las mismas.



Vista panorámica de la Supercantera de Glemsanda (Escocia)





Método de explotación utilizado en la cantera de Glemsanda

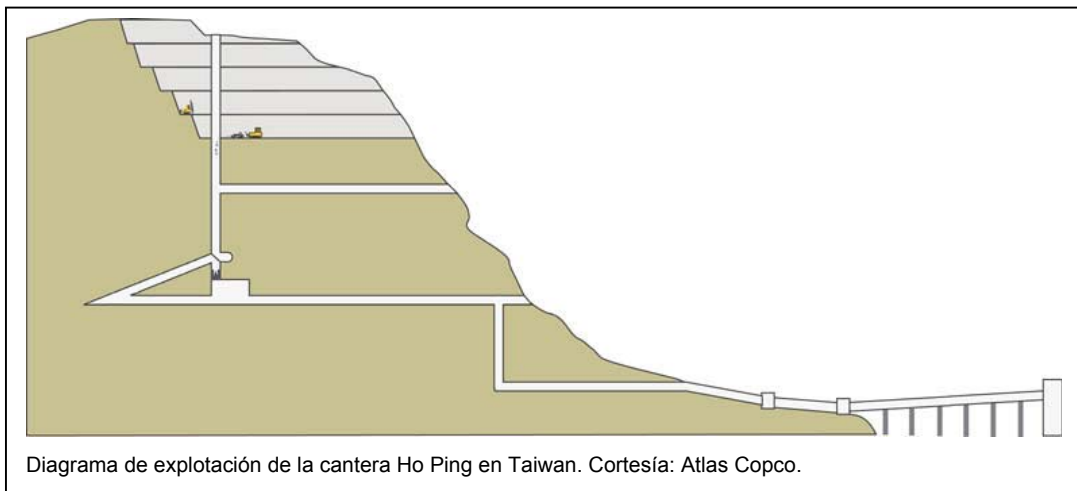


Vista de los frentes de producción



Vista de los muelles de embarque de los áridos para su transporte a los puertos de destino.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 11 de 11



9. CANTERAS SUBTERRÁNEAS

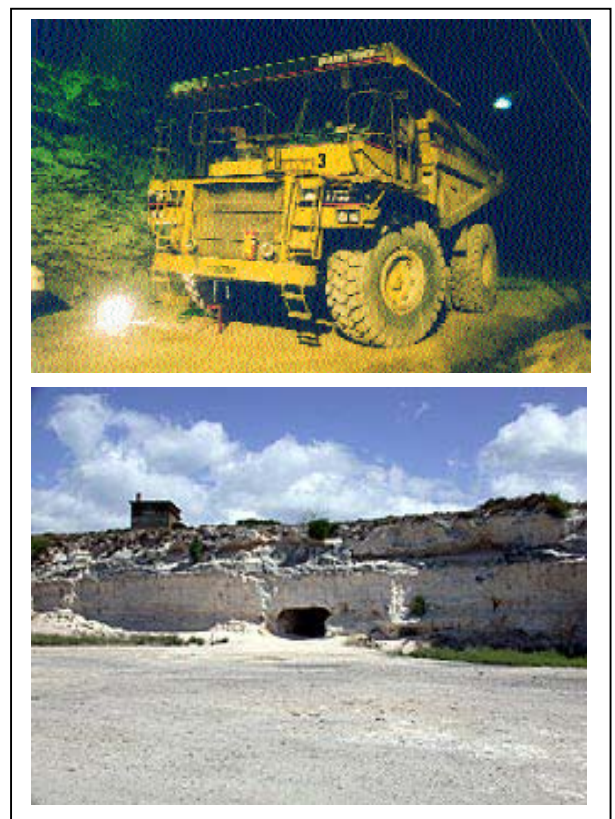
Este tipo de explotaciones se constituyen en una alternativa a tener en cuenta, debido a su mayor coste, solamente en casos especiales:

- Escasez de recursos geológicos
- El estéril de recubrimiento del yacimiento crece
- Existencia de importantes restricciones ambientales



En el umbral económico de viabilidad debe considerarse el posible beneficio derivado del aprovechamiento de los huecos subterráneos.

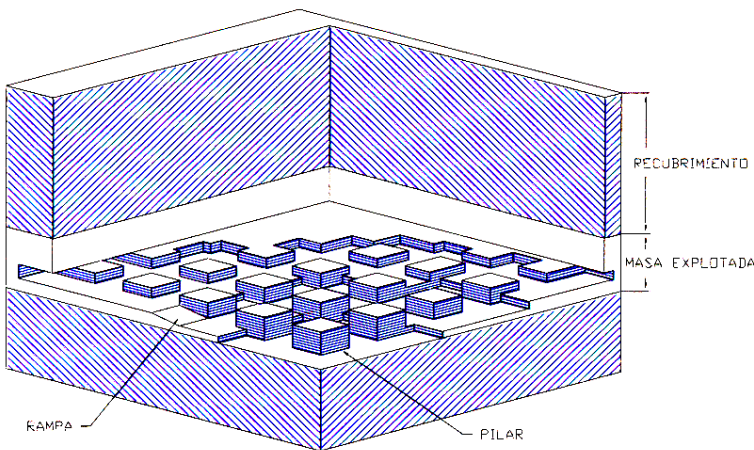
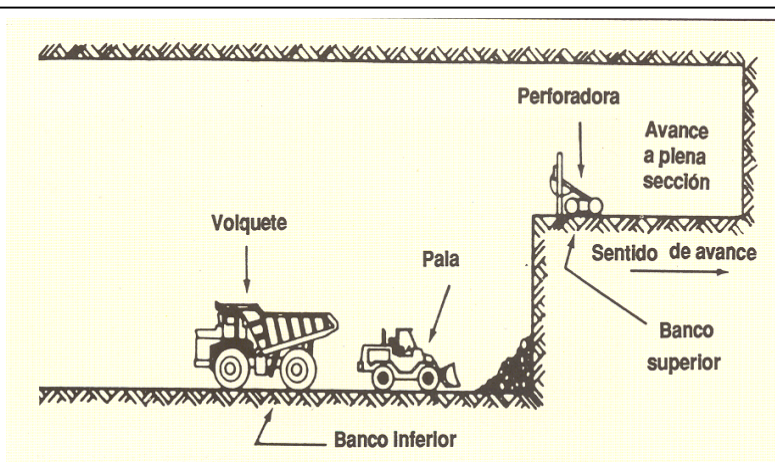
El proyecto de una cantera subterránea deberá prestar atención a los siguientes apartados:

- Métodos de explotación:
 - Depende de la morfología, potencia e inclinación, características geométricas de hastiales y masa explotable, costes de arranque, infraestructura, características de la roca, etc.
 - Es frecuente la utilización del método de cámaras y pilares gracias a las buenas características geomecánicas de las formaciones que en general se usan para la trituración y obtención de áridos.
- Equipos mineros, siendo en muchos casos muy similares a los de superficie, fundamentalmente debido a las ventajas de la estandarización de repuestos con otras canteras a cielo abierto, proporcionalmente un menor coste de inversión, mayor experiencia



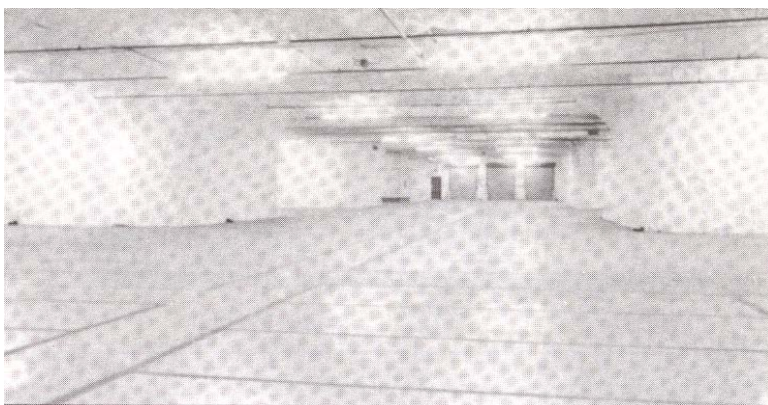
en el manejo y el mantenimiento de la maquinaria, mayor disponibilidad de los equipos empleados, mayor capacidad de producción por unidad de capital invertido, etc.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 12 de 12





Arriba: Método de explotación de algunas canteras subterráneas, por cámaras y pilares y aprovechamiento de maquinaria de cielo abierto debidamente acondicionadas.

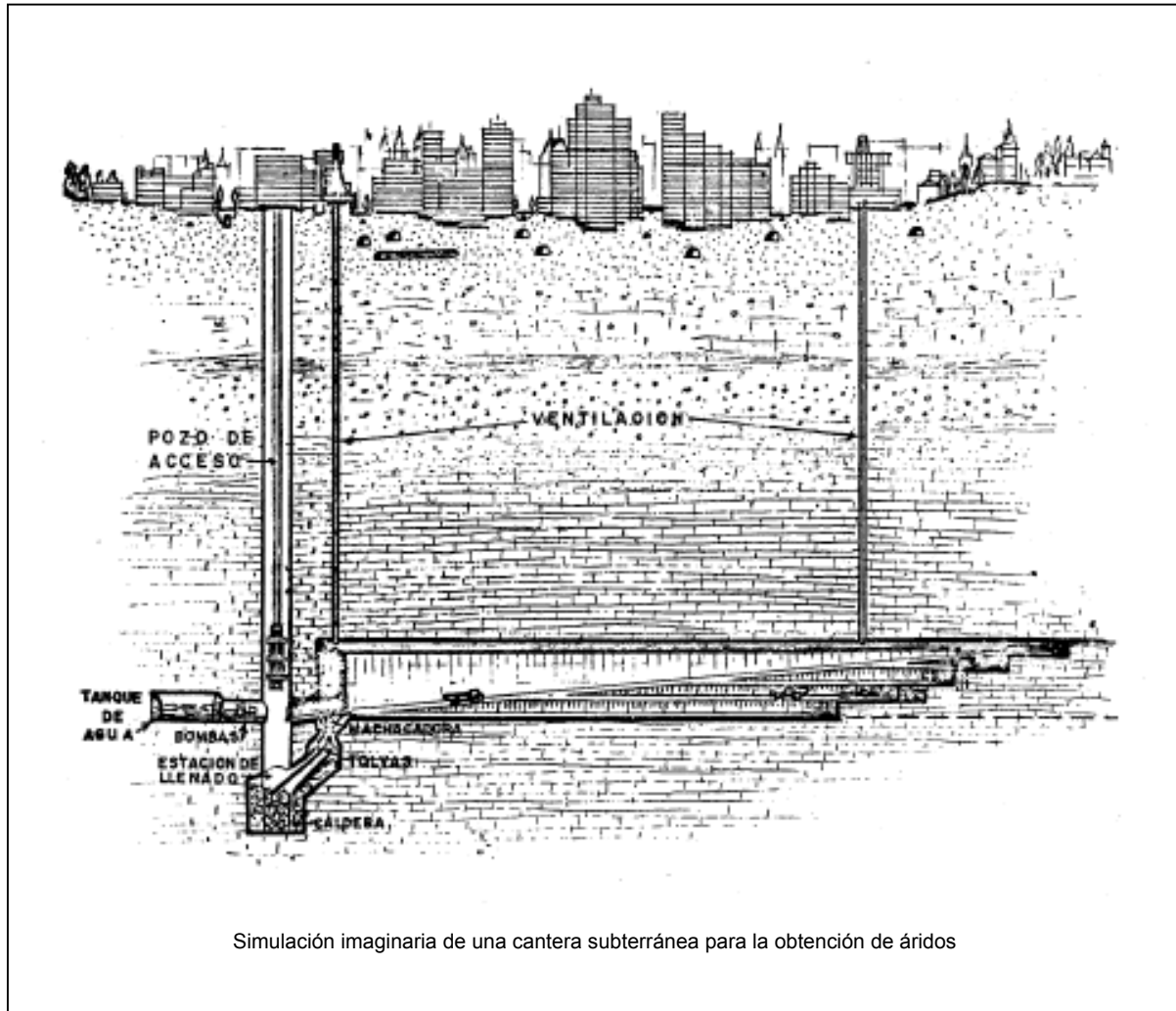
Abajo: Ejemplo de aprovechamiento del hueco excavado mediante la construcción de un estacionamiento subterráneo a la conclusión de las labores de explotación.



- Accesos a la cantera, que son fundamentalmente mediante túneles o rampas. Los pozos prácticamente no se utilizan por su alto coste de inversión y de desarrollo, aunque existen algunos casos conocidos con este último tipo de infraestructura, como el representado en la figura de una gran metrópolis norteamericana.
- Técnicas de sostenimiento (colocación de bulones, cables de anclaje, pletinas bulonadas, gunitado, etc.) dependen de las características de la roca y del adecuado dimensionamiento de los pilares. Suponen un coste adicional que, en muchos casos es muy importante.
- Ventilación, que en algunos casos es natural, debe estar adecuadamente dimensionada para la rápida evacuación de humos y gases generados por el funcionamiento de los equipos mecánicos y las voladuras.
- Evaluación de las posibilidades de aprovechamiento y usos del espacio subterráneo creado, cuya consideración puede ayudar a compensar los mayores gastos de producción y completar los proyectos mineros con usos más racionales. Generalmente, las cavidades abiertas presentan como características más significativas una temperatura prácticamente constante a lo largo de todo el año, una localización próxima o bajo áreas densamente pobladas y con un valor económico del suelo considerablemente alto, un reducido caudal de aguas subterráneas cuando los macizos poseen discontinuidades, etc. Por ello, muchas canteras subterráneas están siendo aprovechadas con finalidades tan diversas como el almacenamiento de sustancias peligrosas, la construcción de



aparcamientos, talleres, almacenes, oficinas, etc.

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSIMM	CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 13 de 13



Finalmente, en algunos casos pero también es verdad que cada vez más frecuentemente, es posible que en la necesaria evaluación global del proyecto, entre en consideración el paso de las rocas y áridos a ser considerados una sustancia mineral (Commodity) capaz de viajar e incluso de cruzar el océano siempre que la calidad del producto pueda compensar el mayor costo del transporte.

Este es el caso de las actuales exportaciones de áridos desde Irlanda y Escocia hacia los EE.UU. o de Suiza y Francia hacia Holanda, y de Venezuela que exporta escollera a la zona del golfo de EE.UU. como ya se ha indicado antes

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 14 de 14

10. GRAVERAS SECAS

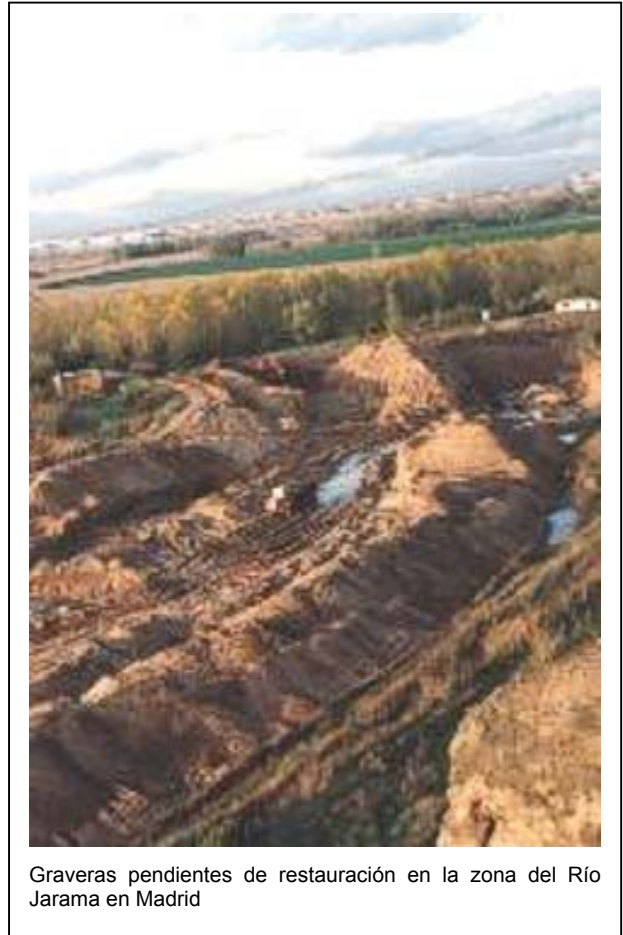
Consisten en excavaciones tridimensionales hasta alcanzar el fondo previsto o lecho del depósito de gravas y arenas. Estas explotaciones se localizan en las terrazas altas de los depósitos fluviales y se trabaja siempre por encima del nivel del río o, en su caso, del nivel freático.

Según la profundidad, el avance se realiza con un frente único o escalonado en varios bancos.

La maquinaria empleada es típica de cualquier explotación a cielo abierto, siendo lo habitual las retroexcavadoras o las palas cargadoras sobre ruedas, ya que son máquinas que presentan la ventaja



de una mayor accesibilidad visual de los materiales que se extraen y unas mejores condiciones de trabajo de los equipos mineros.





11. GRAVERAS CON EXPLOTACIÓN BAJO LÁMINA DE AGUA

En estas explotaciones el nivel freático se encuentra muy próximo a la superficie o a una cierta profundidad cuando el paquete productivo es de gran potencia. Por ello, la extracción se realiza total o parcialmente bajo el agua.

En la mayoría de los casos se lleva un solo banco con una altura igual a la de la profundidad del hueco inundado. Solo cuando la parte alta del depósito se encuentra seca, la extracción se hace con un método mixto, pudiendo emplearse equipos distintos en cada zona. Los más comunes son dragalinas, cucharas de arrastre y retroexcavadoras.

El principal inconveniente está en la falta de visión sobre los materiales que se extraen y, consecuentemente, las pérdidas o la contaminación de estos materiales por arcillas o limos. Este método presupone que prácticamente todos los terrenos afectados van a ser abandonados como lagunas, llegándose a rellenar parcialmente algunas zonas.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 15 de 15



Vista de una gravera en producción.



Vista de una dragalina utilizada en una explotación de gravera



Vista de una zona explotada por una gravera. En primer plano, se puede ver una zona ya restaurada después de su explotación. Al fondo, se observa la continuidad de las labores de producción.

12. GRAVERAS CON REBAJAMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO

El método se basa en la depresión del nivel freático mediante:

- Conjunto de pozos de bombeo perimetrales al área de explotación
- Red de zanjas excavadas por debajo del nivel de extracción
- Pantallas de impermeabilización

En cualquier caso, requiere disponer y mantener un equipo permanente de bombas para mantener el nivel de agua a la altura deseada.

La cantidad de agua que es preciso bombear puede llegar a ser notable debido a la alta conductividad hidráulica y radios de influencia de varios cientos o miles de metros.

Ventajas



Entre las ventajas de este tipo de explotaciones se encuentran:

- Mejores condiciones de trabajo de los equipos convencionales de extracción al estar el material drenado
- Mayor precisión en la extracción al poderse ver el contacto entre materiales de diferentes características.
- Mejor aprovechamiento del depósito al poderse observar el fondo del yacimiento.

Inconvenientes

Entre los inconvenientes de este tipo de graveras se encuentran:

- La inversión en equipos de bombeo y red de captación de agua, zanjas y pozos.
- El coste de extracción del agua durante la operación.
- Los problemas de vertido y de control de un gran caudal de agua a un cauce próximo o a huecos excavados anteriormente, que pueden requerir un tratamiento de las aguas y

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSIMM	CAPÍTULO 2 EXPLOTACIONES DE CANTERA PARA ÁRIDOS Y OTROS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	Pág.: 16 de 16

presentar el riesgo de retorno del agua hacia el área de trabajo por filtración a través del propio acuífero.

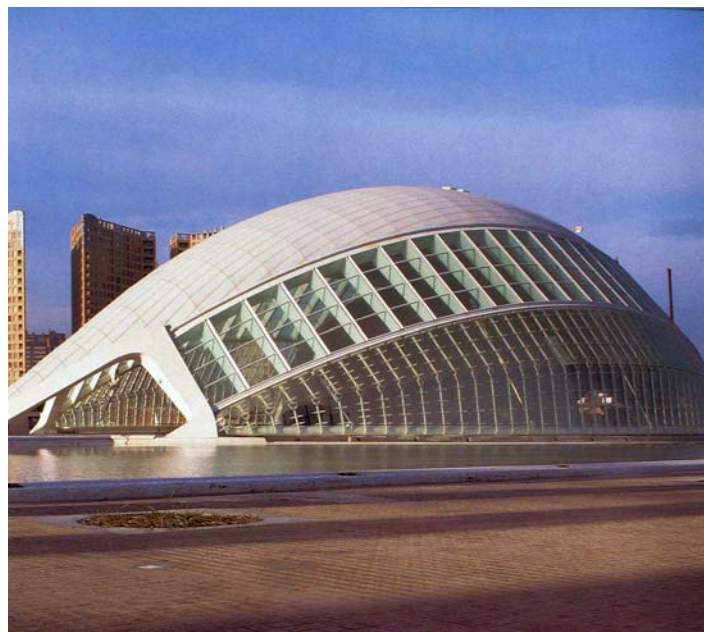
- Riesgo de retorno del agua hacia el área de trabajo por filtración a través del propio acuífero.

EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE

Juan Herrera Herbert
Fernando Plá Ortiz de Urbina

OBJETIVOS DEL TEMA

1. Saber qué son las rocas ornamentales y las razones de su interés desde el punto de vista minero.
2. Conocer los distintos tipos de rocas ornamentales.
3. Conocer las características singulares del sector de la roca ornamental.
4. Conocer las claves de la competitividad del sector de las rocas ornamentales.
5. Saber y comprender como se debe llevar a cabo una correcta investigación de yacimientos de rocas ornamentales y en qué se diferencian del resto de las actividades de exploración e investigación.
6. Saber como se clasifican los distintos tipos de explotaciones de rocas ornamentales.
7. Conocer como es la secuencia general de extracción de bloques.
8. Conocer la clasificación de las técnicas de corte disponibles actualmente.
9. Conocer los fundamentos, el campo de aplicación, las máquinas utilizadas, las prácticas operativas, las ventajas y los inconvenientes, de las siguientes técnicas:
 - El Método Finlandés.
 - El corte con hilo diamantado.
 - El corte con rozadoras de brazo.
 - El corte con disco.
 - El corte con chorro de agua.
 - El corte con cuñas manuales e hidráulicas.
 - La lanza térmica.
10. Conocer la clasificación de las posibilidades de aplicación de las distintas técnicas en función del tipo de roca.





Fachada de la Ciudad de las Artes y de las Ciencias de Valencia, recubierta con Granito de Extremadura.

1. LA ROCA ORNAMENTAL

Las Rocas Ornamentales son un grupo especial de la Piedra Natural que adquieren un mayor interés comercial y económico debido a:

- Su vistosidad
- Belleza
- Características físico-mecánicas (textura, durabilidad, etc.).
- Aptitud para el pulido (salvo en el caso de la pizarra donde se considera la aptitud al lajado).

Gracias a esas propiedades y a su atractivo, constituyen la materia prima de una industria que, después de un proceso de elaboración, permite su comercialización y utilización en aplicaciones tan

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 2 de 2

variadas como son:

- Materiales nobles de construcción
- Materia prima de trabajos de cantería
- Elementos de ornamentación
- Arte funerario y escultórico
- Objetos artísticos y variados
- Proyectos urbanos que siguen tradiciones locales

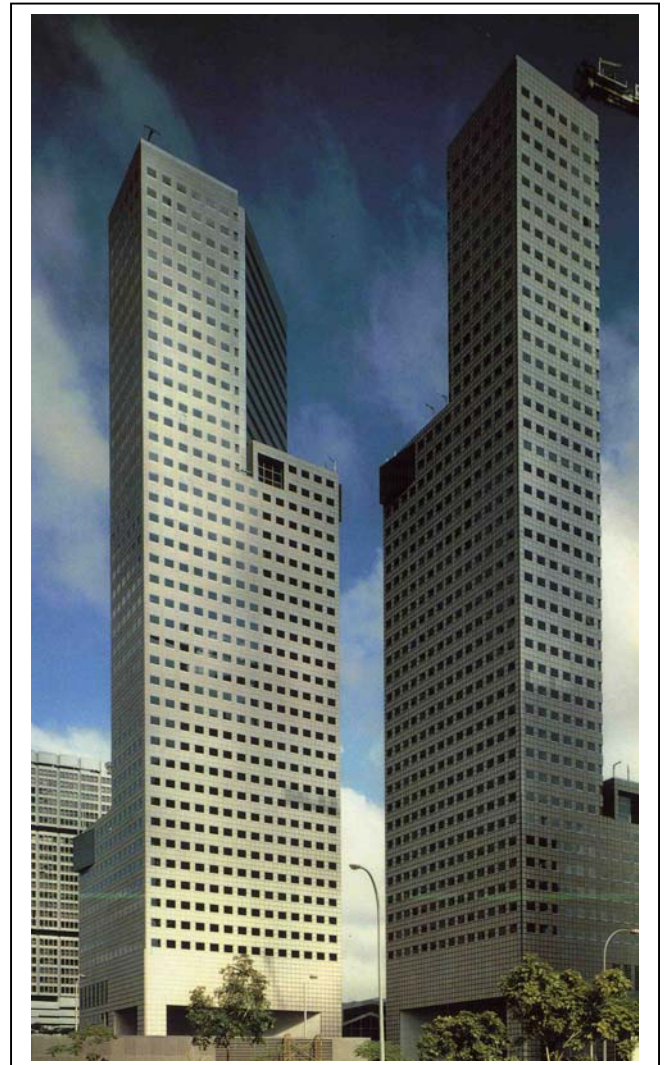
2. TIPOS DE ROCA ORNAMENTAL

La división comercial más comúnmente aceptada en la industria española de la roca ornamental se hace atendiendo a su dureza o resistencia al corte y cizalladura y a sus aplicaciones:

- Grupo de las pizarras. Está constituido por materiales relativamente blandos, cuya génesis ha sido sedimentaria, evaporítica y en algún caso metamórfica, pero en general con unas resistencias a la compresión menores de 400 kg/cm^2 (40 MPa).
- Grupo de los mármoles, calizas marmóreas y similares. Se trata de materiales de origen mayoritariamente metamórfico o, en algún caso, ígneo alterado y con unas resistencias inferiores a los $1\ 000 \text{ kg/cm}^2$ y superiores a los 400 Kg/cm^2 .
- Grupo de los granitos y similares. Está constituido por granitos poco alterados, pórfidos, dioritas, sienitas, gabros, dunitas, etc., en general rocas de un origen ígneo, y con unas resistencias que pueden ser superiores a los $2\ 000 \text{ kg/cm}^2$ (200 MPa).
- Otras piedras (areniscas, cuarcitas, calizas fosilíferas y travertínicas, serpentinitas, alabastros, etc.).

Esta clasificación no es estricta y puede variar según la importancia de las piedras naturales de cada país. En las estadísticas más actualizadas empieza a configurarse otro grupo llamado "Piedras de Cantería", constituido por otros materiales como Alabastro, Areniscas, Cuarcitas y otras. También sucede que, por ejemplo, en Canarias el Basalto es una piedra lógicamente abundante y muy empleada en la construcción de los edificios nobles.

Otro ejemplo sería el de Noruega, donde los esquistos y las cuarcitas forman un sector diferenciado.





3. CARACTERÍSTICAS SINGULARES DEL SECTOR

La extracción y comercialización de rocas ornamentales presenta una notable y creciente importancia en el sector minero y europeo. Casi la mitad de la producción mundial se extrae en cuatro países europeos: Italia, España, Grecia y Portugal.

España es el segundo productor mundial después de Italia en producción anual. Por productos, es:

- Primer productor del mundo en pizarras
- Segundo productor del mundo en mármol
- Cuarto productor del mundo en granitos

Buena parte de las razones están en los continuos avances tecnológicos, que han permitido el uso de unos sistemas más racionales y sofisticados de

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 3 de 3

arranque con el objetivo de lograr unos incrementos en la capacidad y en la calidad del arranque, así como con el logro de unos costes, cada vez más competitivos, todo lo cual ha hecho posible un gran avance de este sector en la segunda mitad de la década de los 90.

El sector experimentó un fuerte crecimiento en el periodo 1982 - 1992 ligado a un importante volumen de la edificación, seguida de una crisis entre 1992 y 1994 motivada por una reducción de la demanda, una reducción de las producciones y un ajuste de precios, que incrementó la competitividad de las empresas.

Países como Brasil, India, Corea y China han adquirido una importancia creciente en los mercados internacionales al concentrar el mayor número de nuevas compañías, basando su competitividad en que son países en vías de desarrollo y de nueva

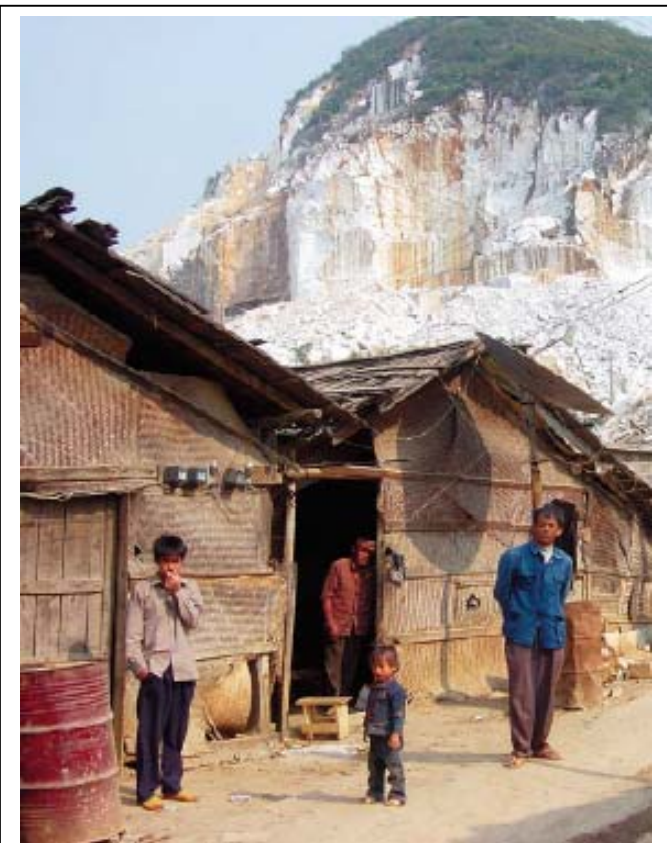
industrialización, con bajos costes salariales, amplios recursos naturales disponibles y una fuerte necesidad de divisas para sus economías.

En paralelo con las anteriores consideraciones, la tendencia actual en la mejora de los sistemas de arranque se ha orientado hacia una modificación del concepto clásico de la actividad que implicaba el concurso de un elevado número de artesanos en la cantera, mediante su sustitución por máquinas y una mayor participación en las actividades complementarias, como son una mayor elaboración y una gran diversificación de los productos obtenidos a partir de las rocas extraídas en la cantera, e incluso en el aprovechamiento de los residuos. El sistema de arranque ha pasado, cada día, a ser más mecanizado y automatizado e incluso robotizado, con un producto final más preciso y preparado para las siguientes fases del proceso. La precisión es la palabra que mejor define la tecnología actual de corte y elaboración para todas las fases del proceso, tanto de arranque como de elaboración posterior del producto final en las plantas.



4. CLAVES DE LA COMPETITIVIDAD DEL SECTOR DE LAS ROCAS ORNAMENTALES

La mayor competitividad actual de las empresas europeas está basada en:

- La mejora tecnológica de los procesos y productos
- Un mayor tamaño de las empresas
- Una mejora de la calidad en términos de calidad total (gestión, producto, servicio, medio ambiente, etc.)
- Una oferta centrada en productos de calidad, y de mayor valor añadido y prestigio
- Una formación especializada
- Una importante capitalización de las empresas
- Un aumento de la promoción comercial
- Una intensa actividad de I + D y desarrollo de "know how"
- Una agresiva y bien planteada internacionalización



En el año 2003, la Federación de la Piedra publicó un estudio sobre los efectos negativos de la invasión del granito chino en España y la Unión Europea, que está llegando a unos precios con los que los costes de una industria desarrollada no puede competir. Las inversiones para el desarrollo industrial, derivados de una fuerte regulación medioambiental, una importante tecnificación y desarrollo en los procesos de transformación, hacen muy difícil competir con los precios de China, una industria en la que las empresas están libres de regulaciones medioambientales, normativas de seguridad laboral, escasamente tecnificadas y con una mano de obra cuantiosísima y a precios enormemente bajos (Cortesía Federación de la Piedra).

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSIMM	CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 4 de 4

- Un todavía tímido apoyo de las Administraciones Públicas.

- Alterabilidad potencial
- Viabilidad de la explotación minera
- Selección de áreas de interés para la siguiente fase de investigación.

5. INVESTIGACIÓN DE YACIMIENTOS

La metodología que habitualmente se aplica en la investigación de yacimientos de roca ornamental es singular y se caracteriza por ser aplicada a todos los tipos de roca gracias a su versatilidad, incluso al nivel de detalle, bastando sólo adecuar los parámetros específicos de cada sustancia.

Con carácter general, el proceso completo, desde la recopilación bibliográfica inicial hasta la apertura de la cantera, se divide en cinco fases que se describen más abajo. Sin embargo, el contenido de cada una de estas cinco fases no es unívoco ni cerrado, siendo, al final, el propio yacimiento el que marca la pauta a seguir, especialmente en todo lo relativo a escalas de trabajo, naturaleza de los reconocimientos, técnicas a emplear, etc.

Las fases seguidas son:

Fase 1: Recopilación de Información y bibliografía. En ella se recoge y analiza toda la información geológico - minera disponible acerca de la roca y de la zona a investigar, tales como cartografías temáticas, estudios locales, tesis doctorales, datos de canteras, etc. Esto permite realizar una primera selección de las zonas que tienen un interés real o potencial y una planificación realista de los estudios posteriores. De modo orientativo, suele trabajarse con cartografías a escalas entre 1:50.000 y 1:200.000.

Fase 2: Exploración de campo. En ella se visitan, muestrean e inventarían, con carácter preliminar, todos los indicios de interés seleccionados a partir de las fuentes bibliográficas. Se continúa la recuperación completa de datos e informaciones, esta vez contrastando en el campo y, posteriormente, ponderadas para realizar una nueva selección de zonas de interés que serán objeto de atención en la siguiente fase. De modo orientativo, suele trabajarse con cartografías a escalas entre 1:25.000 y 1:50.000.

Fase 3: Investigación previa. Con mucho mayor detalle con respecto a la fase anterior, de las zonas seleccionadas en esa fase se procederá a analizar todos los aspectos relativos a:

- Características de área
- Características geológicas de la roca
- Características mecánicas de la roca y calidad

De modo orientativo, en la fase 3 se suele trabajar con cartografías a escalas entre 1:10.000 y 1:25.000.

Fase 4: Investigación de detalle. En ella, las zonas seleccionadas en la etapa anterior vuelven a ser investigadas para elegir los puntos más favorables para la extracción industrial de roca. Se incide especialmente en determinar, tan exactamente como sea posible, aquellas características de la roca que le dan valor comercial y pueden llegar a condicionar su explotación, como son la vistosidad, el color, el tamaño de grano, la homogeneidad, la presencia de alteraciones y oxidaciones, la resistencia mecánica, la fracturación de la roca y del macizo, foliaciones, etc.

Para ello, se analizan:



- Características del yacimiento
- Sondeos con recuperación de testigo
- Apertura de un frente piloto para extracción de bloques
- Determinación de las características de la roca

De modo orientativo, se suele trabajar con cartografías a escalas entre 1:1.000 y 1:10.000.

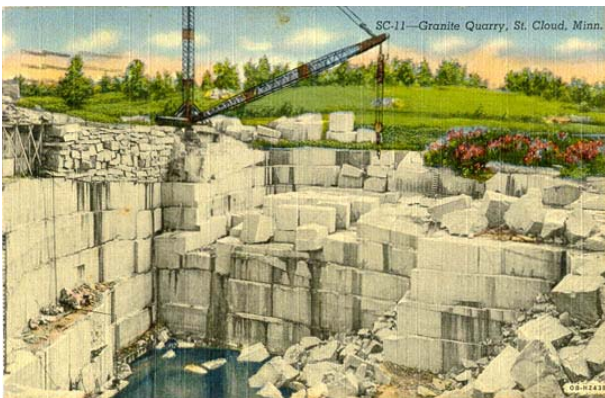
Fase 5: Proyecto de explotación y apertura de la cantera en las áreas que han llegado a esta fase, ya que se consideran, en principio, suficientemente investigadas y gozan de un nivel de información apropiado. Los estudios acometidos en esta etapa son los que, en última instancia, ponen de manifiesto la viabilidad técnico - económica de la explotación de la roca.

Como norma general, cada vez que se analiza una zona en cada una de las fases, los objetivos de la investigación son, fundamentalmente, los siguientes:

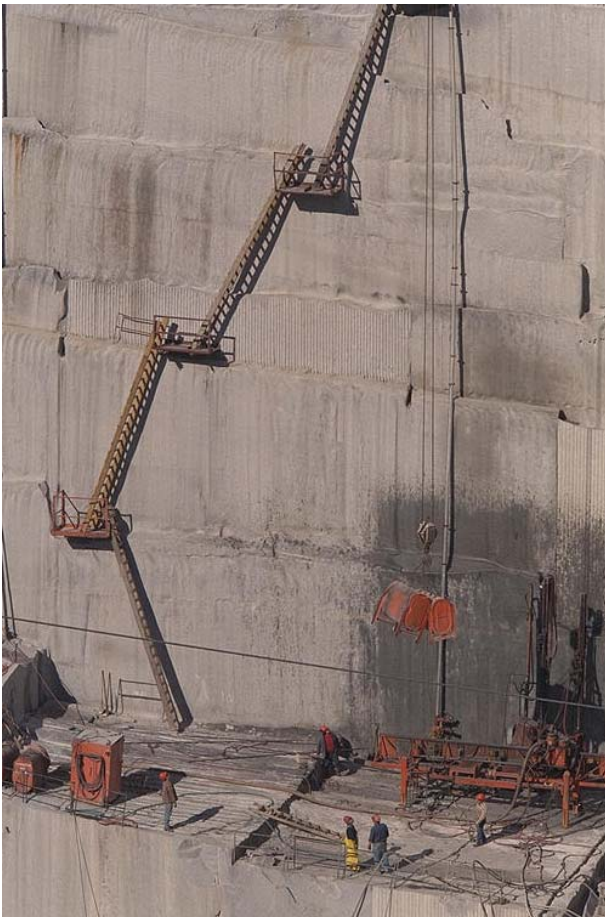
- **Propiedades específicas de los afloramientos:**
 - ❖ Morfología
 - ❖ Fracturación
 - ❖ Características de la roca:
 - ❖ Composición litológica:

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLORACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	

- Color
- Tamaño de grano
- En su caso, karstificación y meteorización
- Plegamientos y/o repliegues internos
- Metamorfismo (en su caso) y/o recristalizaciones
- Textura
- Homogeneidad:
 - Cambios de facies
 - Variaciones de color
 - Presencia de discontinuidades
 - Vetas y concreciones
 - Impurezas
- Oxidaciones
- Otras alteraciones



Detalles de canteras en foso y extracción por grúas.



• **Factores condicionantes de la explotabilidad:**

- ❖ Tamaño del afloramiento
- ❖ Recubrimientos
- ❖ Topografía y accesos
- ❖ Impacto ambiental que pudiera ocasionar la cantera
- ❖ Existencia de explotaciones próximas
- ❖ Infraestructura industrial



6. DISEÑO DE CANTERAS Y SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN

6.1. DISEÑO DE EXPLOTACIONES

Canteras a cielo abierto:

- Canteras en foso sobre terrenos llanos
 - Canteras en foso y extracción por grúas.
 - Canteras en foso y rampas de acceso,
- Canteras en ladera sobre terrenos en pendiente
- Canteras de nivelación en terrenos montañosos

Canteras subterráneas

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLORACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 6 de 6

6.2. TIPOS DE EXPLOTACIONES

En la actualidad, la extracción de rocas ornamentales se desarrolla tanto en explotaciones a cielo abierto como en subterráneas.

6.2.1. Canteras en foso sobre terrenos llanos

En este apartado debemos distinguir:

- Canteras en foso y extracción por grúas.
- Canteras en foso y rampas de acceso construidas con materiales estériles.

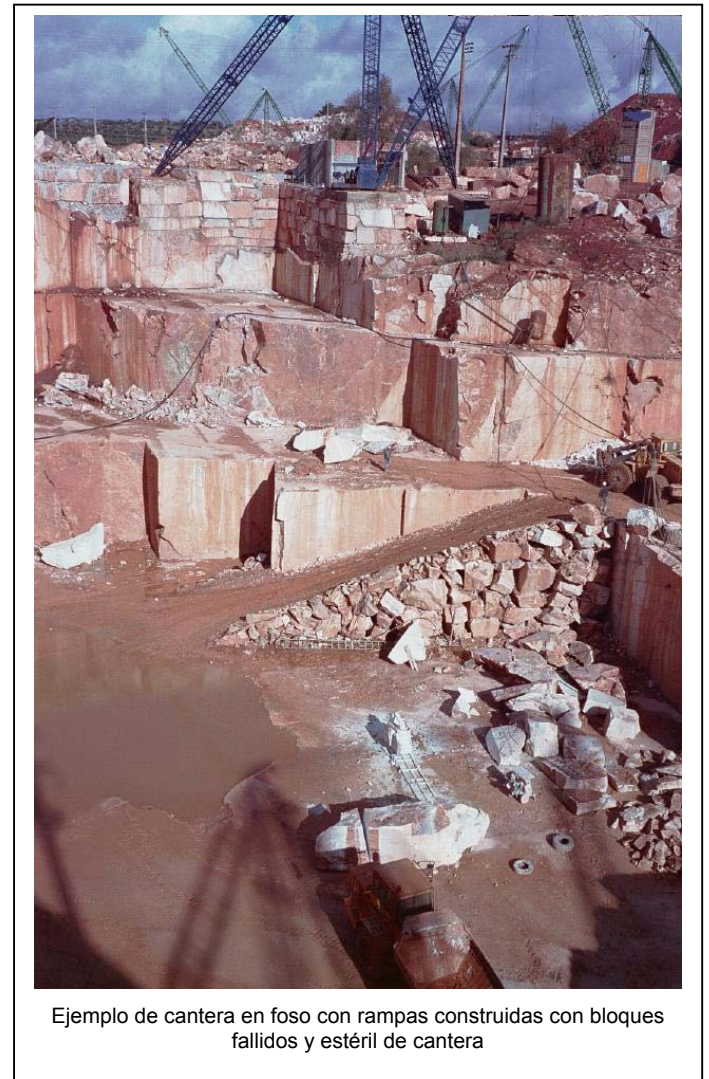
Canteras en foso y extracción por grúas.

Son explotaciones totalmente confinadas por taludes laterales verticales o subverticales y donde la extracción de bloques y estériles se realiza con grúas, realizándose el acceso del personal por medio de escalas ancladas en los paramentos.





Canteras en foso y rampas de acceso, construidas con materiales estériles.

Estas rampas conectan los diferentes niveles de extracción de la cantera entre sí. Es la más frecuente por su mayor versatilidad.



6.2.2. Canteras en ladera sobre terrenos en pendiente

Son llevadas en media ladera. En muchos casos, la extracción comienza por los niveles inferiores, aumentando la altura y el número de bancos del frente de explotación. En otros casos se empieza por alcanzar la situación final en los bancos superiores y se profundiza verticalmente.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLORACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 7 de 7



Cantera de Pizarra en ladera.



Cantera de Mármol en ladera





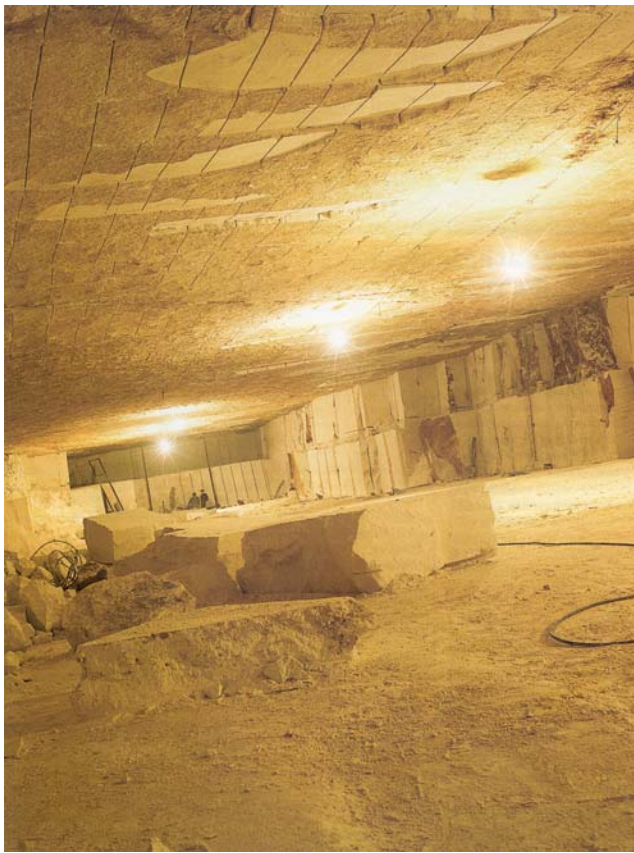
Ejemplo de cantera de tipo nivelación de terrenos, dedicada a la extracción de Mármol en la zona de Macaél, España

6.2.3. Canteras de nivelación en terrenos montañosos

Están emplazadas en lo alto de un cerro o promontorio natural que conducen a la nivelación del terreno original, tanto por la propia extracción como por el relleno de vaguadas con los estériles producidos.



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLORACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 8 de 8

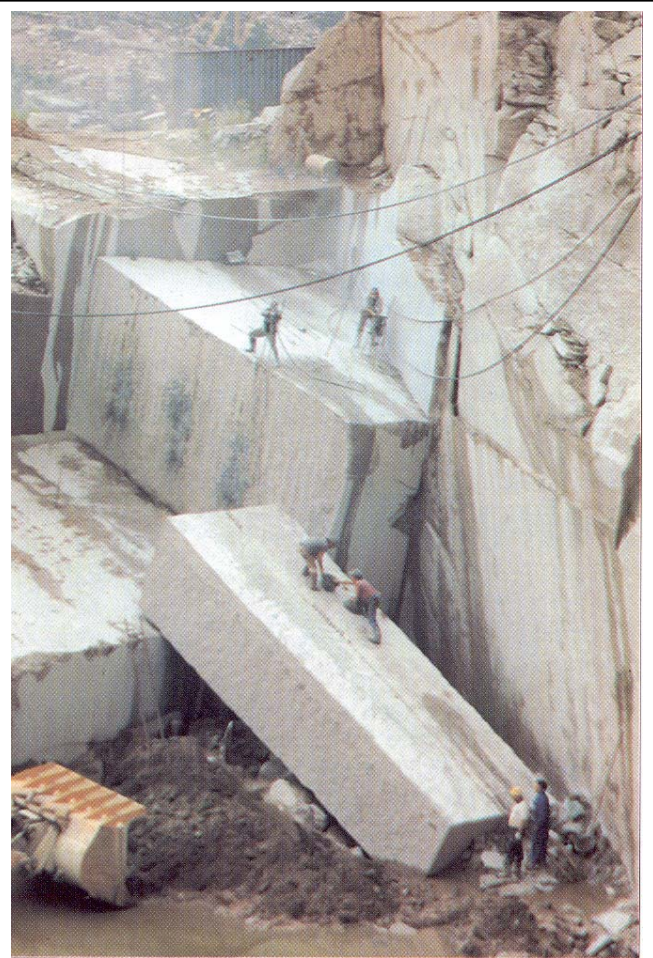


Explotación subterránea de la denominada "Piedra de Hontoria" (Hontoria, Burgos).

Abajo: Explotación subterránea de mármol en Carrara (Italia).



Obedecen a razones económicas, medioambientales y climatológicas; actualmente las famosas canteras de Carrara en Italia, están pasándose a subterráneas, aprovechándose la antigua infraestructura de ferrocarriles de interior como accesos principales a las grandes cámaras.



Cantera de Granito en el Noroeste de España



6.2.4. Canteras subterráneas

Utilizan el método de explotación de cámaras y pilares, con inicio de labores desde la plaza de cantera exterior y abriendo una galería en la dirección de explotación. Dejando los necesarios pilares, se abre el hueco inicial y se explota en profundidad con herramientas clásicas.

7. TÉCNICAS DE CORTE DE BLOQUES EN CANTERA

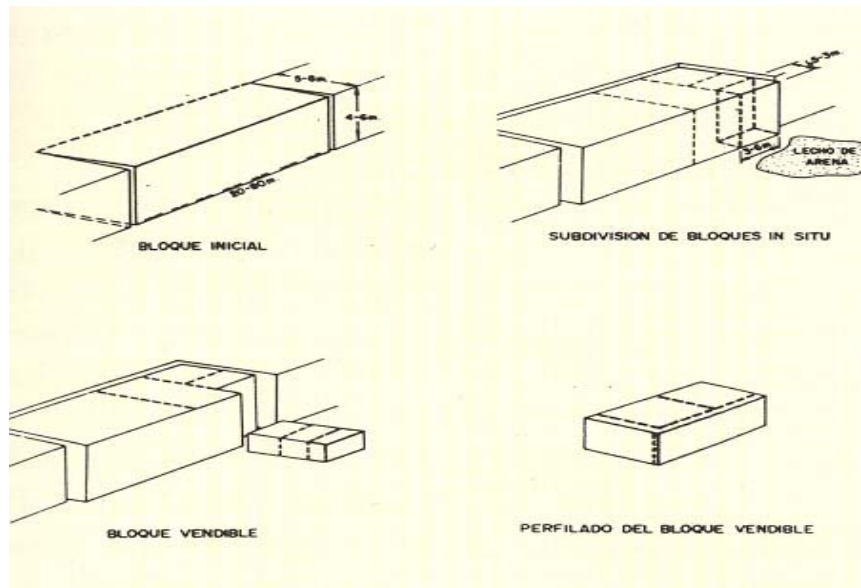
7.1. SECUENCIA DE LA EXTRACCIÓN DE BLOQUES

El proceso de arranque de las rocas ornamentales es bastante similar para cualquiera de las tres variedades de los grupos comercialmente explotables. Genéricamente consiste en la separación primaria en el macizo rocoso de un "primer bloque o rachón", entendiendo por bloque una figura geométrica más o

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	

7.2. CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ARRANQUE DISPONIBLES

La fase primaria de separación está directamente relacionada con determinados factores geológicos del macizo rocoso, tales como estructura, dirección de estratificación, diaclasamiento, etc., que deben ser bien conocidas no sólo por la experiencia y arte del viejo cantero, sino por unos detallados estudios geomecánicos, para poder orientar bien la secuencia de arranque. La selección de los equipos de corte se debe realizar en base al conocimiento de factores geomecánicos de la roca como resistencia a la compresión, dureza, tenacidad, porosidad, etc. Y de factores mineralógicos como la abrasividad, tamaño de grano, venenos, envejecimientos, decrepibilidad, oxidación, etc.



menos cúbica, y con unas dimensiones tales que los equipos de carga y transporte seleccionados puedan manipularla u operar en unas condiciones de productividad óptimas.

El bloque primario se somete a unas sucesivas etapas de subdivisión hasta alcanzar unas dimensiones que sean manipulables en el taller de corte y aserrado, y al mismo tiempo dentro de las gamas y tolerancias que requiere actualmente la industria de transformación, propia o exterior, ya que en muchas ocasiones este bloque es o puede ser un producto vendible de la cantera.

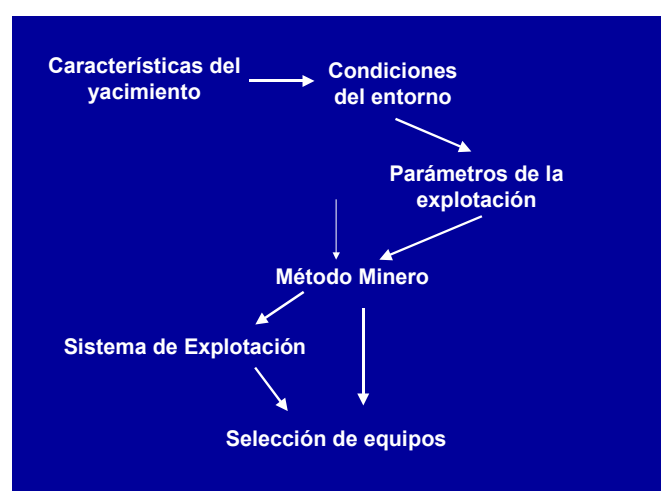
Las dimensiones finales siguientes corresponden a los bloques vendibles de una gama aproximada para los mármoles y granitos, en donde son más apreciados y por ello mejor pagados los mayores tamaños, el mejor escuadrado, el mejor acabado de las caras, factores todos ellos que implican un mejor rendimiento de transformación posterior. Alcanzan unos volúmenes de 6 m³ y hasta 20 t de peso, y pueden ser ya objeto de comercialización, y exportadas a grandes distancias para llegar a valer cifras millonarias.



Longitud	1.90 - 3.30 m
Fondo	1.00 - 1.50 m
Altura	0.90 - 1.20 m
Volumen	2 - 6 m ³
Peso	10 - 20 t

Los puertos de Lisboa, Marina de Carrara o Vigo son unos claros ejemplos de exportación de los bloques al mercado mundial.

La abrasividad es, en general, el factor que en definitiva delimita, en términos económicos, la selección del sistema de corte más adecuado, aunque no es el factor único, ya que para determinados tipos de roca como algunos mármoles, calizas, etc, escasamente abrasivos, pueden presentar algún comportamiento negativo ("satinado") ante ciertas herramientas de corte como las diamantadas, debido a su escasa capacidad de desgaste de la matriz de la herramienta (cable o disco).

Las diferentes técnicas de arranque de rocas ornamentales raramente se emplean en exclusiva dentro de una explotación, y es habitual que coexistan



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLORACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	

al menos varios sistemas para las distintas labores de subdivisión, tratando siempre de utilizar aquella que produce unos menores costes y un mejor acabado. Los sistemas o técnicas de corte más aplicados en la actualidad son los siguientes:

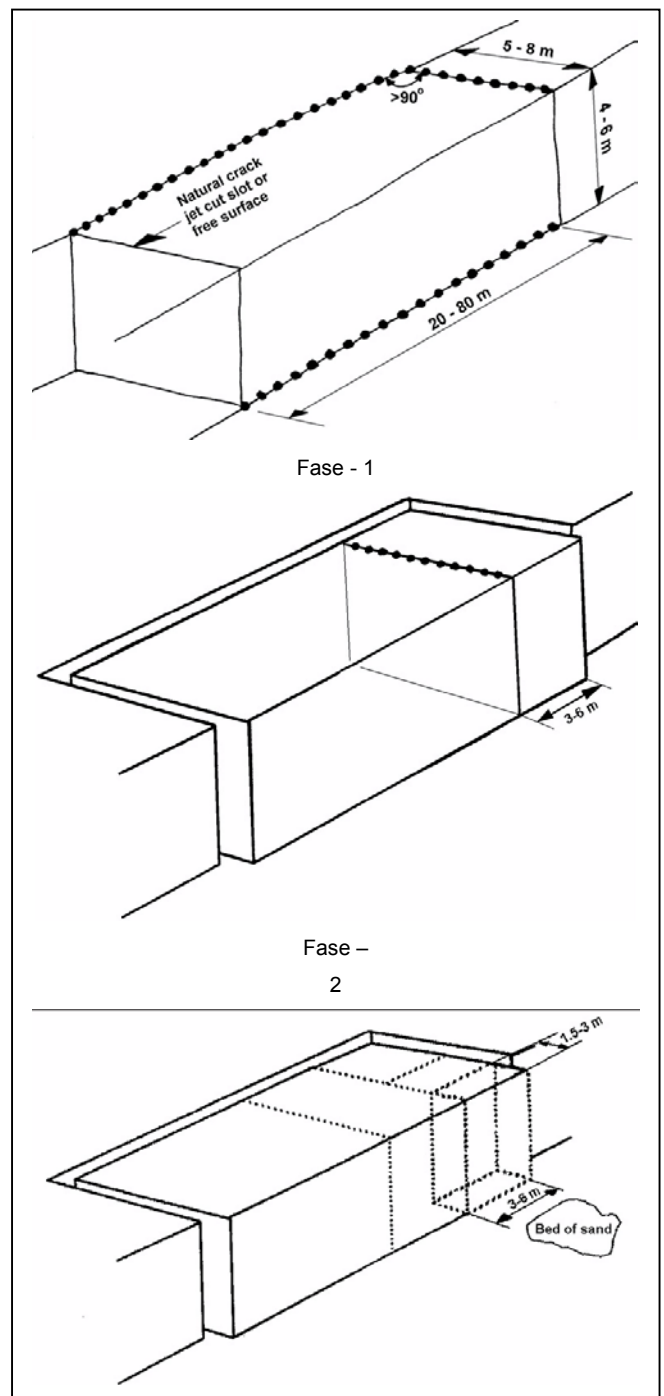
- **Técnicas de corte por perforación de barrenos próximos, con y sin voladura**
- **Técnicas de corte mecánico:**
 - Equipos de corte con hilo diamantado
 - Rozadoras de brazo
 - Equipos de corte con disco
 - Equipos de corte con chorro de agua
 - Utilización de cuñas manuales e hidráulicas
- **Técnicas actualmente obsoletas**
 - Equipos de corte con hilo (totalmente ya en desuso).
 - Lanza térmica (utilización todavía esporádica).

8. TÉCNICAS DE CORTE DE BLOQUES POR PERFORACIÓN DE BARRENOS PRÓXIMOS, CON Y SIN VOLADURA

Esta técnica consiste en la apertura de unos barrenos muy próximos y paralelos de un pequeño diámetro para poder producir un corte a través del plano constituido por los mismos mediante la acción de una adicional presión hidráulica, mecánica o por la acción de la pólvora o del cordón detonante. Este sistema se debe aplicar fundamentalmente sobre las rocas de mayor dureza y abrasividad, grupo de los granitos, aunque coexiste con los otros sistemas, para el resto de las rocas ornamentales, en donde se debería utilizar o abusar menos de él, para mejorar el grado de recuperación y la calidad de la roca vendible.

La figura adjunta, refleja la secuencia del arranque, que comienza con la independización del gran bloque inicial hasta la obtención del producto o bloque vendible, en el llamado sistema finlandés de explotación y subdivisión mediante la técnica de la perforación dentro de la cantera.

La importancia de su aplicación ha cobrado un mayor interés a partir de los últimos avances tecnológicos, en la línea de una mayor mecanización gracias a la sustitución de la perforación neumática por la hidráulica, con una operación centralizada de las baterías de perforadoras que permiten el control de



varias en paralelo por un solo operador del equipo y con los brazos automatizados en condiciones de una mayor productividad, menores consumos energéticos, y un menor impacto ambiental derivado de los ruidos y el polvo, así como a un más perfecto paralelismo entre los barrenos.

Fase 1.

La etapa inicial consiste en la independización, en la masa rocosa, de un gran bloque cuyo volumen puede

oscilar entre los 100 y los 4.000 m³. La operación de arranque comienza con la creación de dos caras libres en los laterales del gran bloque, bien a partir de las diaclasas naturales, bien mediante la perforación de unos barrenos casi secantes entre si con unos diámetros de 2½" (63,5 mm), o bien realizándolas con la lanza térmica por unos canales de 70 mm de anchura. Posteriormente se realiza la perforación vertical sobre los planos posterior y horizontal en la base del bloque. Los barrenos son de pequeño diámetro (27-36 mm), y las separaciones variables de acuerdo con la resistencia a la fragmentación de la roca.

La rotura entre barrenos se puede realizar mediante el empleo de algunos explosivos débiles con cargas conformadas o con un cordón detonante de bajo gramaje, o por unas cuñas de accionamiento hidráulico.

Unos rendimientos de las operaciones que se pueden esperar como normales con los modernos equipos hidráulicos pueden ser los siguientes:

Plano	Diámetro (mm)	Velocidad (ml/h)	Espesor (cm)	Rendimiento (m ² /h)
Lateral	63.50	15	5.70	0.90
Posterior	27-36	25-50	10 - 30	5 - 10
Horizontal	27-36	25-50	10 - 30	5 - 10

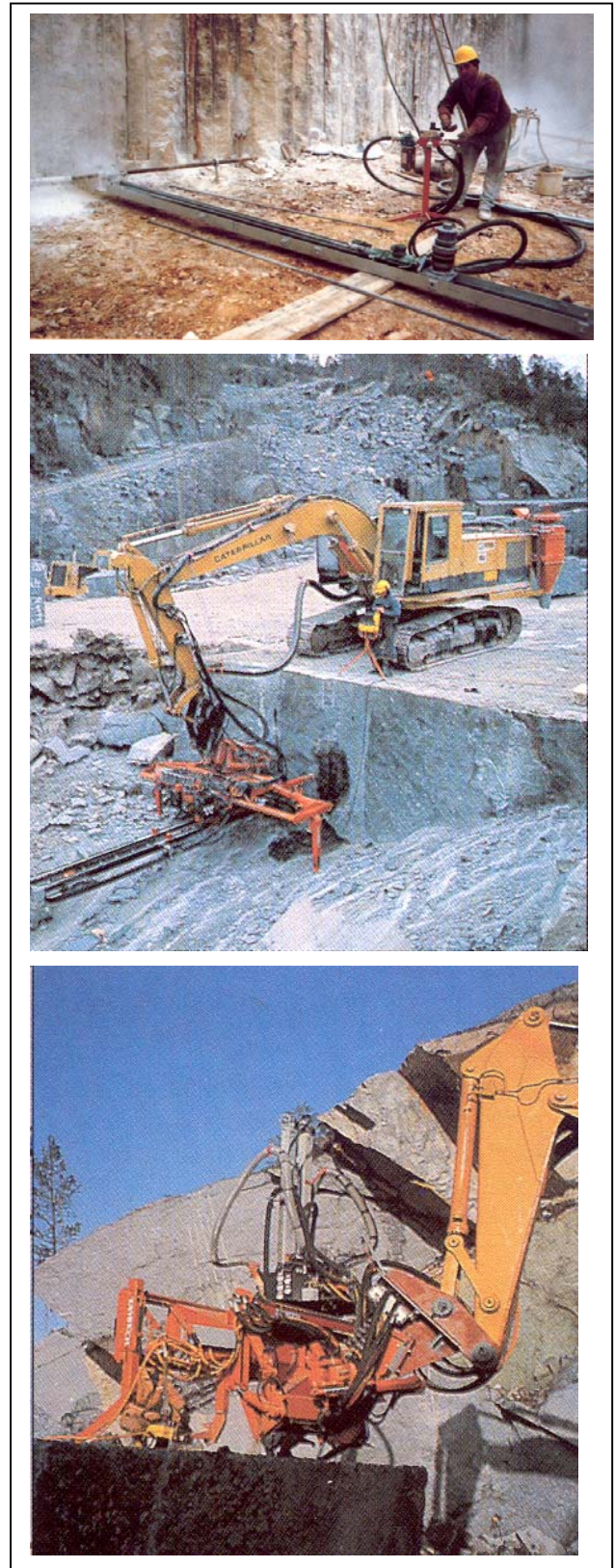
El rendimiento específico de la perforación oscila entre unos 2 y 7 ml/m³ del material rocoso a producir.

Fase 2.



Esta segunda etapa ejecuta la subdivisión en bloques de un menor tamaño, todavía "in situ", esto es, en la misma cantera. Los parámetros de perforación son similares, aunque las fases sucesivas de división del bloque, implican una calidad cada vez mejor de terminación de las caras, por lo que dentro de la gama de diámetros y espaciado entre barrenos es muy recomendable usar los menores valores. El volumen de los bloques correspondiente a esta fase oscila entre los 18 y los 100 m³. Los rendimientos normales de perforación son los siguientes:

Rendimiento horario..... 7 m² /h
 Rendimiento específico.....5 ml/m³

La rotura entre los barrenos se puede realizar, al igual que en la fase anterior, mediante unos explosivos débiles como la pólvora, el cordón detonante o mediante cuñas hidráulicas. El bloque, una vez



individualizado, debe volcarse sobre el piso de la cantera, donde se puede disponer de un lecho de arena o bien un colchón de goma hinchable que logre amortiguar la caída, y evitar su rotura. Los sistemas

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 12 de 12

más empleados para volcar el bloque, pueden ser:

- Tracción mediante cabrestante o grúa torre (DERRICK).
- Empujadores hidráulicos en el plano posterior.

- Carga de pólvora en el plano posterior.
- Extracción con palas y/o carretillas elevadoras con un acoplamiento idóneo.

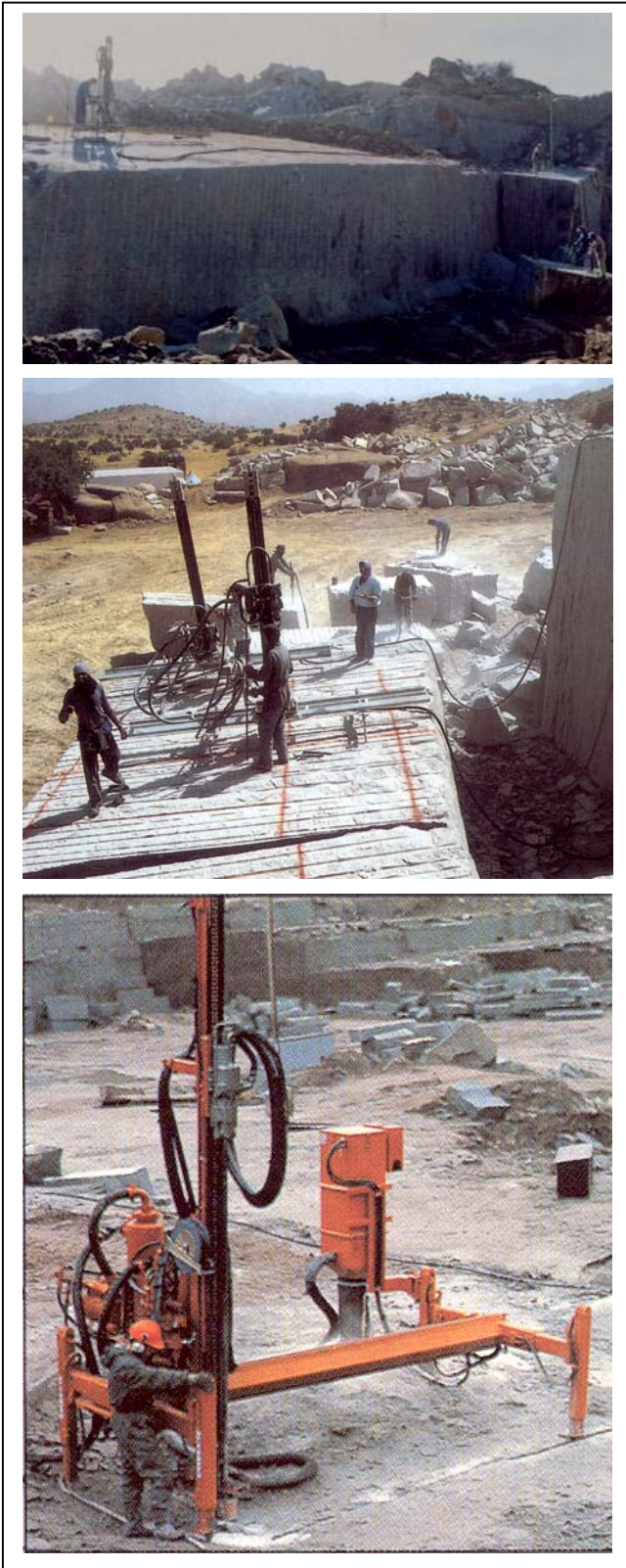
Fases 3 y 4.



En esta etapa, el bloque extraíble debe subdividirse en unas dimensiones más manipulables por los equipos de la cantera, con unos volúmenes máximos de hasta 10 m³ para su fácil manejo y transporte posterior al taller. Los diámetros de perforación recomendables son de unos 25 - 27 mm. Los rendimientos en esta etapa de subdivisiones son muy variables con los siguientes valores medios:

Rendimiento horario 5 m² /h. 2
 Rendimiento específico..... 3 - 15 ml/m³

En esta fase la rotura entre los barrenos tiene lugar, en general, mediante el empleo de cuñas, accionadas manual o hidráulicamente. Los bloques obtenidos deben alcanzar las dimensiones adecuadas para su comercialización, que puede ser directa, si el escuadrado de las caras fuera correcto, o precisa de un perfilado definitivo, en función de las calidades de la roca y la tolerancia final exigida por el mercado. La calidad del acabado en las caras del bloque final depende del correcto alineado de la perforación, así como de la separación y diámetro de los barrenos, existiendo en cualquier caso imperfecciones derivadas del sistema en sí mismo que suponen unas pérdidas en detritus estimadas en el orden de unos 25-50 mm para cada una de las caras del bloque.

Es importante señalar que estas técnicas requieren, de manera imprescindible, distribuir lo mejor posible la energía generada por el explosivo en el plano de fractura y evitar la aparición de tensiones máximas o diferenciales que induzcan a la fracturación de la roca volada o la remanente. El éxito de la voladura se traduce en una gran precisión en la geometría del bloque y en unos daños mínimos a éste y a la roca remanente. Depende tanto del esquema de perforación, como de la calidad de los barrenos y de las cargas de explosivo.



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLORACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 13 de 13

9. CORTE CON HILO DIAMANTADO

Los avances de los materiales empleados en la moderna tecnología de corte ha supuesto la introducción del hilo diamantado, que permite con menores longitudes de cable en operación, unos rendimientos de corte muy superiores, manteniendo una calidad de acabado similar a la alcanzada con el hilo helicoidal tradicional.

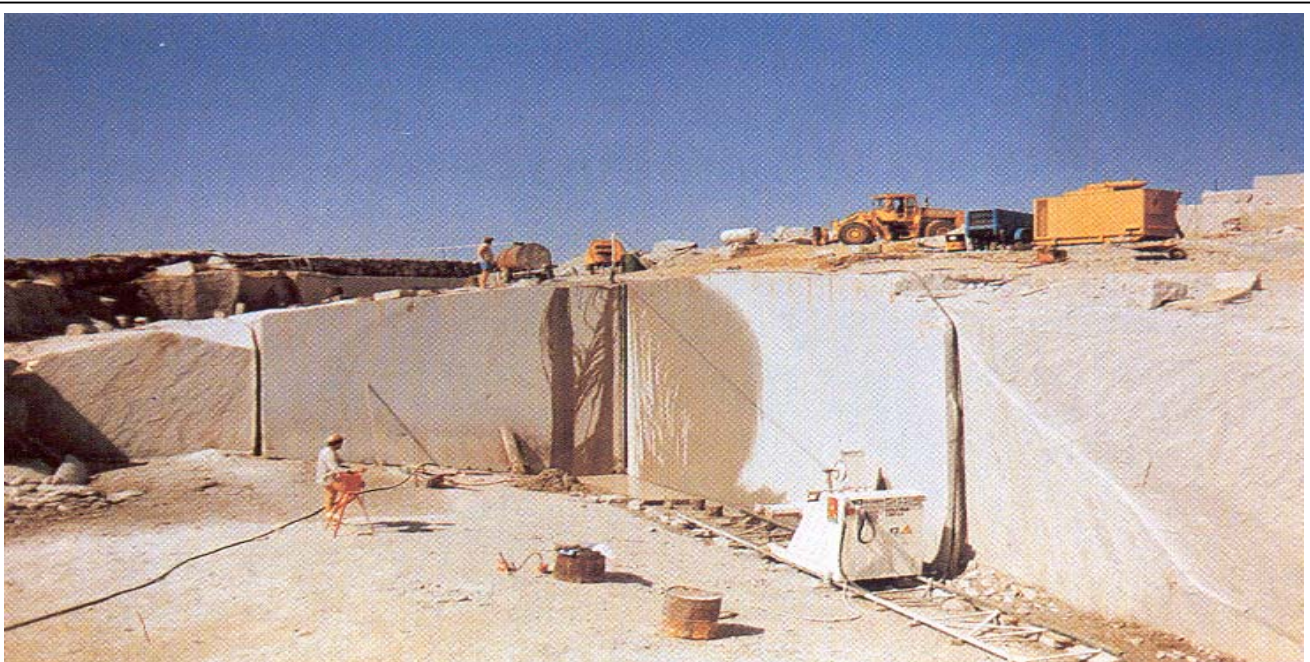
Los modernos y actuales equipos de hilo diamantado están compuestos básicamente por los mismos elementos, pero con algunas diferencias de los tradicionales, de acuerdo con una nueva disposición de la máquina de trabajo según se recoge en la figura adjunta

- Un **grupo motor**, con accionamiento eléctrico, y con potencia entre 30-50 C.V., con su correspondiente reductor que actúa sobre la polea conductora del cable y que va montado sobre un chasis móvil sobre raíles.
- Un **conjunto guiador** compuesto por dos carriles o vías sobre los que se desliza o mueve el sistema de accionamiento, y con una carrera de unos 6 m de desplazamiento, que se puede suplementar para su alargamiento paralelo al banco.



- Unos **sistemas automáticos de control** electrónicos de arranque, velocidad y tensión del cable, de paradas por rotura o final de carrera, etc.

Las velocidades lineales del cable se encuentran en la gama de 0-40 m/s., para unas longitudes normales en



Corte de bloques de granito mediante hilo diamantado



Los rendimientos horarios de corte y vida del cable, son función de las características de la roca y se mueven en la gama siguiente de valores

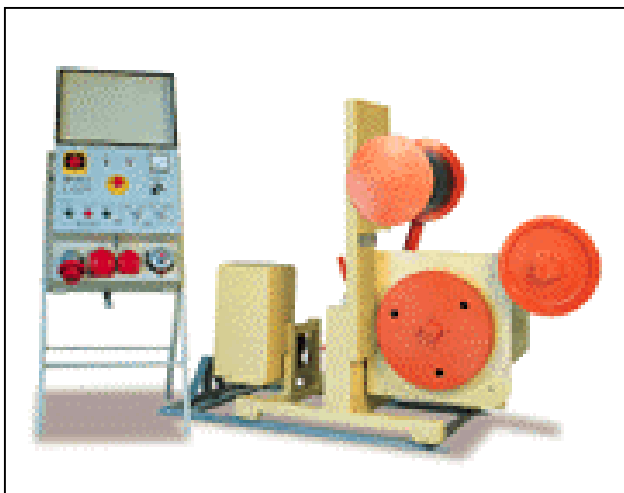
	m^2/h	ml/m^2
Mármoles cristalinos	8 - 15	25 - 50
Mármoles compactos	5 - 9	15 - 30
Mármoles duros	3 - 5	15
Calizas blandas y porosas	10 - 15	50 - 75

Actualmente se ha introducido ya la aplicación del cable diamantado en el corte de los granitos, fundamentalmente en aquellos de menor contenido en cuarzo. La reducción de costes se está haciendo muy progresivamente a medida que se ha ido extendiendo su aplicación, y aumentando la producción unitaria de cada cantera.



operación inferiores a 60 m.

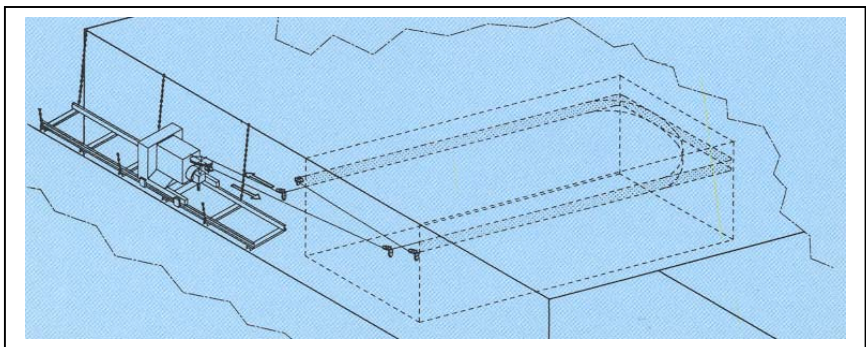
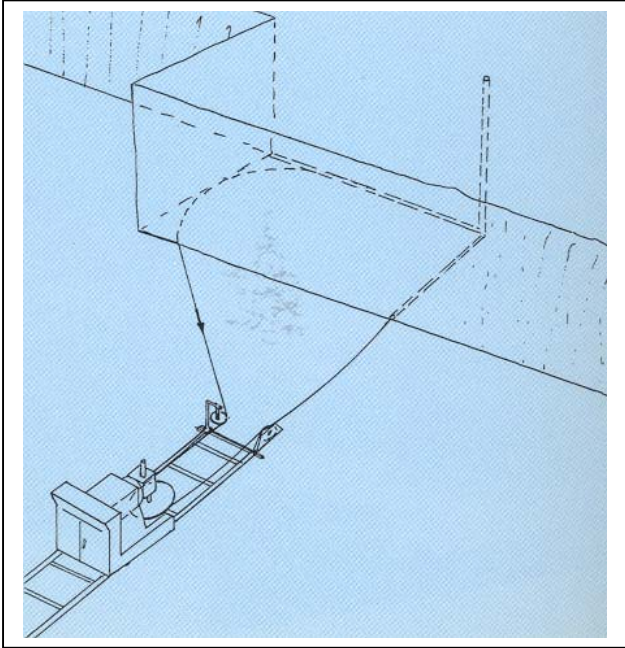
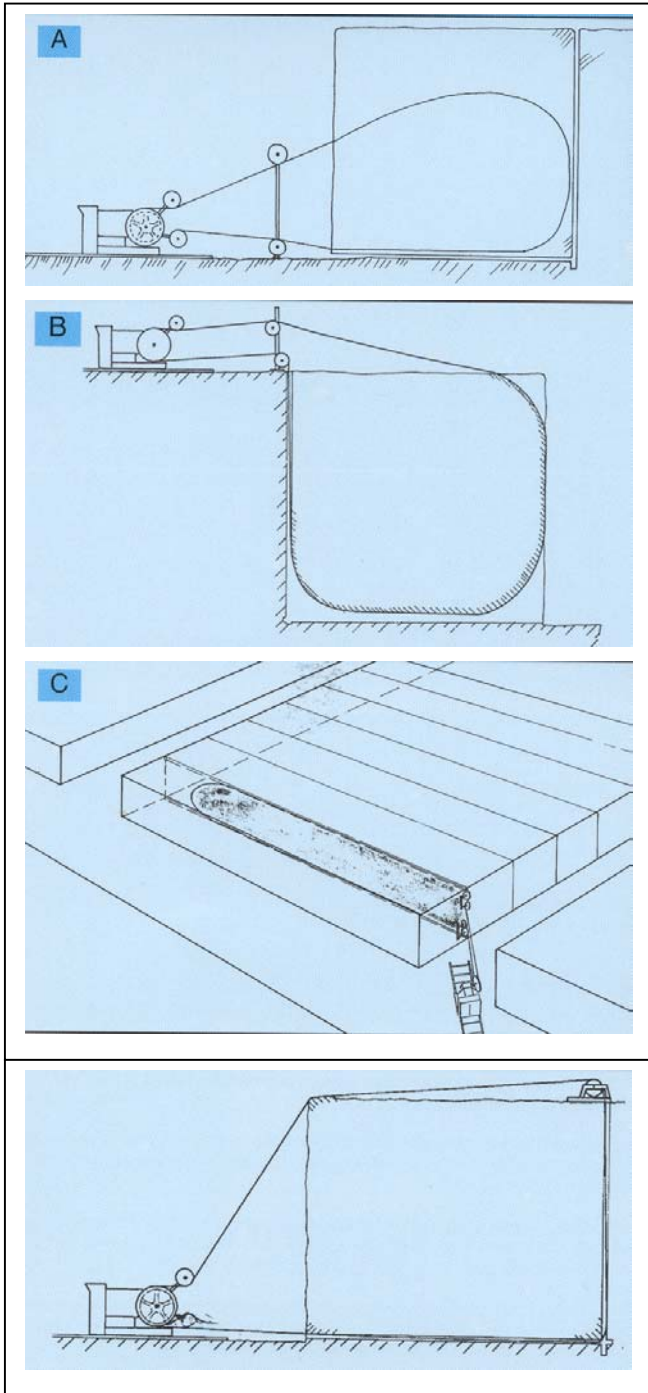
El hilo diamantado consiste en un cable de acero inoxidable que lleva engarzados, a modo de cuentas de rosario, unos insertos diamantados de forma cilíndrica, con separadores constituidos por muelles, y cuya disposición se ajusta como muestra la figura. Las características básicas de un cable diamantado son las siguientes:



Diámetro del cable guía	5 mm
Diámetro del inserto diamantado	10 mm
Longitud del inserto diamantado	8.5 mm
Longitud útil diamantado	6 mm
Separación entre insertos	30 mm
Nº de insertos por ml	33.4



Aplicación del corte con hilo diamantado en una cantera subterránea de mármol en Carrara, Italia.

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSIMM	CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 15 de 15



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 16 de 16

10. ROZADORAS DE BRAZO

Dentro del contexto general de los sistemas de arranque de las rocas ornamentales, cuyo método de explotación es común, este sistema se aplica en aquellos macizos rocosos de dureza media a baja (<100 MPa) y contenidos bajos en cuarzo (Grupo de los mármoles). La abrasividad y resistencia a la compresión definen la capacidad de penetración en la roca, siendo preferible un mayor valor de resistencia a la compresión, ligado a un bajo contenido en sílice, que el concepto contrario que asimilaría la roca a una piedra de afilar derivando en una escasa vida de la herramienta de corte y con ello un alto costo unitario

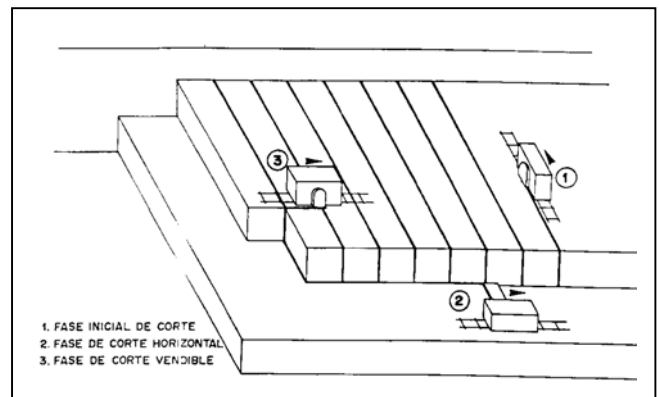


de arranque.



Para el uso de este sistema, altamente mecanizable, es necesario disponer de unas alturas de banco muy limitadas por el alcance del brazo cortador, y su uso está condicionado por la existencia y orientación de las discontinuidades naturales, así como por las exigencias en el tamaño de los bloques vendibles. Sin embargo esto permite obtener desde un principio unos bloques finales, eliminándose las sucesivas fases de subdivisión que implican los sistemas anteriormente descritos y que inevitablemente reducen la recuperación de unos tamaños comerciales.

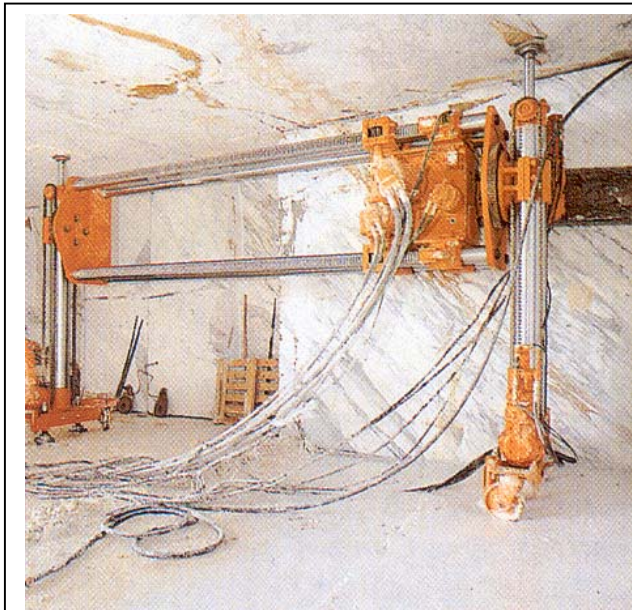
El desarrollo de este sistema, inicialmente ligado a la minería y arranque de carbón y de las sales potásicas, se ha logrado a partir de los avances tecnológicos relacionados con la técnica de penetración en las rocas y de los nuevos materiales aplicados en las herramientas de corte, y tiene la posibilidad de ser utilizado no solo en las canteras a cielo abierto sino también en explotaciones subterráneas de cámaras y pilares.

En Francia la mayor parte de las explotaciones de pizarras, en forma muy mecanizada, se llevan a cabo por minería subterránea, sin necesidad de unos fuertes desmontes de estéril y con gran precisión en el



corte de los rachones en dimensiones adecuadas para su extracción por las galerías y pozos. En la zona española de El Barco de Valdeorras (Orense) se procede a efectuar ensayos de aplicación de la minería subterránea para mejorar los costes de extracción y el rendimiento de recuperación de pizarra vendible, así como pruebas para la aplicación de máquinas exfoliadoras en sistema continuo por corte con chorro de agua.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 17 de 17



Arriba: Distintos modelos de rozadoras de brazo para explotaciones en interior.

Abajo: Equipo mixto automotriz





La rozadora consta básicamente de un brazo accionado, móvil y orientable, sobre el que se desplaza una cadena provista de unas picas como elementos de corte y de desgaste. El sistema de accionamiento del brazo es, modernamente, del tipo electro-hidráulico con unas potencias entre 10 y 60 Kw, y todo el conjunto se desliza sobre carriles en la dirección del corte con velocidades de avance de 2 a 10 cm/mín. y con la posibilidad de desplazarse por pendientes máximas de 15°.

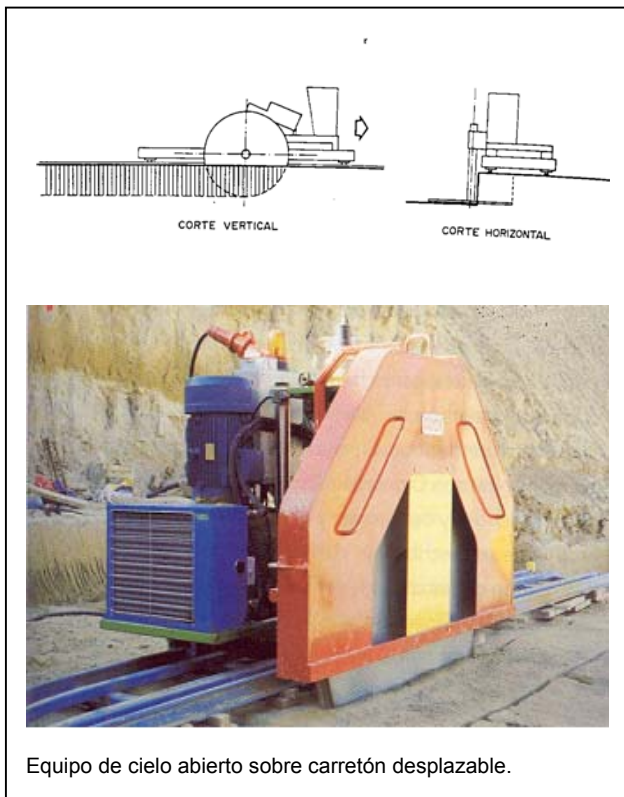
El brazo es orientable para poder realizar los cortes verticales y horizontales, con una longitud variable entre 1,5 y 3 m. Sobre el perímetro del brazo se desplaza la cadena que arrastra las picas, de un material altamente resistente, situadas a unos intervalos en el orden de 40 mm, con unas velocidades lineales entre 0,4-1,4 m/s. y una anchura de corte de 4 cm.

Generalmente las picas de materiales muy duros pueden ser reemplazables in situ. El material, que constituye las picas, suele ser carburo de tungsteno para usar en los materiales de bajas resistencia y abrasividad, y de matrices diamantadas para los valores mayores, o cualquier otro tipo de acero aleado de alta resistencia al desgaste por abrasividad.

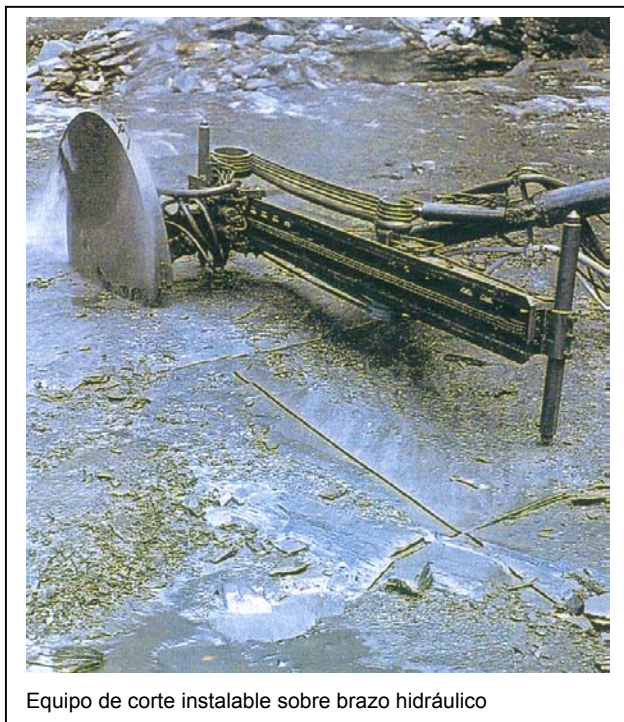
El sistema de operación de la rozadora permite obtener directamente un bloque comercial en base a la dimensión del brazo. Las fases de operación se reflejan en el esquema adjunto y consisten en una primera fase de sucesivos cortes paralelos, de dirección perpendicular a la cara del banco, seguido del corte horizontal a lo largo del frente, y de la subdivisión vertical paralela al frente, de acuerdo con el tamaño previsto de los bloques y alcanzable por la longitud del brazo. Los rendimientos horarios de corte con esta técnica están comprendidos entre 4 y 10 m²/h para las rocas de resistencia a la compresión inferior a 100 MPa y con abrasividades medias a bajas.

Hasta hoy, este sistema ha sido más utilizado en los talleres de corte y aserrado que en la cantera, pero su desarrollo en base a montar mayores unidades, de mayor potencia y longitud del brazo en bastidores de maquinaria móvil o sobre railes ha permitido su introducción en las canteras, aunque es obvio que requieren un adecuado estudio de selección y de ensayos antes de tomar la decisión.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	



Equipo de cielo abierto sobre carretón desplazable.



Equipo de corte instalable sobre brazo hidráulico

11. EQUIPOS DE CORTE CON DISCO

El uso de este sistema permite obtener, desde el principio, los bloques sin necesidad de recurrir a las sucesivas etapas de división y acabado, aunque presenta grandes limitaciones de aplicación por la escasa profundidad del corte, y por tanto de reducidas dimensiones en los bloques obtenidos y por tanto obliga a un diseño previo y muy ajustado de los bancos de trabajo. Su limitación viene dada por la fórmula:

$$h = 0,5 (D-d) \text{ cm}$$



D = diámetro exterior del disco
d = diámetro interior del disco

Económica y técnicamente es el equipo más favorable tanto por su simplicidad como por su menor consumo energético, pero estas ventajas no logran, en muchos casos, compensar las limitaciones descritas anteriormente, por lo cual su uso sigue siendo más generalizado en los talleres de aserrado que en las canchales, aunque revisando el diseño geométrico de estas podría ser más utilizado.

Otra limitación en el uso de este equipo se refiere a la configuración de la explotación por la necesidad de disponer de amplias plataformas, al menos de 200 x 200 m, de forma que se puedan realizar largos cortes sin tener que mover el equipo y que la inclinación de la misma tiene que ser menor de 10°. Su rango de aplicación son los mármoles y las piedras calizas, pero pueden aplicarse en el grupo de pizarras de techar o para losas de pizarras y de areniscas. El equipo a utilizar consiste, básicamente, en un disco giratorio cortador con el filo de acero diamantado y que puede desplazarse montado sobre un carretón móvil que se mueve paralelamente, sobre carriles.

Las características básicas de los equipos se recogen en el cuadro siguiente, de acuerdo con la dirección de los cortes y la abrasividad de la roca:

	CORTE PLANOS VERTICALES			CORTE PLANO HORIZONTAL
	2.50	2.70	3.00	
DIÁMETRO DISCO (m)	2.50	2.70	3.00	2.70
VELOCIDAD PERIFÉRICA (m/s)	40 - 55	40 - 55	40 - 55	40 - 55
PROFUNDIDAD DE CORTE (m)	1.00	1.10	1.25	1.10
ANCHURA DE CORTE (mm)	12	12	12	12
CONSUMO DE AGUA (l/mín.)	80 - 140	80 - 140	80 - 140	80 - 140
POTENCIA (Kw)	60	75	75	75

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 19 de 19

La calidad de acabado de las caras del bloque es, al igual que las obtenidas con la rozadora de brazo, excelente, sin necesidad de escuadrados finales, pero con limitadas dimensiones, y por tanto para aplicaciones comerciales muy concretas.

Los rendimientos de corte pueden variar entre 5 y 8 m²/h

Existen en el mercado algunos equipos con multibrazos, que permiten realizar 2 ó 3 cortes simultáneamente, incluso uno vertical y otro horizontal al mismo tiempo y con un solo operador, lo cual puede y debe aumentar la productividad.

12. EQUIPOS DE CORTE CON CHORRO DE AGUA

El empleo del chorro de agua a alta presión y velocidad, se ha usado tradicionalmente en la minería aluvionar del estaño, del carbón, de los caolines, de las arcillas cerámicas, etc.

La aplicación de esta tecnología en las rocas ornamentales está ligada al desarrollo de unos equipos hidráulicos de potencia adecuada, más robustos y fiables. Existen hoy en día aplicaciones para el corte de vidrio, cerámicas, papel, y otros materiales más resistentes como el aluminio y el acero.

El equipo consiste básicamente en una pequeña central hidráulica iniciada por un motor eléctrico, y acoplada a una bomba hidráulica de alta presión, que a su vez acciona un intensificador de presión constituido por un pistón de doble efecto y un movimiento alternativo, capaz de realizar entre 60 y 80 ciclos por minuto. El efecto intensificador se consigue

por la diferencia relativa de superficies activas del pistón, uno de los cuales impulsa finalmente el agua a través de una fina boquilla inyectora de zafiro sintético y con unos diámetros entre 0.1 y 1 mm.

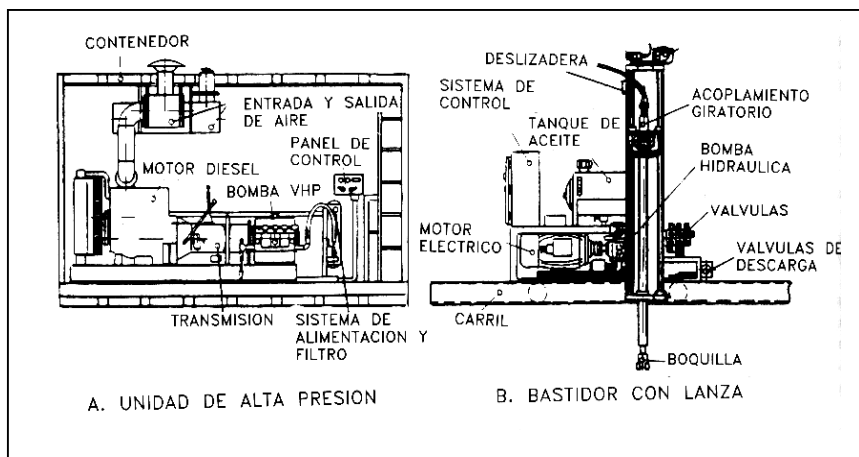
La figura adjunta refleja el principio de operación del intensificador de presión, base del sistema y que puede alcanzar las elevadas presiones de trabajo necesarias.



El mecanismo de rotura de la roca debido al finísimo chorro de agua a alta presión, se produce por efecto del choque del mismo, y las micro-fracturas creadas en consecuencia. A una velocidad de 300 m/s, la presión creada es del orden de 150 MPa, superior a la resistencia a la compresión de muchas rocas. Con 500 m/s, se pueden alcanzar valores de 300 MPa, superiores a la resistencia de la mayoría de los materiales rocosos.

Los datos operativos alcanzados con equipos en prueba han sido los siguientes:

RELACIÓN DE MULTIPLICACIÓN	PRESIÓN DE TRABAJO (MPa)	CAUDAL (l/mín.)
4:1	0 - 83	19 - 57
13:1	0 - 275	5.5 - 23
20:1	0 - 378	3.8 - 15

En pruebas realizadas sobre granito muy abrasivo, de 110 MPa de resistencia a la compresión, empleando una presión de trabajo de 240 MPa, caudal de 11.4 l/mín., diámetro de boquilla de 0.4 mm, con abrasivo de granate fino y con velocidad de agua de 680 m/s, se han alcanzado unos rendimientos de corte de 2 m/mín., con un avance en profundidad de 2 cm por pasada, equivalentes a 2,40 m² /h, que supone en el orden de 40/50 % de los obtenidos realizando el corte con disco diamantado. La aplicación de esta técnica puede suponer un avance importante en los sistemas de corte, investigándose actualmente el uso de mayores presiones y la respuesta frente a diferentes tipos de roca.



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 20 de 20

13. UTILIZACIÓN DE CUÑAS MANUALES E HIDRÁULICAS

Esta técnica es la más clásica, siendo ya utilizada en la antigua Grecia y actualmente es complementaria a la citada de perforación con barrenos. Se aplica tanto en el sector del mármol como en el del granito, para la puesta a dimensión comercial de los bloques, aprovechando casi siempre grietas y fisuras del material o direcciones preferenciales de fractura respectivamente.

Su utilización se basa en el efecto que producen una serie de cuñas de acero introducidas en unos taladros perforados con este objetivo, provocándose la rotura de los bloques por tracción.

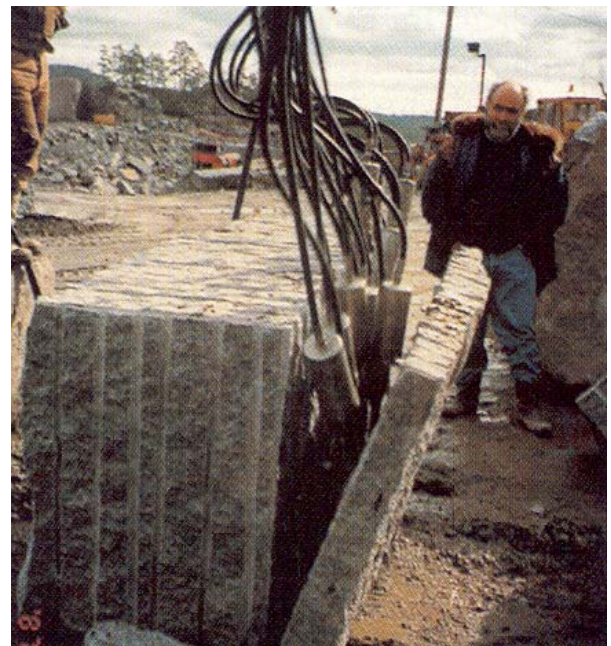
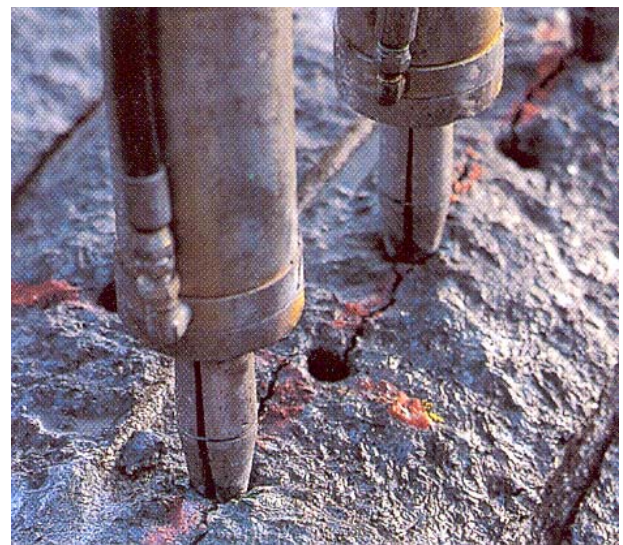
Entre las cuñas manuales se distinguen:

- Los pinchotes, constituidos por tres elementos, la propia cuña y dos pletinas metálicas con sección longitudinal en ángulo para transmitir la tensión y corte en un extremo. Su puesta en tensión se consigue golpeando repetidamente con un mazo.
- Los tirafondos, indicadas para el corte de bloques de gran altura o que presentan dificultades a la separación según el plano previsto. Estas contracuñas se introducen a cierta profundidad de tal manera que los esfuerzos de tracción no se generen solo en las proximidades de la superficie.

Por su parte, las cuñas hidráulicas están constituidas por una bomba hidráulica de alta presión y por varios cilindros hidráulicos, cada uno unido a la bomba por una manguera flexible reforzada. Cada cilindro se compone de un gato hidráulico de doble efecto funcionando bajo una presión a máxima de 50 MPa y de un conjunto cuña-contracuña en su parte inferior. El vástago del pistón empuja con fuerza a la cuña que se encuentra entre las dos contracuñas.



Se utilizan dos tipos de cuñas hidráulicas:

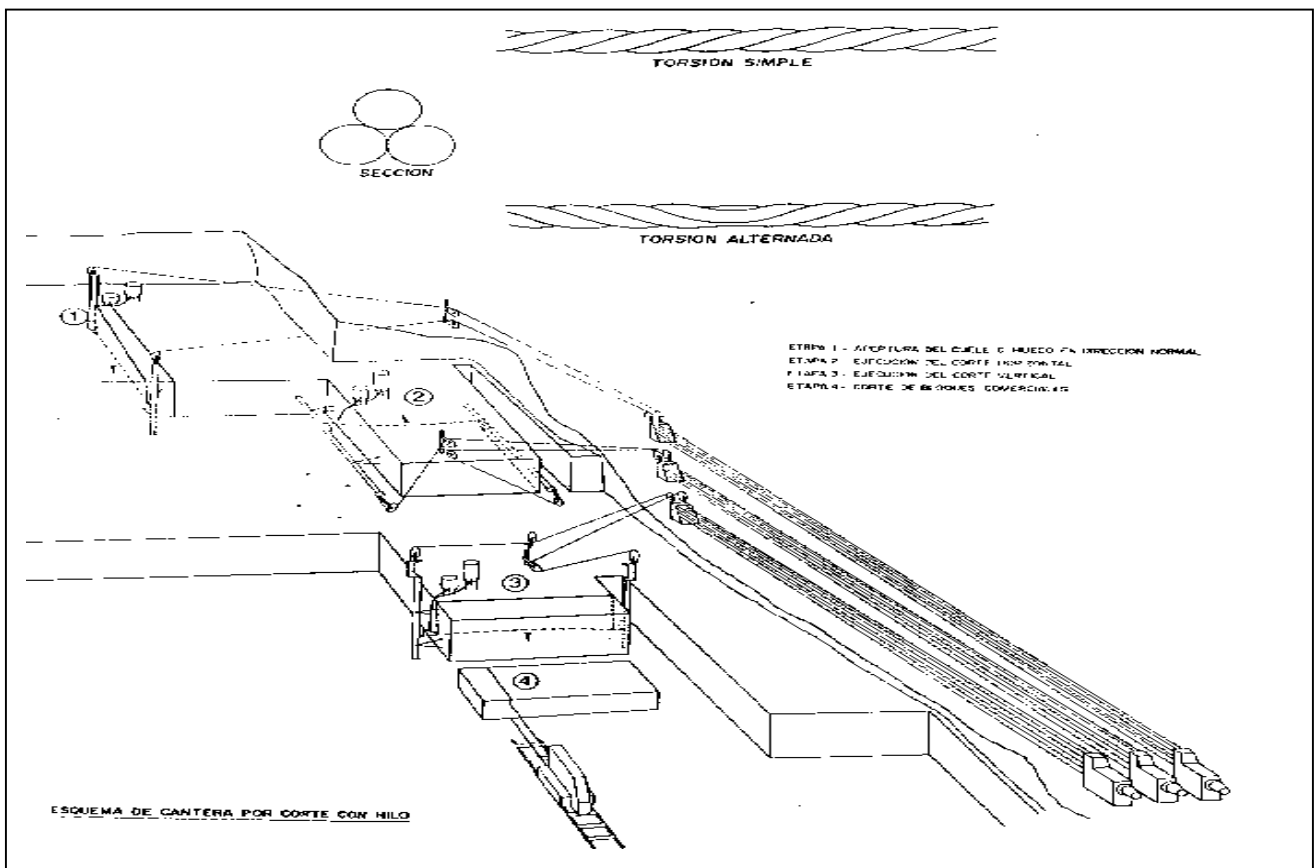
- El tipo estándar (ángulo muy agudo) para las rocas más duras y que proporcionan una separación relativamente pequeña pero con una alta fuerza de rotura.
- El tipo destinado a las rocas medias (ángulo obtuso), que proporciona una separación mayor, con una fuerza lateral proporcionalmente más pequeña.



14. EQUIPOS DE CORTE CON HILO HELICOIDAL

Hasta su sustitución por la técnica de corte por hilo diamantado, de la que fue su precursora, este sistema se aplicaba a rocas de dureza media a baja, fundamentalmente a los mármoles, travertinos, piedras calizas, pizarras, etc. Fue desarrollado en

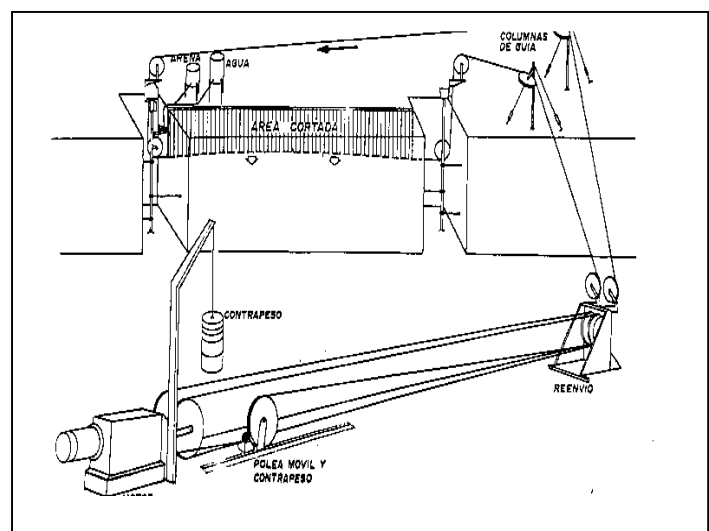
 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 21 de 21





Italia a principios del siglo XIX, y supuso, en su momento, un extraordinario avance en la técnica del arranque de las rocas ornamentales, que hasta entonces continuaba con los mismos sistemas manuales de la antigüedad y dio a los productores italianos una posición de dominio en el mercado mundial, que han sabido conservar comercialmente hasta estas fechas. Actualmente prácticamente ha desaparecido su utilización.

La técnica de penetración en la roca se llevaba a cabo con unos equipos cuya herramienta de corte era un hilo de acero, que actuaba como conductor de los materiales abrasivos y refrigerantes, y que corría a una velocidad determinada sobre la superficie del macizo rocoso a independizar. La implantación general de un equipo de corte con hilo se refleja en las figuras.

La secuencia del sistema de arranque de rocas ornamentales con hilo, era similar al expuesto anteriormente con la técnica de perforación y consistía en la independización y sucesivas etapas de división hasta obtener un bloque escuadrado de unas dimensiones comerciales. La utilización de esta técnica permitía un excelente aprovechamiento de la roca, reduciéndose la producción del detritus en base a un acabado plano de las caras, que eliminaba una gran parte de las labores del escuadrado final, y permitía una normalización de las etapas de elaboración posterior. Por contra, el corte con hilo obtenía unos rendimientos y productividades más bajas, lo que obligaba a que las labores de subdivisión ulteriores se realizaran casi siempre con otros sistemas más eficaces.



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	

El equipo estaba compuesto, básicamente, de los siguientes elementos principales:

- Un **grupo motor**, constituido por un motor de accionamiento eléctrico o diesel (entre 25 - 40 CV.), que a través de un embrague reductor, y una caja de cambios, transmitía el movimiento a un cable que pasa por una polea motriz. La velocidad lineal del cable solía estar comprendida entre 6 y 14 m/s.
- Un **sistema móvil de contrapesos**, que permitía mantener el circuito del cable en tensión (hasta un valor de unos 300 Kg por 1000 ml de hilo).
- Una **batería de poleas de reenvío y alineación**, enfrentadas al grupo motor, y cuya función era concentrar en un corto espacio o longitud (50-100 m) la mayor parte del cable en operación.
- Una **serie de columnas** que permitían guiar el hilo desde su salida de la batería de reenvío hasta aquella zona del macizo rocoso que se deseaba cortar.
- Una **serie de columnas con poleas móviles de avance automatizado**, ubicadas en los extremos de la superficie de corte.
- Un **equipo de almacenamiento y dosificación de la mezcla** de abrasivo y agua, con alimentación directa al punto de entrada del hilo en el macizo rocoso en corte.

El sistema descrito permitía disponer el plano de corte en cualquier orientación, aunque operativamente las más habituales son las posiciones horizontales y verticales.

La longitud del cable en operación debía estar calculada de acuerdo con el principio de que se pudiera realizar todo el corte de una cara, dentro de la vida útil del mismo. La operación con hilo implicaba un desgaste y una continua reducción del diámetro del hilo, lo que llegaría finalmente a dificultar su necesario cambio en el curso de un corte debido a la mayor sección del nuevo cable. La vida útil del hilo era (y es) muy variable, dependiendo fundamentalmente de los contenidos en sílice y abrasividad del material a cortar. El rendimiento del hilo se puede establecer entre 20 y 50 ml/m² de superficie en operación, con longitudes totales comprendidas entre 1000 y 2000 ml. Ambos parámetros definen los valores máximos de las dimensiones de la superficie de corte en operación.

Las características normales del cable helicoidal de

acero corresponden a los valores siguientes:

Composición	1 x 3 + 0
Diámetro normal del cable	5,15 mm
Diámetro del alambre	2,40 mm
Sección metálica	13,56 mm ²
Peso aproximado	0,115 Kg/ml
Carga de rotura efectiva	1.500 Kg/mm ²

En la figura adjunta se esquematizan los dos tipos de cables utilizados, el primero llamado de torsión simple con el arrollamiento en la misma dirección para toda su longitud, y el segundo de torsión alternada con cambios cada 50 m que permitían la obtención de unas superficies de corte totalmente planas y con una mayor capacidad de arrastre del abrasivo.



El material abrasivo, que actuaba como un elemento de corte activo, se alimentaba por vía acuosa a la entrada del hilo en el macizo en corte y estaba compuesto habitualmente por arena silíceo o granalla de carburo de silicio, de unas calidades muy controladas y precisas de acuerdo con la abrasividad de la roca a cortar, ya que siempre constituían un coste importante. La arena silíceo, el abrasivo más usado en España, debía tener una granulometría bien homogénea e inferior a 2 mm, con un contenido en SiO₂ mayor del 90% y con unas aristas lo más vivas posibles. Los consumos más habituales solían estar comprendidos entre 200 y 500 Kg/m².

El sistema de arranque se llevaba a cabo a través de una serie de etapas, en paralelo, cuya secuencia de arranque se refleja en la figura y que estructuraban la geometría general de la explotación, en una disposición de bancos con taludes, en general, muy verticales, y con alturas habituales del orden de 2 a 10 m. acordes con las características tanto de la maquinaria utilizada en la cantera, como con el producto a obtener.

La competencia y cohesión de los macizos rocosos en las explotaciones de rocas ornamentales son tales que pueden permitir la eliminación de las bermas intermedias entre la superficie y los niveles de trabajo, aun cuando será buena práctica dejar unas pequeñas bermas como "quitamiedos".

Etapa 1.

Consistía en la apertura de una apertura o cuele en dirección perpendicular al banco en explotación. Este hueco que permite la posterior progresión de las labores de independización a ambos lados del mismo, tiene una forma en "V", aunque también se puede

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 23 de 23

realizar en forma de "U" con dimensiones aproximadas de 2 m. sobre la cara del banco, y 10 m. de fondo, y con un espesor variable según la técnica empleada. La función de este hueco o cuele es proveer el mínimo espacio necesario para la realización de los sucesivos cortes horizontales y verticales de los macizos adyacentes, permitiendo la introducción de los cables y de las guías. Los rendimientos de corte, prácticamente similares en todas las operaciones que implican el uso del hilo helicoidal, oscilan entre 0.6 y 1.5 m² /h. La apertura del cuele comienza con la perforación de un barreno vertical de diámetro comprendido entre 200 y 250 mm en el vértice de la "V", y continua con el corte por un hilo conducido por dos poleas, una en el interior del barreno, y otra situada en el exterior, frente a la cara del banco para realizar un primer corte vertical. Una vez finalizado este, se coloca en posición horizontal la columna exterior, y se continua el corte en abanico que completa la base de la misma. El último corte vertical en el otro lateral de la "V" completa la independización de la cuña o bloque.

Etapa 2.

Consiste en la ejecución de un corte horizontal sobre la base del gran macizo ubicado entre los lados del hueco creado. La longitud de cada macizo es del orden de 15/20 m, siempre en función de la adecuación del binomio vida útil del cable y de la superficie prevista de corte por plano.

Etapa 3.

Se realiza una subdivisión del gran bloque anterior mediante unos cortes paralelos al frente, y con unas distancias entre ellos variables y del orden de 15 a 20 m. Las dimensiones de los grandes bloques oscilan entre los 15 y 20 m de largo, 5 m de altura, y 2-3 m de fondo.

El gran bloque debe ser volcado sobre la plaza de la cantera, previa la colocación de un colchón o algún tipo de amortiguador constituido por arena o goma hinchable. Los medios de vuelco del bloque pueden ser los mismos que los descritos en el sistema de arranque con perforación, empleándose cada vez más las palas cargadoras, con un acoplamiento especial en forma de un gran gancho, que tirará suavemente del bloque.

Una vez situado el bloque sobre la plaza, comienza la última etapa para la obtención de unos bloques de medidas ya comerciales mediante sucesivos cortes y el escuadrado final. Esta etapa final se puede llevar a cabo con cualquiera de las técnicas de corte como también por hilo, o mediante el empleo de baterías de perforadoras y cuñas de accionamiento hidráulico, o

por una cortadora de brazo, dependiendo de las condiciones de coste de cada uno de ellos, así como de su disponibilidad en la cantera.



15. LANZA TÉRMICA (FLAME JET)

Este sistema se aplica exclusivamente en aquellas rocas de origen ígneo (granitos, dioritas, etc) cuyos contenidos en sílice alcanzan unos determinados niveles, y en operaciones muy concretas y complementarias como en la ejecución de rozas iniciadoras, siempre que el material tenga unas características adecuadas de decrepitudabilidad (**spallability**), por salto térmico entre el calor y el frío posterior e inmediato.

El corte con lanza térmica es una técnica que depende fundamentalmente de la capacidad de una roca para fracturarse en escamas en presencia de una fuente de calor por la diferencia de conductividad térmica de los diferentes granos constituyentes de la roca (p.e. cuarzo, feldespatos y mica). Tal característica se denomina factor de decrepitudabilidad o "spallability" y es una función del contenido de SiO₂. Pero no obstante, algunas determinadas propiedades facilitan una mayor posibilidad de fracturación en escamas, tales como:

- Gran dilatación a temperaturas mayores de 600°C.
- Rápida difusión térmica a temperaturas inferiores a 400°C.
- Tamaño homogéneo de los granos y sin inclusiones de micas alteradas.
- Carencia de materiales elásticos propensos a la fusión.

Los sistemas empleados para el corte en los granitos consisten en una lanza de longitud variable de acuerdo con la longitud de la zona a cortar, por cuyo interior discurren tres canalizaciones concéntricas de combustible, oxidante y agua que desembocan en una tobera o cámara donde se produce la combustión. Las ondas de choque térmico generadas por la combustión son conducidas al exterior a través de una tobera a unas velocidades supersónicas, produciéndose el proceso de calentamiento, que posterior e inmediatamente es enfriado por la salida del agua o vapor procedente de la refrigeración y por los gases de escape para producir, por un fuerte contraste térmico, la fracturación y la expulsión de los componentes del granito en granos diferenciales en forma de decrepitudación.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLOTACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	

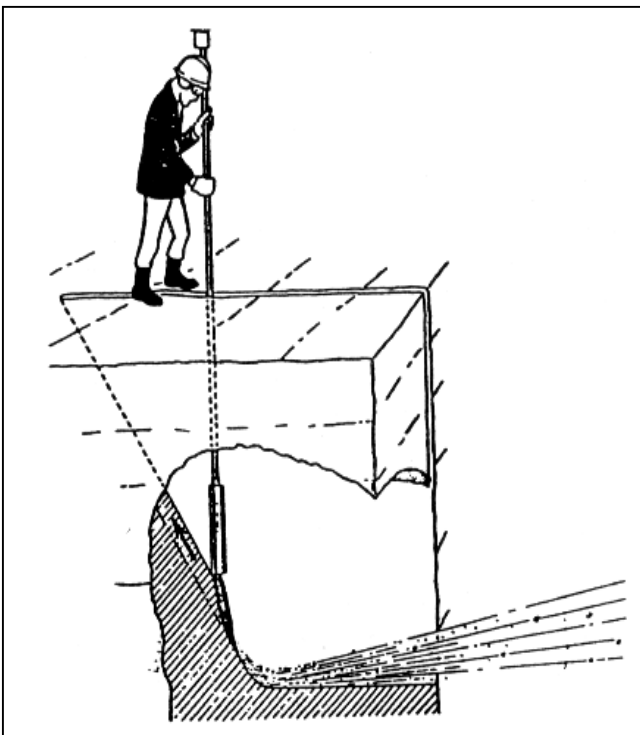
ROCA	VELOCIDAD (m/h)	DECREPITABILIDAD
GRANITO	7.5 - 9	BUENA
CUARCITA	13.5 - 18	BUENA
CONGLOMERADO	6	POBRE
ARENISCA	6	POBRE

Se pueden utilizar las siguientes mezclas de combustible y oxidante:

TIPO DE MEZCLA	ENERGÍA ESPECÍFICA (Julios/cm ³)
Propano - aire	6.280
Acetileno - Aire	5.020
Propano - oxígeno	4.890

En condiciones normales de operación, un equipo convencional consume del orden de 35 l/h de gasóleo, y unos 10 m³/mín. de aire comprimido a 7 Kg/cm² de presión.

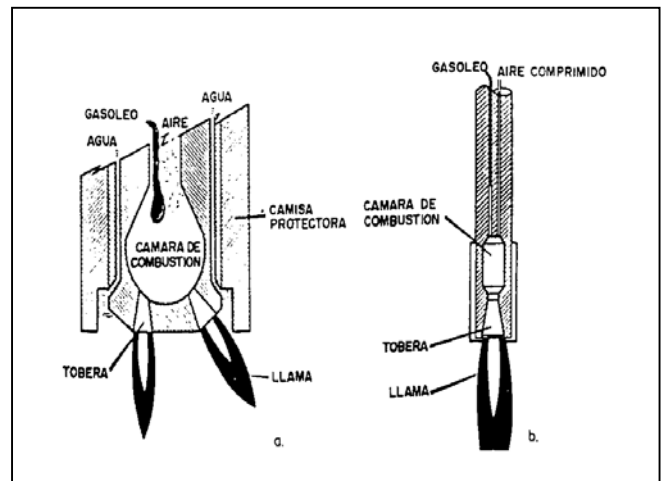
Este equipo se aplica, normalmente en las canteras de granito, en la fase primaria de la independización del macizo rocoso, mediante la creación de las rozas o de los canales transversales a los bancos de explotación.



La anchura de la rozadura producida por lanza térmica puede ser variable, y del orden de 60-80 mm, realizándose las ulteriores subdivisiones con perforación o hilo diamantado como ya se ha descrito anteriormente.



Las desventajas mayores en la aplicación de este sistema son fundamentalmente de tipo ambiental y tecnológico por su elevado nivel de ruidos y no ser excesivamente económico:

- Un elevado nivel de ruidos, mayor de 120 dB, que afecta a la explotación y su entorno.
- Una influencia negativa sobre la calidad de la cara de la roca en una profundidad variable, afectada por las fisuras y la vitrificación indeseables.



16. APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ARRANQUE DE LAS ROCAS ORNAMENTALES

Las técnicas de arranque descritas constituyen la base actual de la explotación de las rocas ornamentales. De acuerdo con su dureza y abrasividad, rendimiento en material aprovechable, dimensiones y perfección de acabado del producto final, se delimita el campo de aplicación de cada uno de los sistemas, que son operativos en la actualidad. Las líneas de investigación se orientan, hoy, en dos sentidos: el primero en una búsqueda y mejora de calidad de las herramientas de corte, fundamentalmente en los materiales de base diamantada para cables, discos y picas de rozadoras. Finalmente, y en cuanto a nuevas técnicas, éstas se orientan hacia el desarrollo de unos

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 3 EXPLORACIONES DE ROCAS ORNAMENTALES CARACTERÍSTICAS SINGULARES Y TÉCNICAS DE ARRANQUE	Pág.: 25 de 25

sistemas de chorro de agua a alta velocidad, bien sea sola, con adicción de abrasivos, o como complemento de la acción mecánica de determinadas herramientas, así como al empleo del arranque térmico con nuevas fuentes de energía como el Plasma, Rayo láser o haces de electrones con bajos consumos de energía específica.

En el cuadro adjunto se resumen las posibilidades de utilización de las técnicas descritas en este tema a los diferentes tipos de rocas ornamentales llamadas también actualmente piedras naturales.

Posibilidades de aplicación de las técnicas de corte actuales			
SISTEMA	GRANITOS	MÁRMOLES	PIZARRAS
PERFORACIÓN	P	P	P
HILO DIAMANTADO	P	P	P
ROZADORA DE CADENA	I	P	P
DISCO DIAMANTADO	M	P	P
LANZA TÉRMICA	M y P	I	I
CHORRO DE AGUA	D	D	D

Siendo:

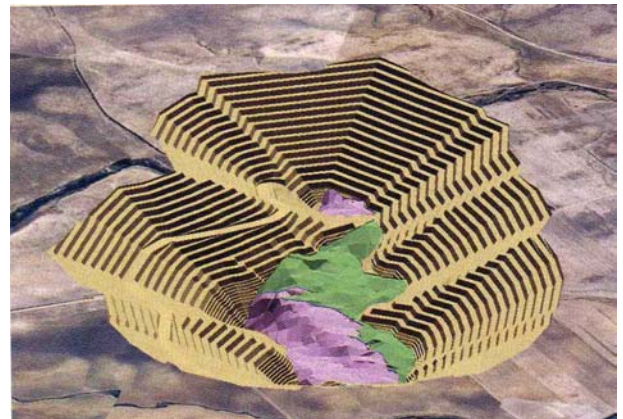
P = POSIBLE
 M = MARGINAL
 I = IMPOSIBLE
 D = DESARROLLO

EXPLORACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS

Juan Herrera Herbert
Fernando Pla Ortiz de Urbina

OBJETIVOS DEL TEMA

1. Entender qué tipos de explotaciones mineras son las que quedan englobadas bajo la denominación de "Cortas".
2. Saber cuales son las características generales de este tipo de explotaciones.
3. Comprender cuales son los procesos básicos que se dan en la operación productiva de una corta.
4. Deducir cuales son las ventajas y los inconvenientes de las explotaciones a cielo abierto
5. Caracterizar cual es la problemática que, en general, debe afrontarse cuando se explota una corta.
6. Conocer el concepto de "Break-even" y el de "Stripping Ratio".
7. Saber qué son:
 - El ratio límite económico.
 - El ratio inicial.
 - El ratio anual.
 - El ratio final
 - El histograma de ratios.
8. Conocer las líneas generales que suelen gobernar las secuencias de explotación.
9. Conocer el tipo de maquinaria habitualmente empleado en las explotaciones por corta.
10. Conocer como cambian las explotaciones en función de la secuencia de ataque implantada en el avance de los frentes de explotación.





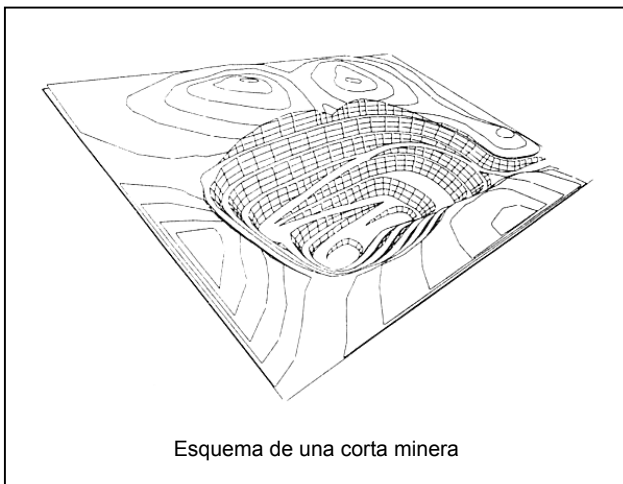
Proyecto de la Corta de Cobre Las Cruces en Sevilla
Cortesía: Cobre Las Cruces

1. LA CORTA MINERA

Las explotaciones mineras por el método de corta, o simplemente cortas mineras, se definen como unas explotaciones a cielo abierto tridimensionales en las que concurren las siguientes circunstancias

- Explotan yacimientos masivos con una importante profundidad, de capas inclinadas, de masas de rocas o de minerales de baja ley, que obligan a una profundización en la excavación ya que por la estructura o buzamiento del yacimiento, queda siempre mineral en el fondo.
- La explotación se lleva a cabo tridimensionalmente por banqueo descendente, con secciones verticales en forma troncocónica y un gran número de bancos.
- La explotación se hace en un entorno de roca dura, resistente y en algunos casos, muy abrasiva, lo que requiere del uso de la voladura como técnica de arranque, de la carga con grandes excavadoras (o palas en su caso) y el transporte con volquetes mineros (dumpers).

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 2 de 2



- La necesaria profundización exige la extracción de materiales estériles, tanto interiores como externos al criadero, y que tienen que ser depositados en unos vertederos exteriores al propio hueco.
- La altura final de la explotación es una variable del diseño geométrico del hueco proyectado.

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

La profundidad de estas explotaciones suele ser grande, llegándose en algunos casos a superar los 300 m. Salvo en los yacimientos con una gran corrida, como sucede con los de carbón, las posibilidades de relleno de hueco con los propios estériles son escasas. Por ello es siempre necesario crear depósitos exteriores para albergar esos materiales.

En líneas generales, las magnitudes, desarrollo y dificultades a superar en la explotación de cortas, sobrevenidas fundamentalmente por la necesidad de tener que profundizar, han convertido a este método de cielo abierto en el más avanzado técnicamente, y aún cuando sea superado en el volumen movido anualmente por algunas explotaciones de descubierta. Las cortas son, en general, unos movimientos de gran escala, con un arranque de unas rocas más resistentes, con importantes problemas de estabilidad de los taludes, con la necesidad de aplicar algunas

técnicas de selectividad para reducir la dilución entre las rocas estériles y los minerales, con unas mucho mayores distancias de transporte tanto en horizontal como en vertical y por supuesto con unas importantes profundidades que alcanzan hasta los 700 m. en la histórica mina de Bingham Canyon (Utah).

La vida de estas explotaciones suele ser grande, por lo general superior a los 15 o 20 años, al menos en la minería metálica, existiendo algunas explotaciones bien conocidas que han trabajado durante más de un siglo.

Aunque las cortas son explotaciones tradicionales de la minería metálica, es un método muy versátil y permitió que, a partir de los años 70, se adaptaran también a los yacimientos de carbón, introduciendo algunas modificaciones, como se verá más adelante. En estas explotaciones, suele ser viable la

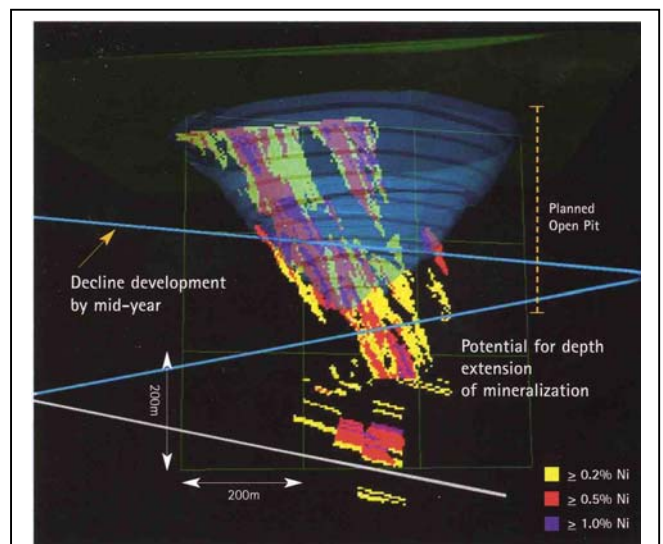


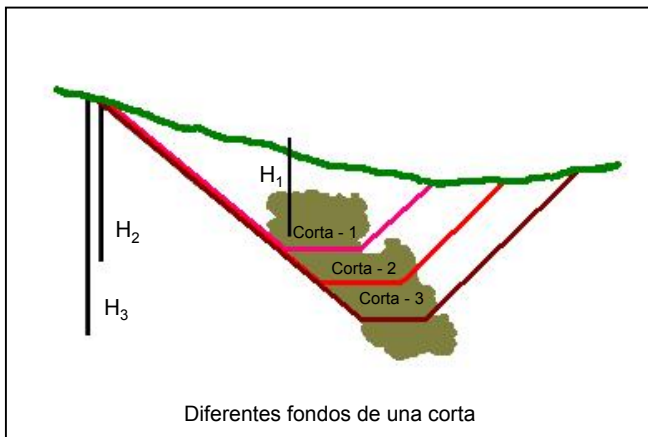


Diagrama del yacimiento y proyecto de explotación por corta de Aguablanca, España (Cortesía: Río Narcea Recursos, S.A.)

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 3 de 3



transferencia de los estériles a los huecos creados, pues los yacimientos son alargados y, una vez alcanzada la fase de hueco inicial en un extremo del depósito, es factible efectuar el autorrelleno.

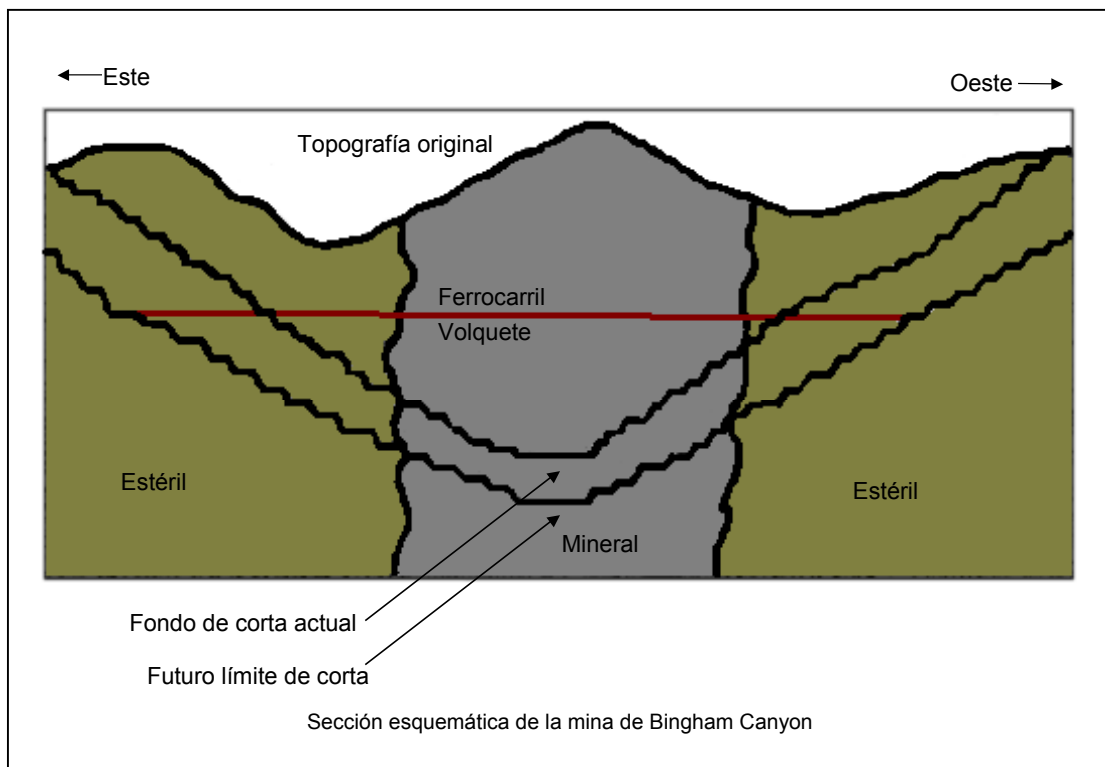
2. PROCESO Y OPERACIÓN



El proceso básico para realizar una corta convencional consiste en la apertura de unos bancos sucesivos para la creación de un hueco o excavación que descubra el mineral tras el movimiento del estéril hacia los vertederos interiores o exteriores, mediante la ejecución de unos barrenos en los que se coloca una

carga de explosivos para lograr la fragmentación de la roca en tamaños manipulables por la maquina de carga, que puede ser una excavadora o una pala, que lo coloca sobre una unidad de transporte como volquetes, vagones de ferrocarril o cintas transportadoras, en cuyo caso puede ser requerida una trituración en la mina para lograr el tamaño más adecuado, que lo llevan hasta la planta de proceso, si fuera mineral o al vertedero si fuera estéril.

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

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



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 4 de 4

3. VENTAJAS DE LAS MINAS A CIELO ABIERTO

1. Mejor recuperación del volumen de mineral explotable.
2. Planificación más flexible a medida que progresa el tajo.
3. Los niveles de riesgo en el trabajo disminuyen
4. La mecanización no tiene limite en cuanto a dimensiones de los equipos.
5. El esfuerzo físico de los trabajadores es menor.
6. La productividad es más alta.
7. Los tonelajes por cada voladura son mucho mayores.
8. Los problemas de ventilación prácticamente no existen.
9. Los costes por tonelada movida son más bajos.

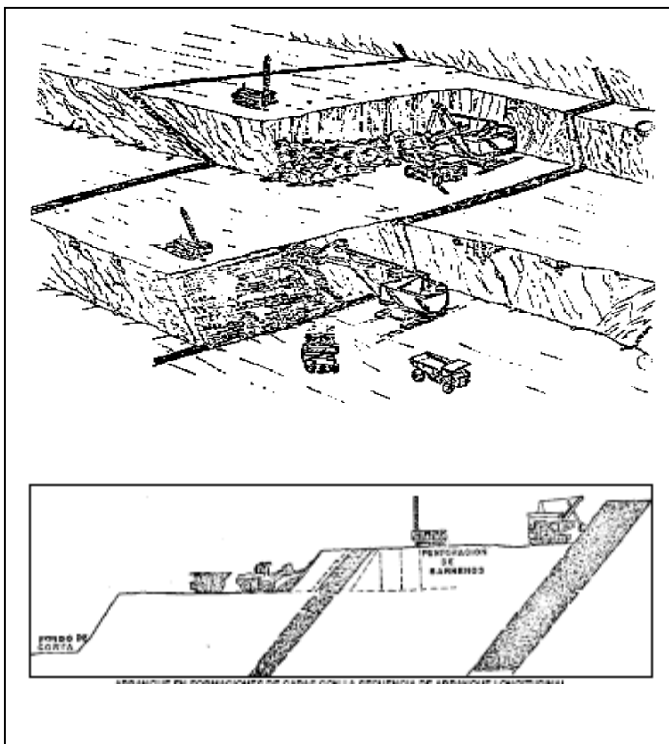
4. DESVENTAJAS DE LA MINA A CIELO ABIERTO

1. Las inversiones en equipos son cuantiosas y las cargas financieras son altas.
2. El equipo es más sofisticado y necesita una mano de obra más calificada.
3. Los agentes atmosféricos naturales tienen un fuerte impacto (lluvia, nieve, niebla).
4. Los frentes de trabajo deben estar mejor organizados.
5. Se generan importantes impactos en el entorno que deben ser corregidos por medio de una restauración a veces onerosa.



5. PROBLEMÁTICA A RESOLVER

Algunos de los problemas específicos que una explotación por el método de corta puede plantear son:

- La definición del mineral y su separación a partir de una ley mínima de corte.
- La existencia de minerales marginales que habrán de almacenarse.
- La estabilidad de grandes taludes y vertederos.
- Las relaciones de estéril a mineral y
- La necesidad generalizada de contar con una planta de concentración para tratar todos los minerales y poder elevar su contenido pagable hasta el mejor valor vendible.



En la resolución de estos y otros problemas, siempre ha estado presente el avance de la tecnología minera, que ha caracterizado a este método de minería que, si bien es muy clásico y ha sido profusamente aplicado para extraer minerales metálicos como, Hierro, Cobre, Plomo, Zinc, Aluminio, Uranio, Oro y otros, también se aplica a la minería de otras sustancias, como por ejemplo en los Carbones cuando se presentan en capas muy inclinadas, en los minerales industriales (Feldespatos, Caolines, Piritas, etc.), con buzamientos casi verticales e incluso en las mismas rocas ornamentales como los mármoles y granitos de gran

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 5 de 5

valor que se han visto obligadas a profundizar las canteras. En el sector de los áridos también se encuentran claros ejemplos de aplicación de esta metodología como es el caso de la aparición de las denominadas "Supercanteras" (Super-quarries).

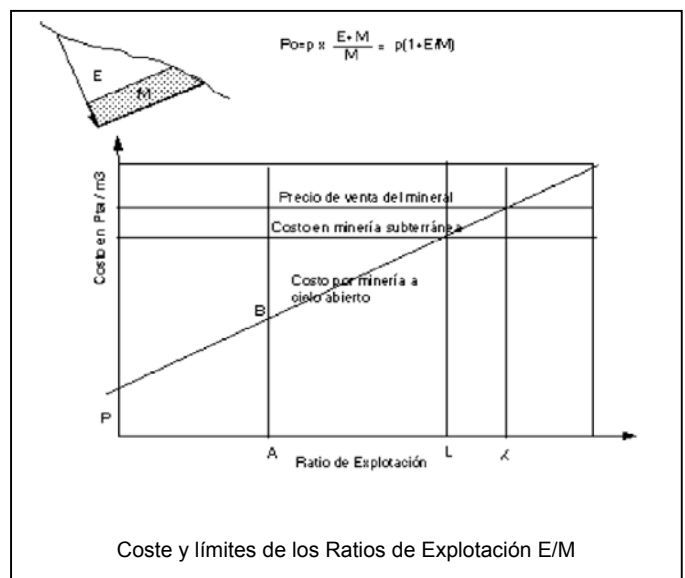
Todos esos graves problemas, cuya solución o reto ha dado lugar a la aparición de técnicas y maquinaria para su aplicación en este método y conseguir reducir los costos que implica la mayor profundización, tan especiales como:

- Utilización permanente de la modelización y simulación informática para la planificación y el control y del espectrógrafo para el conocimiento de las leyes.
- Importante esfuerzo de la planificación y de la investigación geológico minera para el control de masas y leyes.
- Evaluación dinámica de las reservas de mineral.
- Perforación de barrenos con grandes diámetros.
- Desarrollo y perfeccionamiento de la ejecución de grandes voladuras.
- Empleo de grandes excavadoras eléctricas e hidráulicas con capacidades que superan los 50 m³ de capacidad de cazo, y empleo de palas cargadoras con capacidades de cazo que ya han superado los 20 m³.
- Desarrollo de volquetes mineros diesel – eléctricos o de tracción mecánica que ya hoy día superan las 350 t de capacidad de transporte.
- Profusión del empleo de plantas móviles de trituración para poder emplear un transporte por cintas de gran capacidad y continuidad en fuertes pendientes.
- Desarrollo y utilización de cintas transportadoras de alta capacidad para granulometrías de roca de más de 200 mm. y con anchos de banda de más de 1 500 mm.
- Maquinaria auxiliar de gran tamaño para el mantenimiento de la mina, de instalaciones o de la maquinaria.
- Control y seguimiento permanente de la estabilidad de bancos y taludes.





- Drenajes y desagües de grandes caudales de líquidos.
- Torres de control de tráfico y operaciones mineras.
- Iluminación nocturna de los tajos de trabajo.

$$R_L = \frac{\text{Precio de venta} - \text{Costes extracción de mineral}}{\text{Costes extracción de estéril}} = \frac{P_V - \sum C_M}{\sum C_E}$$



La secuencia de trabajo en una corta viene definida por la sucesiva y reiterativa apertura y formación de los bancos o niveles de trabajo descendentes hasta

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 6 de 6

alcanzar la profundidad final calculada y en la conexión planificada entre los bancos mediante unas rampas con una pendiente más o menos constante.

La existencia de mineral en el último banco planeado de la explotación impide el depósito del estéril en el fondo de la mina o sea en el propio hueco, ya que en su día podría ser también económicamente explotable. Lo cual no quiere decir que no pueda ser realizado el relleno del hueco al cabo de cierto tiempo o por la separación de módulos espaciales.

La determinación del talud final e incluso de los parciales en algunas zonas de la mina, constituye un gran problema que debe resolverse previamente para poder establecer la altura crítica de la explotación, y con ello el fondo final, que viene definido fundamentalmente por la relación de estéril a mineral que el precio de venta del mineral es capaz de pagar. Este ratio límite económico es el llamado **Break-even Stripping ratio** y viene definido por la fórmula:

Se denomina ratio, E/M, a la relación entre el estéril a mover, E, necesario para descubrir y poder arrancar M toneladas de mineral. El concepto de ratio, al ser temporal y espacial, es un elemento de la planificación técnica y no una herramienta de carácter económico.

Existen, pues, algunos otros conceptos ratio además del ya mencionado ratio límite económico, como son:

Ratio inicial:

Desmante mínimo necesario para descubrir las toneladas iniciales necesarias para mantener el ritmo anual, que en lógica es infinito, pero que se calcula en base a las toneladas descubiertas al iniciar la mina.

Ratio anual:

Desmante preciso o programado para un período de un año con objeto de mantener el ritmo de extracción en los años posteriores.

Ratio final:

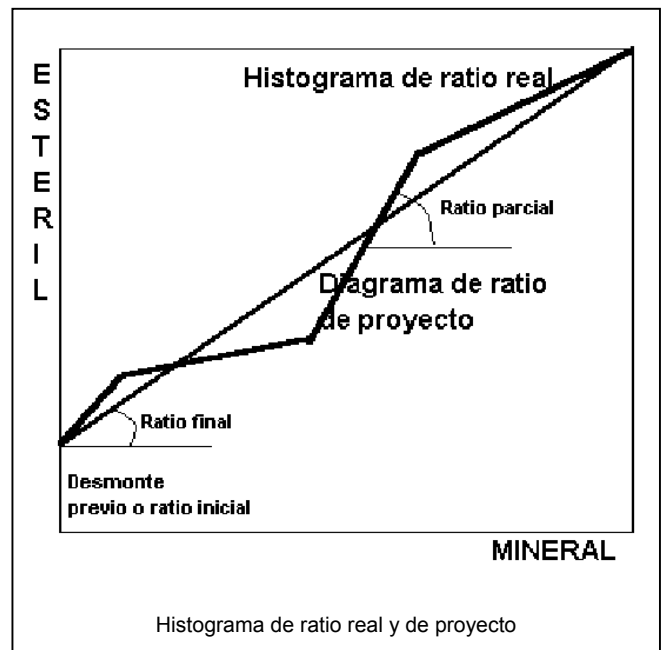
Es aquel que comprende todo el período fijado para la vida del proyecto considerado.

Se denomina histograma de ratios a la curva real de los volúmenes de estériles $E(m^3)$ y de las toneladas M (t) extraídas a lo largo de la vida de la mina. Constituye un valioso control del avance o del retroceso con relación al proyecto o plan preestablecido.



En función de los ratios iniciales y de los límites, se debe establecer la altura crítica de la explotación y con



ello el fondo de la mina, que es la base fundamental para establecer los programas anuales de trabajo y marca la posibilidad de una cierta restauración o rehabilitación de la zona afectada por la minería.



Otros parámetros de importante peso, en el diseño de las operaciones mineras por el método de corta, son las magnitudes geométricas de los bancos y en especial su altura, que debe tratar de permanecer constante a lo largo de los sucesivos niveles y que contribuye a determinar la adecuada selección de la maquinaria. También la anchura de trabajo determina la holgura operacional, base de un trabajo cómodo y más económico, así como la longitud y número de los bancos abiertos en operación.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 7 de 7

En España existen grandes ejemplos de la mejor minería por cortas de Europa como fueron los casos de Alquife, Cartagena, Río Tinto, Aznalcollar, Los Frailes, Reocín, Cala, Almadén y las más modernas aplicaciones en las explotaciones de capas de carbón muy inclinadas y por banqueo descendente entre las que destaca Puertollano en la que ha sido posible combinar la explotación por corta en bancos descendentes con una transferencia del estéril al propio hueco de la mina.

6. SECUENCIA Y MAQUINARIA POR EL MÉTODO DE CORTA

Como se ha indicado al principio, la minería por "corta" o minería profunda viene definida como un método tridimensional, destinado a poder alcanzar grandes profundidades a través de un sistemático y múltiple banqueo descendente. Este método de explotación se aplica normalmente en aquellos yacimientos cuyas características principales sean:

- Potentes capas o masas con buzamientos superiores a 25° y más generalmente, los de buzamiento vertical.
- Conjunto de capas o filones, con potencias muy variables o de yacimientos complejos con una difícil selectividad del mineral.
- Cuando el arranque del estéril y/o del mineral requiere la ejecución de perforación y voladura con explosivos.
- Cuando las reservas demostradas no permiten una gran inversión inicial, como las que se requieren en otros métodos más específicos o se piensa en contratar la operación con maquinaria de obras públicas o convencional.

El diseño básico de una explotación profunda, de acuerdo con las etapas de la Ingeniería minera, explicadas anteriormente, consiste en el diseño geométrico del hueco, de los bancos y las rampas, con una idea previa de la maquinaria o del tamaño a utilizar, para posteriormente seleccionar la maquinaria y formar el personal. Dentro del diseño geométrico el punto más importante es la determinación de las características del banco de operación, que por su carácter repetitivo es la constante más importante que afecta a la eficiencia y los costes de la mina. Como criterios recomendables para la geometría del banco podemos enunciar los siguientes:



- a) La altura del banco debe estar en equilibrio con la máquina de carga. Entre 10 y 15 m para las excavadoras eléctricas y menos de 10 m para las palas cargadoras.
- b) La anchura de la zona operativa del banco debe estar entre 3 y 5 veces la altura, para que quepan "holgadamente", la voladura, la carga y el transporte más una zona de seguridad.
- c) El número de bancos en operación no debe ser escaso ni excesivo siendo recomendable el número de 4: uno en investigación, otro en apertura, otro en plena producción y otro terminándose.
- d) La longitud total de banco (suma de los bancos abiertos) debe ser directamente proporcional a la producción e inversamente a la altura del banco.
- e) Otro factor de diseño esencial es la rampa de unión entre los bancos y los puntos de descarga de mineral o estéril cuya pendiente depende esencialmente del sistema de transporte a utilizar y cuya anchura, al igual que la del banco debe ser entre 3 y 5 veces la necesaria para el módulo unitario del transporte por volquete, cinta o ferrocarril.

Los sistemas y la maquinaria que se aplican convencionalmente en los movimientos de arranque y transporte de las rocas y del mineral de las cortas con importantes profundidades se pueden agrupar en:

1. Tractores
2. Mototrallas
3. Retroexcavadora con volquete
4. Dragalina
5. Excavadora / Volquete (Pala / Volquete)

6.1. TRACTORES

Además de sus otros múltiples usos en los servicios de la mina, los tractores o bulldozers pueden ser utilizados en el arranque y empuje del material más superficial hasta el borde del banco en sistema de arranque y transporte. También, como una máquina de arranque, se puede utilizar empleando el ripper o escarificador, arrancando y extrayendo las rocas más débiles y superficiales en donde la voladura no fuera necesaria. La distancia límite económica de arranque y arrastre con tractor suele estar en unos 150 metros generalmente.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 8 de 8



Tractor modelo D10T (Cortesía: Caterpillar)

Es el caso de la antigua explotación de Andalucía de Minas en Alquife (Granada) que, para remover unos 14 millones de m³/año de aluviones, utilizaban los más grandes tractores disponibles en ese momento, que arrancaban, empujaban y transportaban hasta unas tolvas que alimentaban a largas cintas de transporte hasta el vertedero (Rock-Belt).

6.2. MOTOTRAILLAS

Aunque su nacimiento y mayor utilización está en las obras públicas y civiles, también se pueden emplear en algunas zonas u operaciones mineras para aquellos materiales blandos y muy bien fragmentados hasta una granulometría de 30 x 30 cm. La distancia límite económica de transporte con mototraillas está situada entre los 600 y 800 m. en material escarificable, y entre los 1.000 y 1.500 m. para terrenos sueltos de excavación directa.

Se emplean muy económicamente para la restitución del terreno y especialmente en el movimiento de la tierra vegetal y también son muy útiles en las fases iniciales del desmonte con los materiales muy alterados como fue el caso de la antigua corta de Aznalcollar y Sabero o en la minería de los materiales blandos como para la extracción de las arenas, los lignitos, los fosfatos y las bauxitas.

6.3. RETROEXCAVADORA CON VOLQUETE

Por sus especiales características de trabajo este sistema se suele utilizar más para la extracción y limpieza del mineral que para la carga y transporte del estéril.

Las mayores ventajas de emplear una máquina del tipo de la Retroexcavadora son:

- Mejor limpieza del mineral, y por consiguiente, una menor dilución o mezcla del mineral con el estéril, dado el mayor control y la facilidad de colocación del cucharón de la máquina en el frente del banco, así como por el uso de unas especiales cucharas o aditamentos para el arranque, la limpieza y la carga.
- Al poder permanecer la Retroexcavadora y el volquete en un nivel superior, se puede suprimir o retrasar la ejecución de la rampa de acceso al último nivel y así poder trabajar en una zona más preparada y con menores problemas de arranque o de presencia de agua.





Cortesía: Liebherr, Grupo Komatsu.



Como principales desventajas, podemos destacar:

- Se podría dar lugar a una inversión de las fases de descubierta y extracción del mineral muy peligrosa a medio plazo para la mina.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 9 de 9

- La capacidad de la cuba es generalmente muy limitada y también la longitud del brazo lo que obliga a unos bancos más pequeños y unas producciones bajas, insuficientes en general para mover los grandes volúmenes de estéril.
- El piso inferior puede quedar en peores condiciones, al ser el avance en retirada y no ver el operador el frente directamente.
- El operador no visualiza el mineral tan frontalmente como con la pala o excavadora frontal, con lo que se puede perder algo de selectividad.

6.4. DRAGALINA

Es la maquinaria más apropiada para el sistema americano de transferencia, y con su desarrollo en capacidad está siendo empleada cada vez más en el fondo de algunas explotaciones de método mixto. Este sistema es muy adecuado para el arranque y el vertido directo de aquellos materiales de resistencia baja (menos de 40 MPa). Su operación viene a ser como la de las retro excavadoras, pero con unas mayores dimensiones de cuba y de longitud del brazo.



Por las ya citadas características de los yacimientos en donde se puede y debe aplicar el método de corta, se descarta en general la utilización de este sistema, excepto para los últimos metros del fondo de la explotación. En estos casos se tendría que extraer tanto el mineral como el estéril, pudiéndose producir una dilución del mineral y, obviamente, un bajo recobro para las capas estrechas, debido al gran tamaño, al poco control y a la forma de maniobrar, por lanzamiento, del cucharón.



Aunque este sistema es muy competitivo en costes con el mixto constituido por excavadoras y volquetes para los últimos metros de la explotación, suele rechazarse en base a ciertas consideraciones prácticas de duplicidad de maquinaria, salvo en las grandes operaciones de ultramar, nuevas y con unas grandes reservas.



6.5. EXCAVADORA / VOLQUETE (PALA / VOLQUETE)

Dentro del método de explotación por corta, el sistema cíclico de carga diferenciada con pala o excavadora y de transporte con volquetes mineros es el llamado convencional, siendo muy práctico, bien ensayado y probado en todo el mundo. Las características principales de este sistema son:

- Gran flexibilidad operativa para imprevistos cambios de tajo o del material.
- Rango de distancias económicas muy elevada.
- Alta fiabilidad y disponibilidad mecánica del sistema
- Fácil contratación de la maquinaria por su similitud con la utilizada en la Obra Pública.
- Buena selectividad entre mineral y estéril, pudiéndose separar muy fácilmente los diferentes materiales de una explotación.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 10 de 10



Pala Cargadora CaT 994 (Cortesía: Caterpillar)



la máquina de carga del estéril, cuyo objetivo es el menor coste, lo que en general se obtiene con la mayor cuba.

- Tres o cuatro volquetes por cada excavadora, lo que es función de la longitud y del perfil del transporte y de la capacidad del camión, pero que deben estar equilibrados con la capacidad de la cuba. Una buena relación está en el orden de unas 10 t de capacidad de transporte por cada m³ de capacidad de la cuba de la cargadora o que el ciclo de llenado de la unidad de transporte sea entre 2 y 3 minutos.
- Para la limpieza del techo de las capas de carbón o de horizontes mineralizados similares y antes de arrancarlas y cargarlas con palas u otras máquinas, se pueden utilizar las retro excavadoras, tanto para la limpieza del techo y muro como para después de la carga. En estos casos de capas estratificadas la máquina retro debe ir equipada con una cuchara con hoja plana para la mejor limpieza y tener el suficiente alcance para poder realizar el trabajo en toda la altura del banco.
- Tractores de orugas, de neumáticos y motoniveladoras en número suficiente para el

Como normas habituales en el dimensionado y el diseño del equipo principal, en este sistema convencional, se deben considerar o recomendar las siguientes:

- Una máquina perforadora por cada excavadora si no se realiza el arranque directo. Una equilibrada relación en tamaños está en 1" de diámetro del barreno de perforación por cada m³ de capacidad de la cuba de la cargadora.
- Una excavadora para cada tipo de material o para cada banco siendo de una menor capacidad la máquina dedicada al arranque del mineral, por su menor producción y su especial selectividad, que



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 11 de 11

mantenimiento de las pistas y para limpieza en general, especialmente de las áreas de carga de la excavadora y del mantenimiento de los vertederos. Los tractores de orugas se emplean para nivelar los baches de al menos 1 yarda (0,90 m) de altura, los tractores de neumáticos para los baches de hasta 1 pie (0.30 m) y la niveladora para arreglar y terminar las superficies de bancos y pistas con baches de hasta 1 pulgada (25,4 mm)

- Camiones de riego para la eliminación del polvo en el tajo, pistas, caminos y vertederos y para



mejorar el ambiente de toda la zona de trabajo.

- Compactadores, que se emplean en la construcción o en el mantenimiento de pistas, de terraplenes y en ocasiones en los vertederos o vacies, para así reducir el volumen ocupado y mejorar la estabilidad final.
- Talleres móviles y de servicios para la maquinaria pesada y fijos para las máquinas más sencillas y móviles (volquetes, palas, tractores, etc).
- Estaciones de servicio para el repostado de consumos.

Se trata, pues de un método y sistema más complejo por el gran número de los elementos, pero mucho más flexible y por ello muy popular en la minería moderna.



Mina "Escondida" (Chile)

7. SECUENCIA DE ATAQUE O FRENTE DE EXPLOTACIÓN



Dentro del método convencional de explotación por un banqueo descendente o corta, puede efectuarse el ataque o secuencia de avance en tres direcciones, principalmente en el caso de los yacimientos de los minerales sedimentarios con una morfología longitudinal y alargada, aunque es válido para cualquier tipo, pues siempre existe una dirección preferente y de mayor longitud (Determinar la elipse de las direcciones en los yacimientos de carbones, fosfatos, filones metálicos, etc). Estas secuencias de avance son:

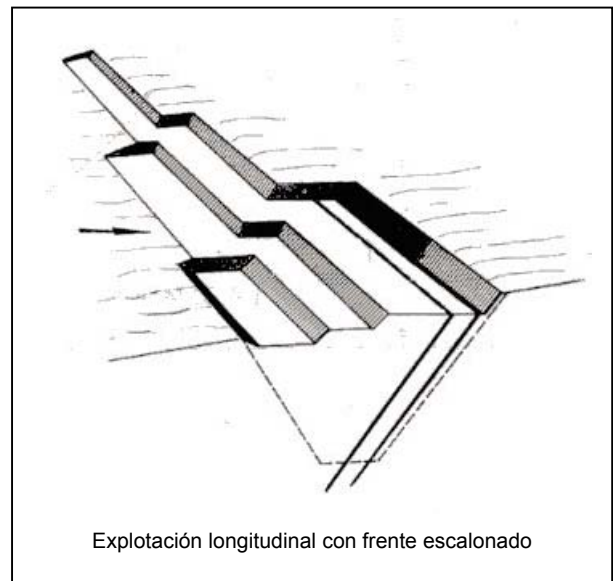
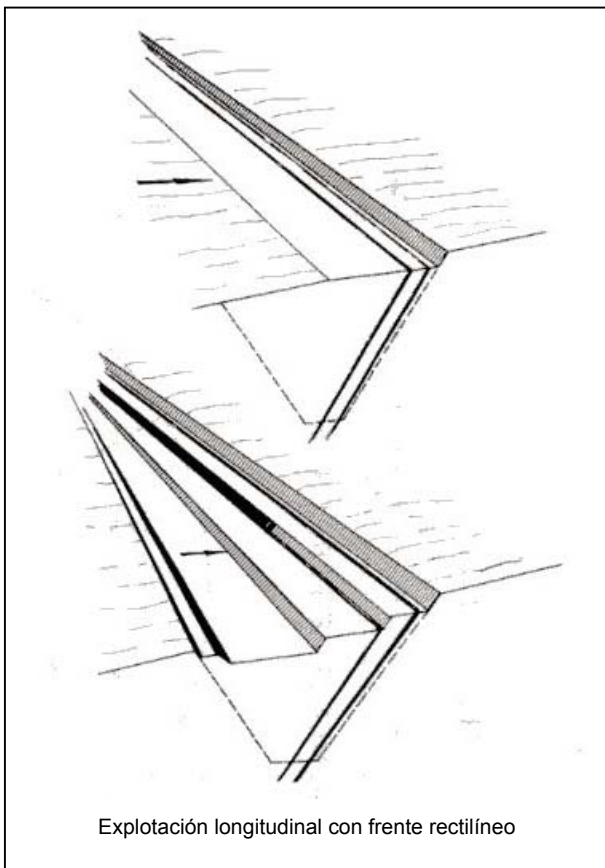
- Explotaciones longitudinales (paralelas al rumbo).
- Explotaciones transversales (normales al rumbo).
- Explotaciones diagonales o mixtas (en ángulo con él).

7.1. EXPLOTACIÓN LONGITUDINAL

Este tipo de secuencia o avance de la explotación consiste en llevar la operación de arranque en unos bancos paralelos a la dirección de las capas o de los filones.

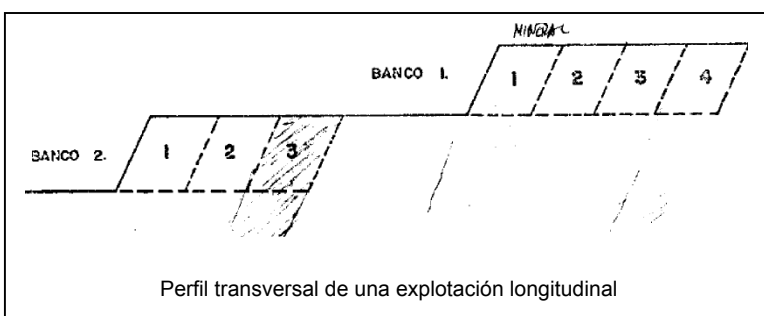
El desmonte se debe iniciar en las cotas superiores del yacimiento, atacando en toda su longitud y progresando de techo a muro del paquete mineralizado. Una vez que el banco superior haya avanzado una distancia que se estimará como

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 12 de 12



suficiente, se puede iniciar el arranque en un nuevo segundo banco, a una cota inferior, progresando igualmente de techo a muro, y así sucesivamente hasta llegar al fondo proyectado de la corta.

Una variante que se emplea en algunas ocasiones, consiste en dividir la longitud total del frente de cada banco, en módulos, realizándose la excavación en cada uno de estos de una forma desfasada en el espacio. Así pues, en el primer banco se inicia la explotación de un segundo modulo simultáneamente con el arranque del primer modulo del segundo banco. De esta forma el frente global de trabajo está constituido por tantos frentes parciales como bancos existan, es decir para dos bancos, dos frentes (B + B₁), para tres bancos, tres frentes (C + C₁+ C₂) etc.,





cuya disposición espacial resulta de forma escalonada. Este sistema, permite en algunos casos tener un mayor margen de flexibilidad para regularizar los ratios parciales de la explotación, y al mismo tiempo lograr una homogeneización o una mezcla de las calidades del mineral en la propia mina por proceder de varias capas o filones de distintos niveles.

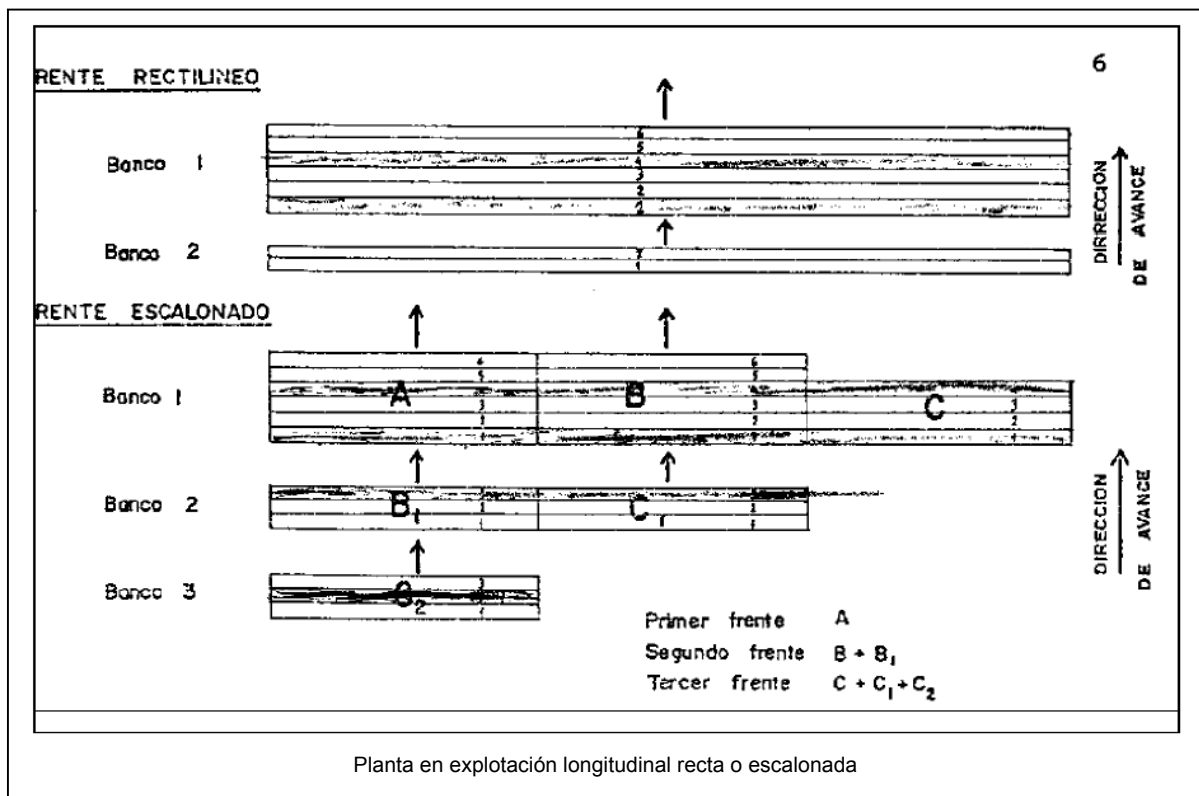
Las principales ventajas de esta forma de ataque son:

- Rápido acceso al mineral en varios frentes o capas, con un menor desmonte inicial.
- Facilidad para abrir frentes largos, lo que podrá dar una producción de mineral más flexible para así responder a las variaciones de la demanda.
- Posibilidad de trabajar en un gran número de bancos.

Las mayores desventajas de esta solución, son:

- Los taludes finales serán poco seguros porque una vez acabados tendrán que permanecer abiertos hasta el final de la explotación.
- Las variaciones en la producción de mineral dependerán de las potencias de las capas y de las dimensiones relativas de las intercapas o intercalaciones de estéril entre capas.
- Mayor dificultad en la ejecución de la mezcla de minerales para lograr un

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 13 de 13



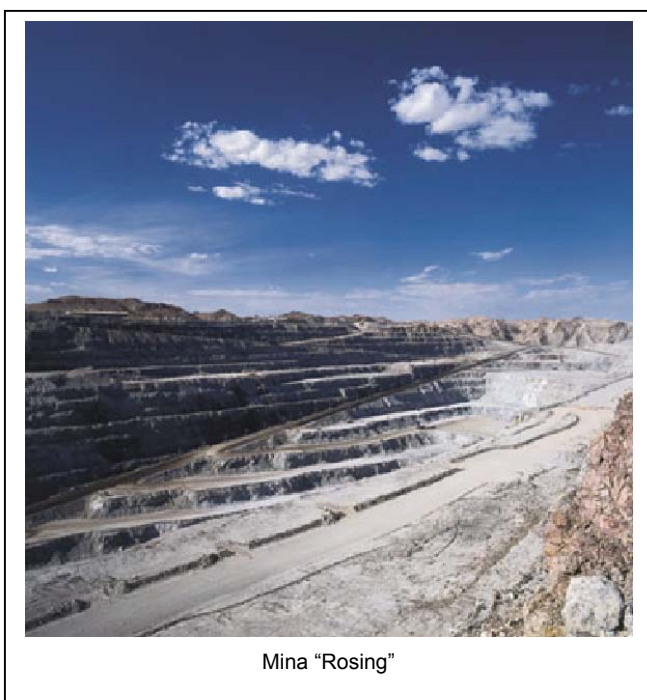
control homogéneo de la calidad, aunque menor en el caso de utilizar la variante.

la restauración final del terreno minado.

- Imposibilidad de empezar a rellenar el hueco final de la explotación en una primera etapa, lo que hará más problemática la ejecución de



Como se observa en la figura adjunta, la perforación y voladura, cuando es necesaria, se tiene que llevar vertical o aun mejor, inclinada hasta casi la vertical del pie de la capa o filón y el último volumen de estéril con una forma de prisma triangular, se tendrá que arrancar bien con:

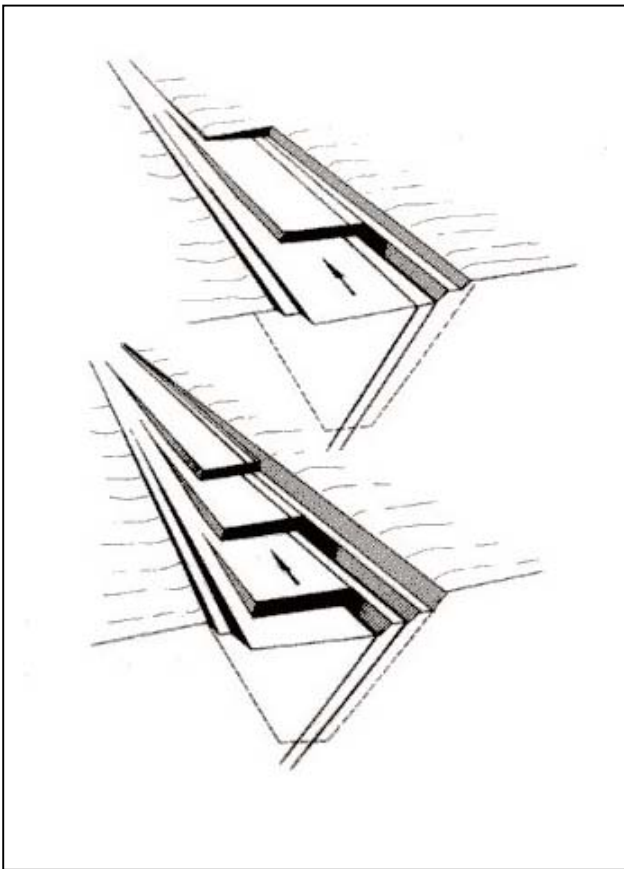
- Perforación inclinada lo más paralela posible a la inclinación de la capa o filón y posterior voladura.
- Con la misma excavadora, si la resistencia remanente de la roca lo permite.
- Ripado con un tractor con potencia y escarificador adecuados o con una Retroexcavadora con un fuerte diente acoplado.



7.2. EXPLOTACIONES TRANSVERSALES

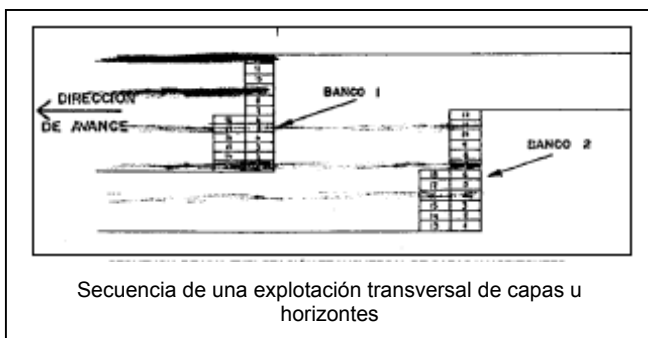
Esta secuencia comienza en un extremo del banco más alto y debe avanzar a lo largo del rumbo de la formación. La cara de trabajo es normal a este y se extiende a todo lo ancho del banco desde el talud de techo al talud de muro. Cuando se haya avanzado una

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 14 de 14



longitud lo suficiente como para permitir la operación y la movilidad del trabajo de los equipos mineros, se comienza el segundo banco avanzando en él simultánea y paralelamente al anterior. Así se profundiza sucesivamente hasta el fondo de corta proyectado.

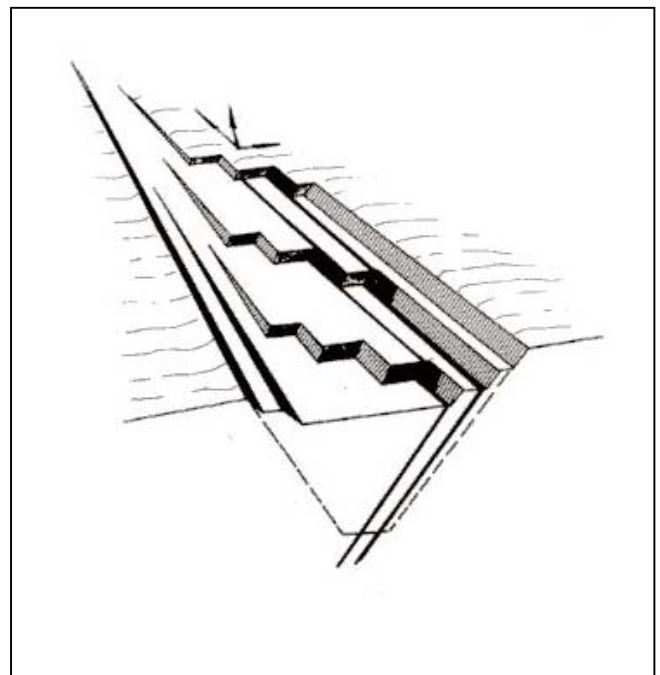
Como es natural, aunque el avance de la mina es, en verdad, transversal, el arranque del mineral se debe realizar siempre de techo a muro, siendo así más fácil su limpieza y selectividad, reduciéndose la dilución que se produciría si el arranque se efectuara normal al buzamiento.



Las ventajas de esta secuencia de ataque son:



- Permite el relleno del hueco producido y por tanto la pronta restauración del terreno, muy próximo al arranque del mineral.
- La estabilidad de los taludes es un problema menor, pues se protege realizando rápidamente el relleno del hueco producido.
- Proporciona unos frentes más largos que en la secuencia del ataque por explotación transversal, lo cual es una ventaja cuando se tengan que diseñar e incluir las rampas.
- Existe la posibilidad de efectuar unas mezclas de mineral, mejorando la homogeneidad del producto minero.

La única desventaja práctica es que se retrasa el momento de efectuar el relleno, con respecto a la secuencia anterior.

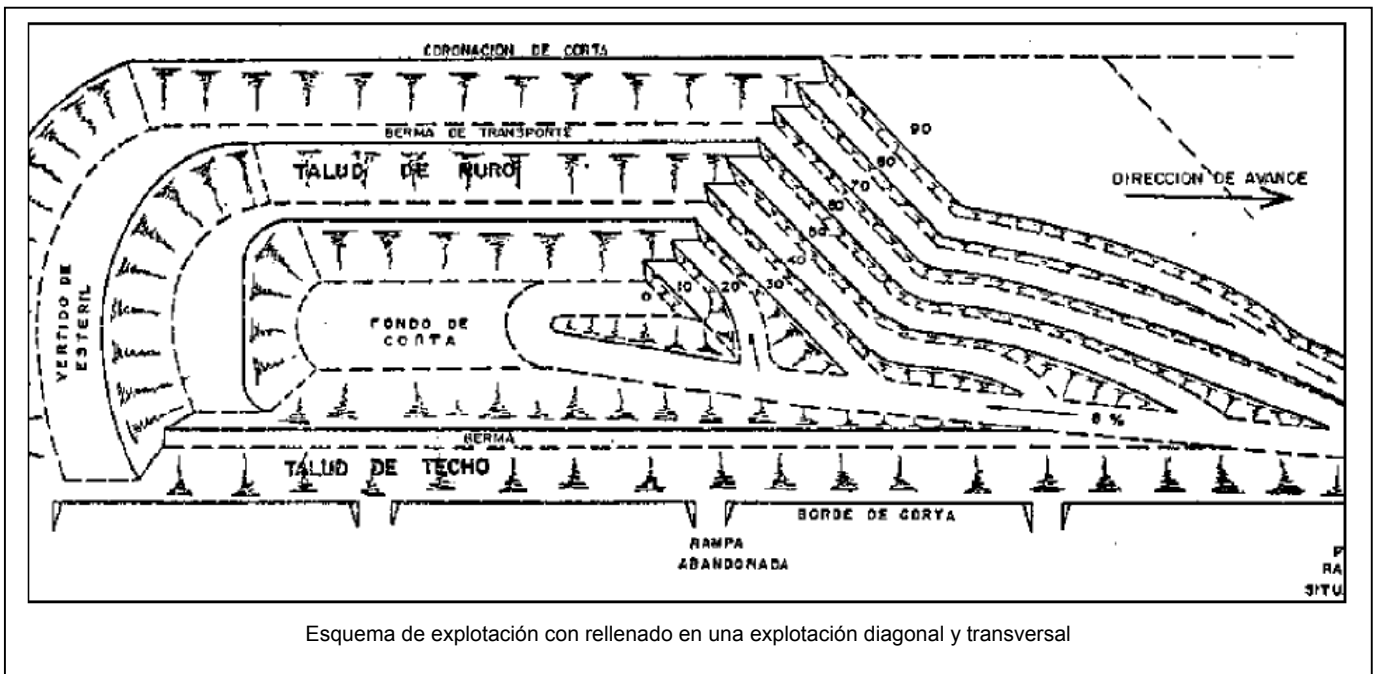
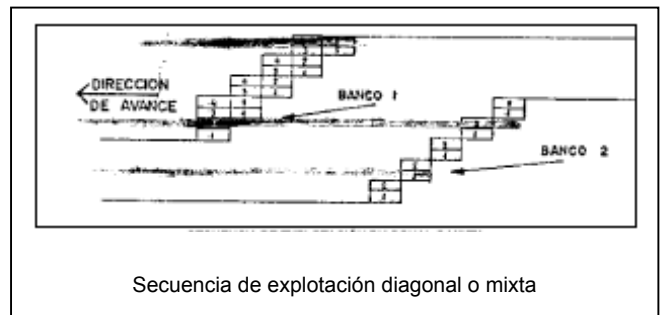




7.3. EXPLOTACIONES EN DIAGONAL O MIXTA

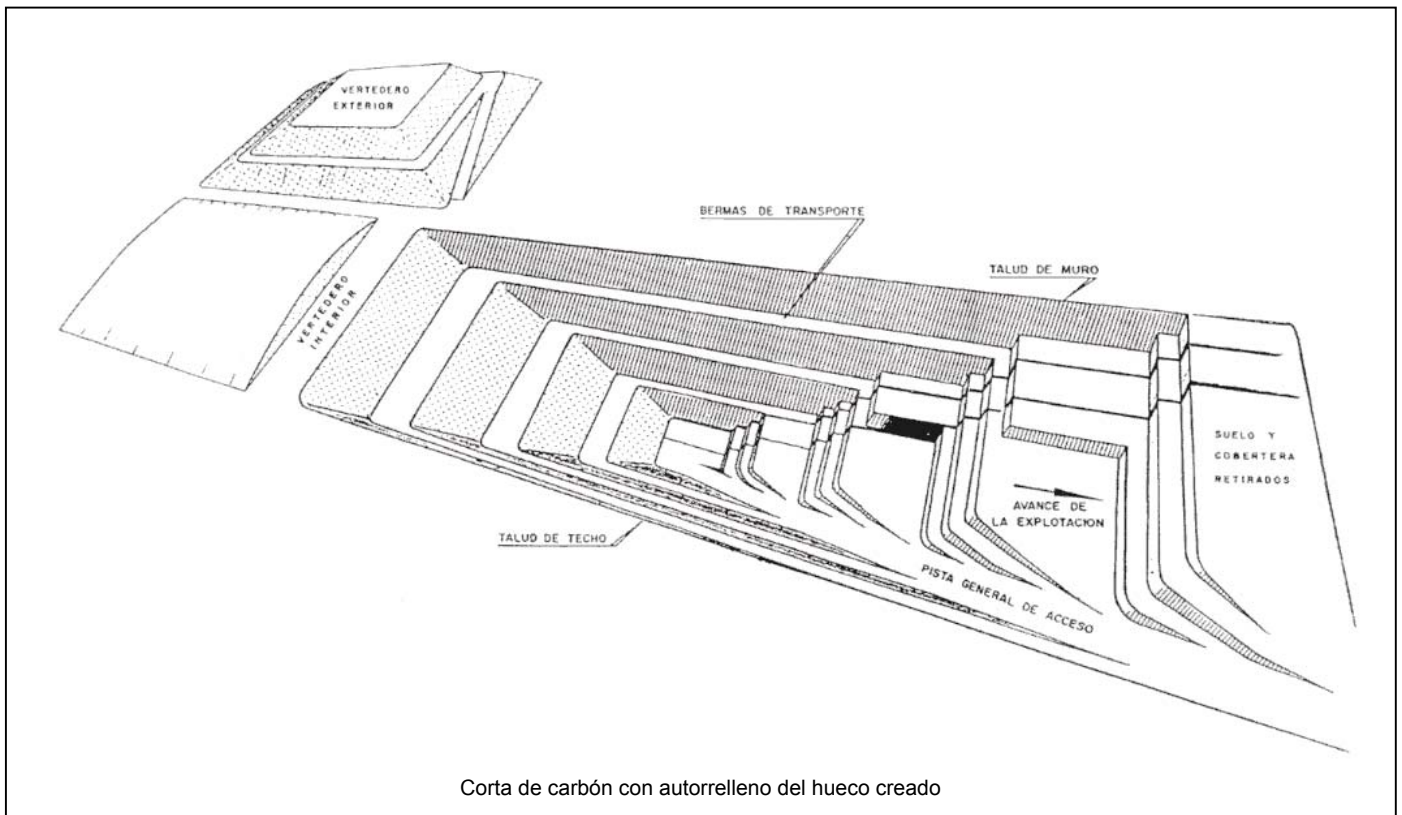
Como solución intermedia que intenta conseguir las ventajas de cada secuencia y disminuir los inconvenientes, está la secuencia o avance en diagonal, que tiene más de trasversal que de longitudinal pero que aumenta notablemente la

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 15 de 15

superficie o longitud de banco abierto y un ataque a la capa, filón u horizonte mineralizado más claro y con ello disminuye la dilución o separación entre el mineral y el estéril.



		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSI	CAPÍTULO 4 EXPLOTACIONES PROFUNDAS. CORTAS MINERAS	Pág.: 16 de 16



MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS

Juan Herrera Herbert
Fernando Pla Ortiz de Urbina

1. CONCEPTO DE MINERÍA POR TRANSFERENCIA

La minería por transferencia es un método minero conocido internacionalmente como STRIPPING, que podría traducirse como “destape” o “descubierta”. Consiste en la explotación, desde la superficie, de unas capas que deben ser, básicamente, horizontales a sub-horizontales con menos de 10° de buzamiento, mediante la apertura de un hueco inicial para el descubrimiento de la capa o capas y, tras la extracción de estas, se procede a rellenar el hueco ya explotado con el estéril que se extrae de la fase siguiente.



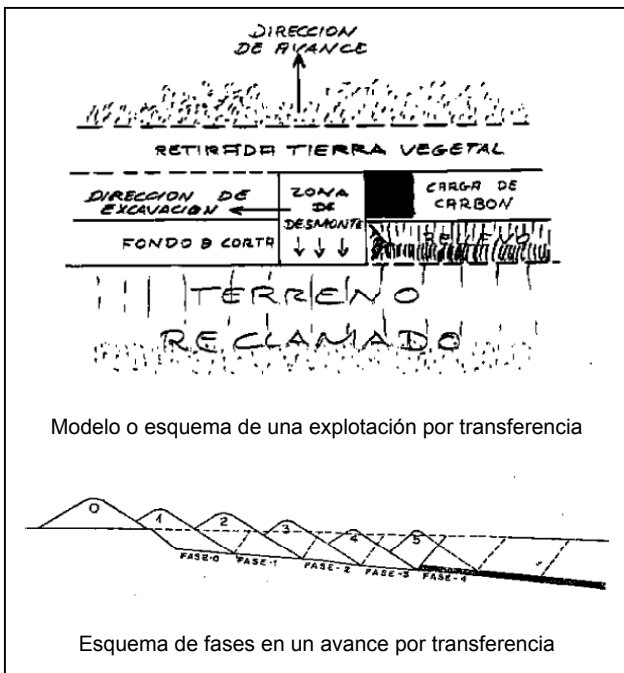
Explotación de carbón por el método de descubierta, con dragalina sobre zancas



Este sencillo método, muy antiguo, ha permitido una elevada mecanización del proceso a través de dos sistemas definidos por la maquinaria

que utilizan una técnica operativa de trabajo diferentes, además de poderse emplear los sistemas convencionales e incluso como veremos es posible aplicarlo también en la minería hidráulica y en la mixta.

Los dos sistemas clásicos son:

- El sistema americano, de carácter discontinuo y también denominado por descubierta. El arranque se realizaba antiguamente bien por medio de las denominadas “excavadora de desmonte” o por medio de una dragalina de gran tamaño de cuba, siendo este el sistema que permanece actualmente. También la transferencia tiene un carácter discontinuo. Se utiliza mayoritariamente en minería del carbón entre otros minerales y presenta como ventaja el que, al mismo tiempo que se desarrolla la explotación, permite una regeneración y rehabilitación de la superficie agrícola, forestal o ganadera.



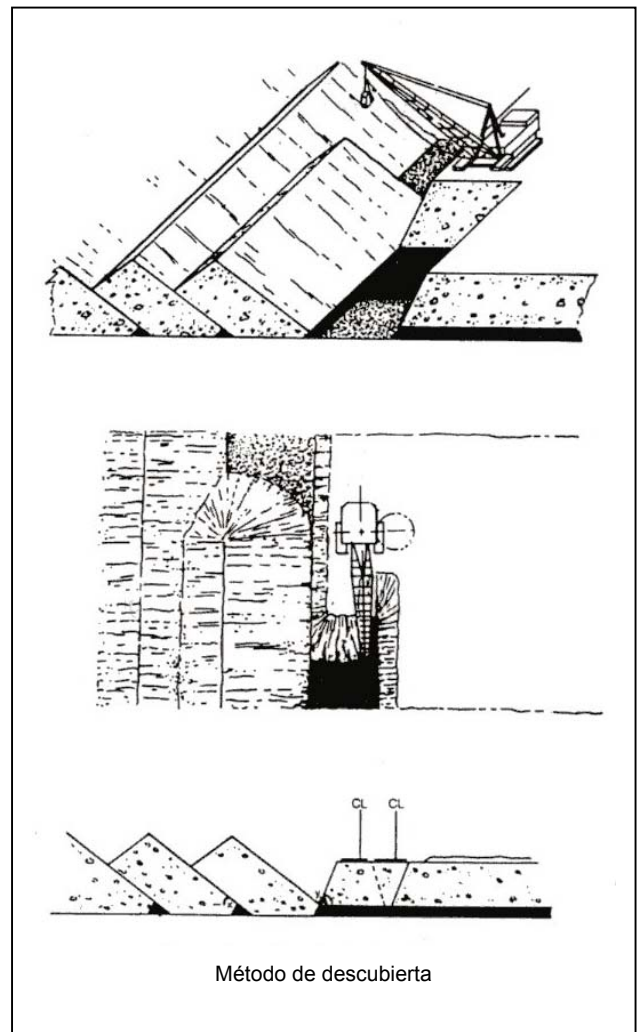
 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 2 de 2

OBJETIVOS DEL TEMA

1. Comprender que tipo de diseño, proyecto y proceso se encuadra dentro de lo que se ha dado en denominar "Minería por Transferencia".
2. Distinguir el sistema americano del sistema alemán.
3. Conocer cuales son los condicionantes para el desarrollo de una minería por transferencia.
4. Conocer como se desarrolla la explotación por medio de dragalinas en el sistema de descubierta.
5. Comprender las ventajas y los inconvenientes derivados del empleo de dragalinas.
6. Entender como puede desarrollarse una operación combinada de Dragalina con excavadoras y volquetes mineros.
7. Conocer como se desarrolla la explotación por medio de rotopalas en el sistema de terrazas.
8. Comprender las ventajas y los inconvenientes derivados del empleo de grandes rotopalas.
9. Conocer cuales son las partes de una rotopala.
10. Conocer como se desarrollan específicamente las operaciones de excavación y transporte por medio de grandes rotopalas.

- El sistema alemán, de carácter continuo y también denominado de explotación por terrazas. Tanto el arranque como el transporte se realizan en continuo, el primero mediante Rotopala y el transporte por cintas de gran capacidad, con la transferencia del estéril al hueco, bien de forma directa por medio de un puente, o bien por el exterior, con cintas móviles.



Ambos sistemas, aunque muy diferentes técnicamente, corresponden esencialmente al mismo método y deben su popularidad y desarrollo a la posibilidad de reconvertir los terrenos agrícolas para su posterior cultivo. De hecho, este método nació en algunas zonas de magníficas tierras como en Illinois, Renania y Ucrania en las que, bajo las tierras negras, subsisten capas de carbón u otras sustancias minerales de alto interés, lo que obligaba a dejar los terrenos mineros mejor que estaban antes de la extracción.

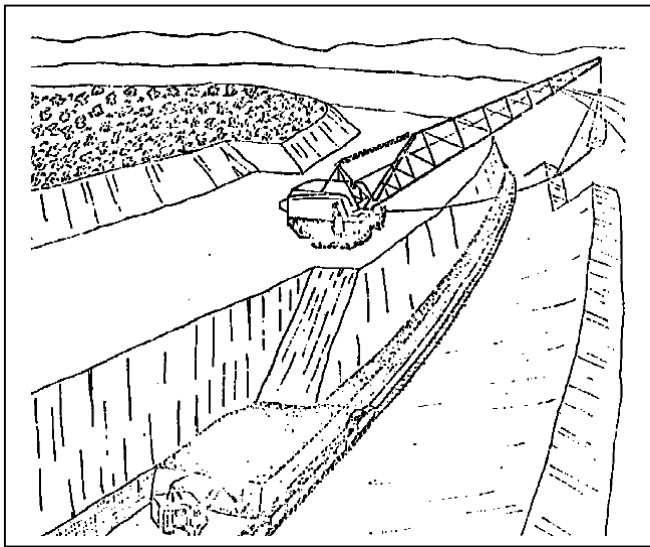


2. CONDICIONANTES PARA EL DESARROLLO DE UNA MINERÍA POR TRANSFERENCIA

Es un método que, básicamente, exige unos condicionamientos no siempre fáciles de encontrar en los yacimientos mineros, salvo en los grandes yacimientos sedimentarios de tectónica muy suave como ocurre abundantemente con los carbones, fosfatos, bauxitas, arenas bituminosas y graveras. Estos condicionamientos son:

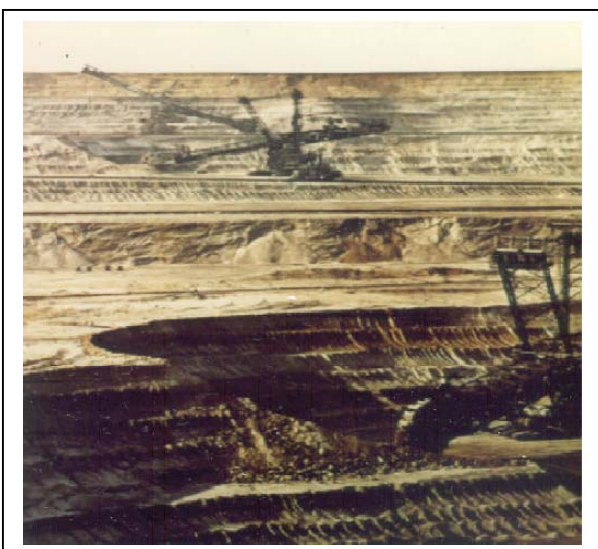
- Buzamientos casi horizontales.
- Grandes Reservas.
- Rocas blandas en la cobertera de estéril.
- Pocas capas y potentes. Uno ó dos niveles.
- Limitada profundidad de los yacimientos

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 3 de 3



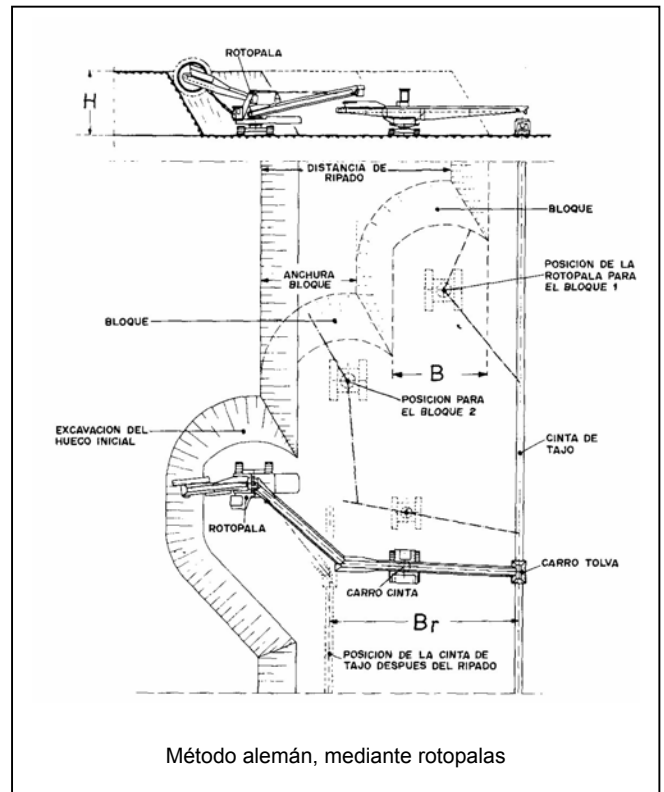
Sin embargo su gran popularidad por el automatismo y el gigantismo que pueden alcanzar, ha permitido su aplicación, con algunas importantes modificaciones, de esas condiciones hasta el punto de que en algunas minas españolas se ha llegado a colocar el vertedero fuera del hueco por causa de la inestabilidad y el buzamiento del muro, en una variante muy especial de la transferencia, más temporal que espacial, que permitiría hablar de un sistema gallego.

Una condición esencial del sistema alemán para su aplicación a los lignitos pardos está en la necesaria transformación "in situ" del mineral por medio de una Central Térmica hasta la que llega directamente el mineral desde la mina y extrayéndole, en esta, la gran humedad del mineral a partir del calor residual. Esta solución es una tendencia natural en la moderna minería de transformar y beneficiar los minerales de baja ley en la propia mina para alcanzar un mayor



valor añadido del producto vendible.



Una característica común a los 2 sistemas (alemán y americano) está en el diseño "a medida" de la maquinaria para cada yacimiento, si bien puede observarse una cierta tendencia hacia la normalización y standarización de las máquinas por



parte de algunos de los fabricantes, aunque siempre adaptadas al caso concreto.

Sin ser, en cuanto a la profundidad, tan superficial como las canteras, no llega a las grandes profundidades del método de cortas, por lo que puede definirse como un método intermedio entre superficial y tridimensional. Un grave problema, por su aplicación en zonas de rocas jóvenes, es la necesaria reducción del contenido de humedad de la cuenca, que puede llegar a exigir un fuerte drenaje por sondeos para rebajar el nivel freático por debajo de la zona de explotación, junto a la evacuación de importantes caudales de desagüe por bombeo en una o varias etapas, así como el establecimiento de unos grandes canales de desviación exteriores al criadero.

El sistema diferencia muy claramente el movimiento directo o indirecto de los grandes volúmenes de estéril con la extracción del mineral que puede o no ser extraído con unos sistemas menos automáticos o continuos. Esto sucede por que, aun cuando el ratio de

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 4 de 4



Sin embargo, en la técnica de transferencia directa al hueco, como en la ex R.D.A., se ha llegado al desarrollo de espectaculares puentes de transferencia directa, que pueden alcanzar los 250 mts de luz con algún apoyo final o intermedio en el propio vertedero.

El sistema americano, basado en grandes excavadoras de desmonte o en Dragalinas, es esencialmente un sistema discontinuo y por tanto cíclico, en el que la misma máquina realiza las fases de arranque, carga y vertido en la escombrera, situada lateralmente a la zona de descubierta. De acuerdo con los técnicos americanos, la mayor ventaja de sus máquinas está en la mayor disponibilidad y por ello se consigue un trabajo de más horas por año que en el sistema alemán.

La gran lucha, en el último decenio, por el mercado chino, australiano y sudafricano entre los dos sistemas ha permitido un espectacular crecimiento en la capacidad de las máquinas y su empleo en el desarrollo de la moderna minería superficial del carbón. Asimismo, en la explotación de los grandes yacimientos de fosfatos en Florida y Marruecos, el sistema americano ha primado sobre el alemán, que en principio, ha sido el más popular en los lignitos pardos de menor resistencia a la compresión y menor abrasividad.

Como ya hemos citado, una de las muchas razones que ha desarrollado el uso de este método ha sido la necesidad, incluso ya legal, de restaurar los terrenos afectados por la explotación minera, tanto del hueco como de los vertederos interiores y exteriores, lo que resulta relativamente sencillo y económico en el caso de la transferencia directa y algo menos si es indirecta y exterior.

3. EL SISTEMA DE DESCUBIERTA AMERICANO



3.1. DRAGALINAS

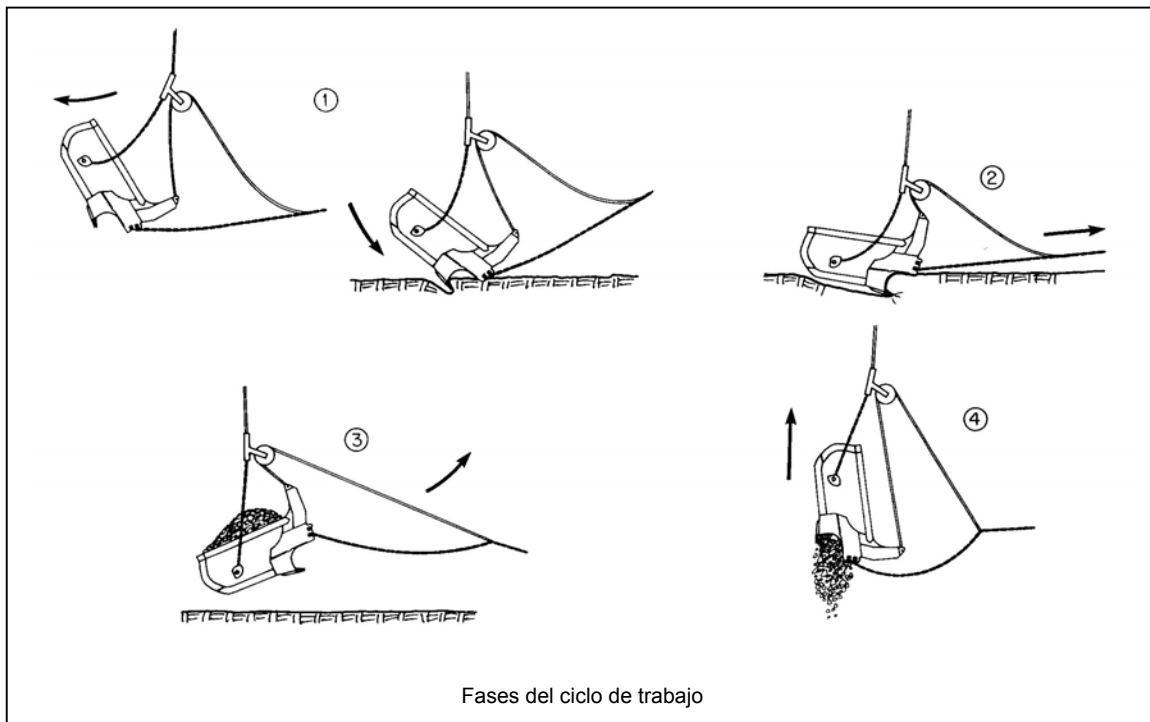
El sistema de transferencia que se realiza modernamente con las Dragalinas, es aplicable en aquellos yacimientos en los que:

- La potencia de la capa será mayor de 2 metros.
- El estéril será excavable, bien directamente o tras una prevoladura suave.

desmonte es muy elevado y casi constante, el mineral es capaz de pagar unos sistemas más caros de extracción por la mejora de la selectividad.

Se habla pues de transferencia indirecta o transferencia exterior, cuando el vertido del estéril no es directo al propio hueco sino a través de unos circuitos exteriores de transporte, siendo cada día más popular, pues permite liberar el fondo de la operación para poder profundizar todo el centro del banco en explotación y con ello extraer otras capas u horizontes más profundos.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 5 de 5



- Las reservas serán suficientes para respaldar la inversión y la vida de la máquina.



Es un sistema muy popular en algunos países como son EE.UU., Sudáfrica, Australia, Nueva Zelanda, Rusia y Marruecos. Cuando alguna de estas características deja de cumplirse se comienza a combinar este sistema con el convencional de corta con excavadoras y volquetes.

Las principales ventajas que sobresalen del empleo de las Dragalinas son:

- Una gran simplicidad operativa con mínimo personal.
- Un reducido coste de operación.
- Posibilidad de excavar un banco profundo, hasta 2/3 de la longitud de la pluma (que en muchos casos largamente los 100 metros).
- Una mejor adaptación de la dragalina, frente a la excavadora, en el caso de las capas con ondulaciones, ya que la excavadora debe desplazarse sobre la capa en el fondo del hueco o sobre el muro del yacimiento.
- Una mayor flexibilidad de funcionamiento, que permitirá superar las variaciones no previstas del espesor del recubrimiento, prolongar la

longitud del frente en cualquier sentido, efectuar el desmonte en un plano superior al del apoyo (chop down), e incluso hacer un doble manejo del estéril cuando fuera necesario o conveniente un segundo transporte (rehandling).

- Una mayor seguridad de trabajo en cuanto a la estabilidad del gran banco de estéril de recubrimiento en que se apoya la máquina que si estuviera sobre el mineral.
- Produce un menor daño al mineral, dada la situación de la dragalina en la parte superior del banco de estéril. De aquí, que se obtendrá un mayor porcentaje de recuperación del mineral.
- La presión superficial sobre el terreno será bastante menor que la de las excavadoras por la mayor superficie de apoyo o sistema de traslación.
- Normalmente la incidencia del mantenimiento en el costo por metro cúbico es menor que para las excavadoras o las rotopalas, lográndose una mayor disponibilidad a largo plazo, algo mayor que la excavadora y mucho mejor que la Rotopala.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 6 de 6

- La forma de operar de la dragalina resultará más adecuada para realizar el arranque de aquellos lechos o estratos horizontales de dureza alterna, ya que al producir el ataque paralela y horizontalmente a la sedimentación del recubrimiento, los dientes penetrarán por los puntos más débiles de los estratos.
- La cuchara de la excavadora efectuará el arranque atravesando en parte normalmente a los estratos, es decir en una dirección de una mayor resistencia a la penetración.
- Al trabajar sobre la superficie del banco, no será necesario descender la alimentación eléctrica hasta el fondo del tajo.

Los mayores inconvenientes del uso de las Dragalinas se pueden resumir en:

- Una peor secuencia de trabajo con materiales de una mayor resistencia, que requieren perforación y voladura, aunque esta sea suave.
- Una menor selectividad y una fuerte dilución en las capas muy estrechas (menor de 2 metros).
- Trabaja bien cuando el estéril sea blando y el mineral sea duro, pero en el caso contrario puede dar lugar a una cierta pérdida de



calidad del mineral, por arrastrar una parte del mineral con el estéril.

- Gran valor de adquisición por lo que la inversión inicial es mayor que para una excavadora con igual capacidad de cazo.
- El parque de este tipo de máquinas, en Europa, es muy reducido, siendo bastante difícil su contrata o alquiler y no existiendo muchos repuestos en zonas próximas para una intercambiabilidad de los conjuntos.
- La habilidad del operador tiene una gran influencia en la producción, por lo que su remuneración es cara y resulta difícil retenerlos mucho tiempo en la misma obra.

Aunque actualmente han desaparecido, durante más de 40 años se utilizaron las denominadas grandes "Excavadoras de Desmonte" para el desmonte de estéril (stripping shovel). Estas máquinas, de enorme tamaño, permitían obtener las siguientes ventajas:

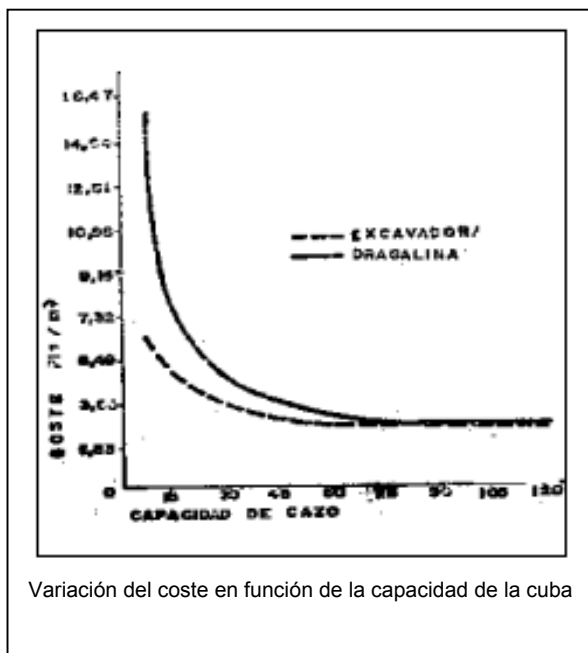
- Menor coste de inversión por metro cúbico de capacidad de cazo.
- Menor coste de operación y de consumo de energía por metro cúbico movido.
- La producción unitaria resulta ligeramente superior en la excavadora (unos 300.000 m³



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 7 de 7

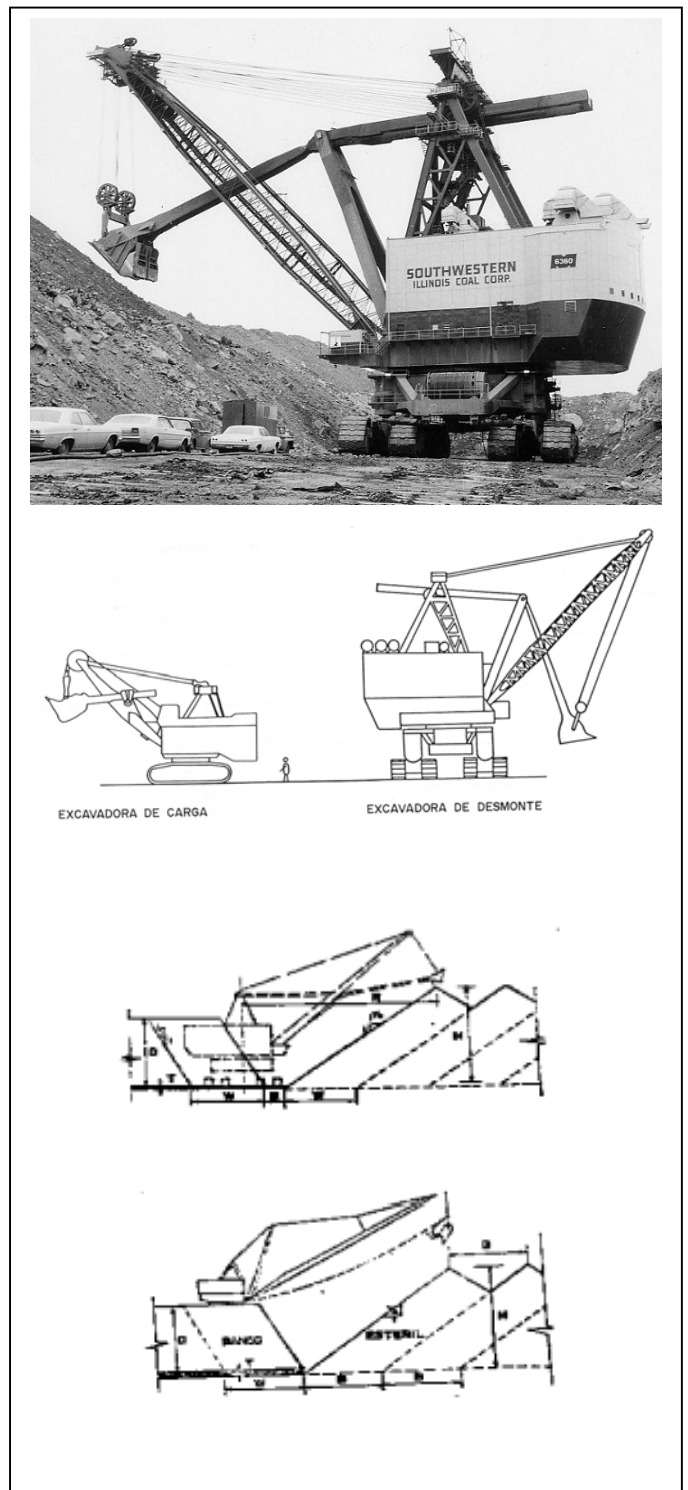
/año/ m³ de capacidad de cuba) que la de una dragalina (unos 250.000) de la misma capacidad de cuchara, debido, principalmente, a que los ciclos de la dragalina serán de mayor duración que los de la excavadora.



- Menor coste de consumo de cables por metro cúbico producido.



- Menor necesidad de superficie de preparación de banco.
- Mayor fuerza o capacidad para arrancar directamente los materiales más resistentes, por lo que no requerirá la voladura o bastará con una voladura suave en determinados materiales rocosos.
- Comparada con la dragalina, una excavadora mueve normalmente el estéril a una menor distancia de transferencia directa lo que reducirá el ancho necesario del hueco descubierto.

Las principales características y capacidades de las Dragalinas y excavadoras existentes actualmente en el mercado y que se emplean en remover el estéril son, en grandes rasgos:



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	

		DRAGALINA	EXCAVADORA
CAPACIDAD DE LA CUBA	m ³	10 - 140	19 – 137
PLUMA	LONGITUD	43 - 125	30 – 66
	ÁNGULO en °	32 - 38	45 – 50
	ALTURA (m)	22 - 39	22 – 45
	RADIO (m)	52 - 90	25 – 64
ALCANCE	PROFUNDIDAD	25 - 100	12 – 20
	altura de banco (m)		
PESO (Kg)		500.000 - 10.000.000	
PRODUCCIÓN HORARIA	m ³ /hora	330 - 5700	765 – 5200

A continuación se analizan algunos factores que son decisivos por lo que se refiere a la elección de la maquinaria del sistema americano. Dado que las excavadoras de desmonte han desaparecido del mercado, todo lo que sigue permitirá entender porqué perduran exclusivamente de las dragalinas.

Las Dragalinas, al igual que las excavadoras de desmonte, son unos equipos de enorme volumen, elevado precio y alta capacidad de producción, por lo que su coste de explotación debe resultar muy razonable. En los terrenos blandos, homogéneos y húmedos no son tan favorables como las rotopalas, pero pueden llegar a desmontar unos materiales más resistentes, con o sin previa voladura, manteniendo un reducido coste de operación y una vida de la máquina superior a los 25 años, con unas bajas amortizaciones por hora trabajada o por metro cúbico movido.

Para realizar un estudio comparativo es preciso hacer referencia a los factores de operación y utilidad. Los primeros de ellos son los alcances, los radios y alturas de vertido que limitan las posibilidades de excavación con un vertido directo de los estériles sobre la escombrera. La disponibilidad, la eficacia de la operación, el factor de llenado de cuchara y la duración del ciclo, condicionan la capacidad de producción de éstas máquinas. Una estimación muy conservadora de estos factores permite llegar a la conclusión de que para equipos con cuchara de 30 a 70 m³ es necesaria una capacidad de la cuba mayor en el caso de usar la Dragalinas, alrededor de un 13%, para poder obtener la misma producción que con una excavadora.

Un valor empírico que puede servir para la evaluación de estas máquinas es el factor de utilidad que se define como el producto de la capacidad de su cuchara por el alcance. Al ser éste superior en las Dragalinas del orden del 20%, resulta para ellas un factor de utilidad mayor, que puede calcularse para cada caso particular. Los factores de utilidad están relacionados con el peso total en servicio de las máquinas, existiendo entre ambos una proporción aproximadamente constante.

Así Woodruff indicaba (1.966) que por cada unidad del factor de utilidad, expresado en pies por yardas cúbicas, corresponderá un peso de 745 libras en el caso de excavadoras y de 575 para Dragalinas, habiéndose reducido posteriormente este último valor a 435 libras, debido al avance en el diseño y empleo de unos materiales más ligeros en la superestructura.

En general la dragalina tiene un peso inferior en un 20% al de una excavadora de cazo equivalente. Dado que el precio está relacionado con el peso, puede así estimarse que el coste de inversión para la dragalina era considerablemente menor que para la excavadora de desmonte comparable con ella.

De todo lo indicado se deduce que, para efectuar un trabajo determinado, con la dragalina se obtiene un mayor radio de vertido y se requiere una mayor cuchara, es decir, una máquina con un factor de utilidad superior al que correspondería a una excavadora. Si comparamos las dos máquinas con igual factor de utilidad, la dragalina tiene un mayor alcance y una menor cuchara, por lo tanto la excavadora da una mayor producción y la dragalina puede descubrir una capa de mineral más profundo.

Una vez que se llegan a determinar las características de las Dragalinas y excavadoras se debe realizar un estudio de los costes de inversión y operación, en colaboración con los suministradores o fabricantes, a partir del cual se define el sistema más idóneo y se puede tomar o recomendar una mejor decisión.

En la figura se puede observar como varían los costes en función de las capacidades de cazo. Cabe señalar como, a partir de los 75 m³ de capacidad de cuba, el coste por m³ se mantiene prácticamente constante y sensiblemente igual para los dos sistemas.

En cuanto a las secuencias operativas del sistema, la primera consiste en excavar un hueco inicial o box-cut que se profundiza hasta el techo del mineral, después de haberse retirado toda la tierra vegetal en el área de preparación y en la que se coloca el primer y exterior vertedero. Posteriormente se debe extraer el mineral perteneciente al hueco inicial, pasando a colocar en

las siguientes fases el estéril de la siguiente zanja o corte adyacente en el hueco producido por el arranque anterior, y así sucesivamente.

Para la carga del mineral es más corriente el uso de menores excavadoras eléctricas, hidráulicas o de palas cargadoras, cuyas principales características quedan reflejadas en el siguiente cuadro y en las tablas (Mining Magazine de Abril de 1989).

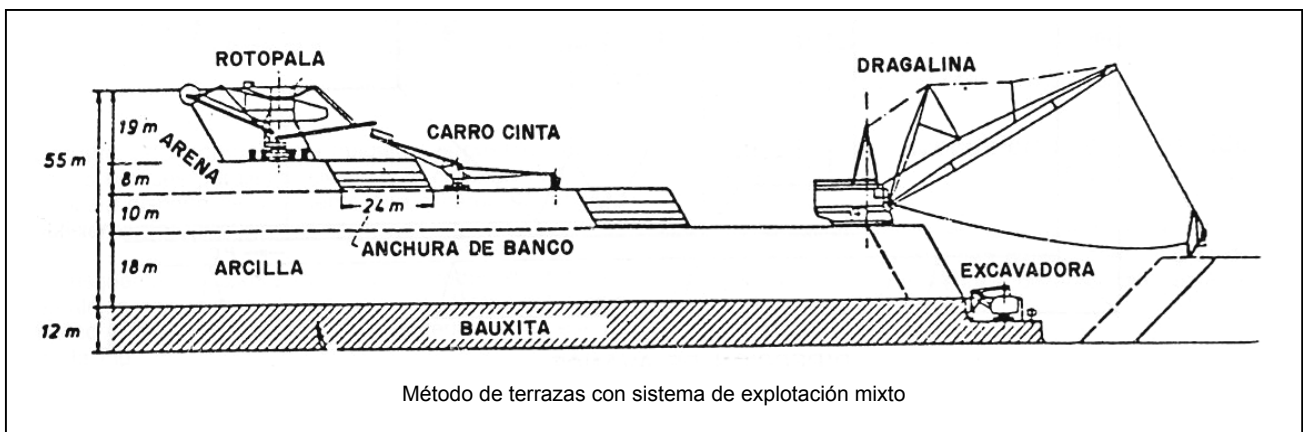
	CAPACIDAD DEL CAZO	LONGITUD DE LA PLUMA	PESO	POTENCIA	PRODUCCIÓN
UNIDAD	m ³	m	t	HP	m ³ /hora
EXCAVADORA	6 - 50	8 - 25	200-1600	200 - 1.000	500 - 1.800
PALA CARGADORA	6 - 20	5 - 8	25 - 85	250 - 800	500 - 1.000
EXCAVADORA HIDRÁULICA	5 - 35	6 - 12	100 - 540	300 - 1.000	400 - 1.200



El transporte del mineral al exterior de la mina se realiza, en general, por volquetes con descarga por el fondo, o por camiones convencionales de dos ejes, o por ferrocarril o en casos más raros por cintas alimentadas a través de tolvas, siendo preciso en cualquier caso una gran infraestructura minera, cuyo diseño debe estar íntimamente relacionado con el sistema de transporte.

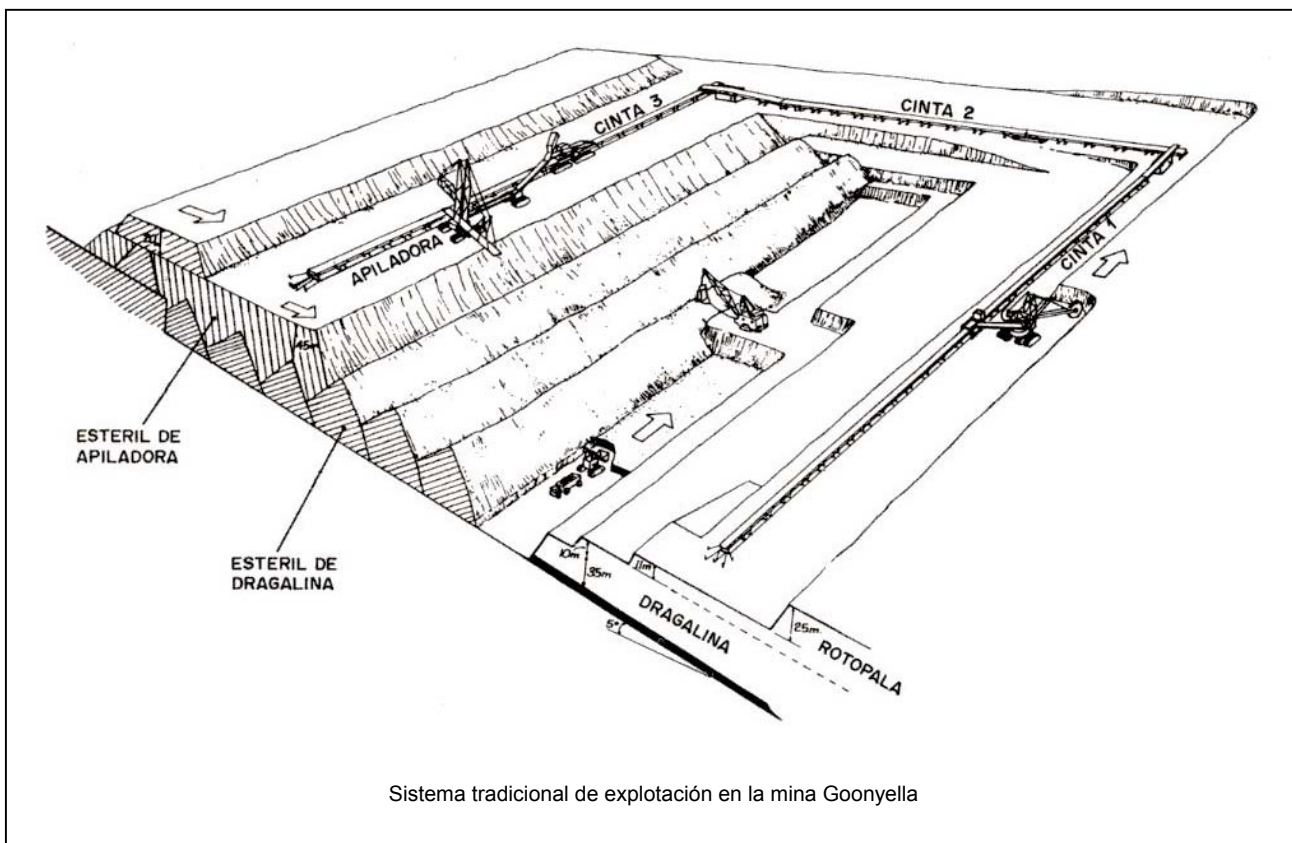
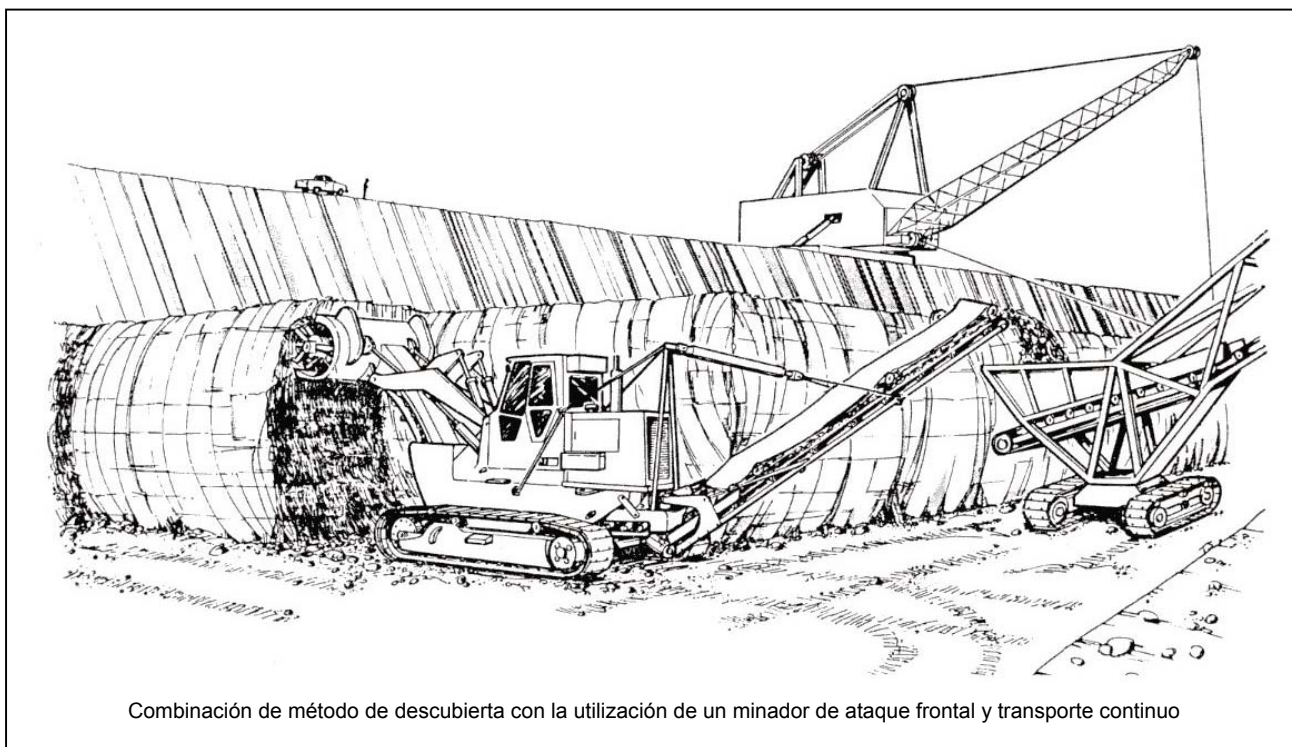
3.2. OPERACIÓN COMBINADA DRAGALINA Y EXCAVADORA / VOLQUETE



En un estudio recientemente realizado por los mineros americanos en un gran número de minas en las que

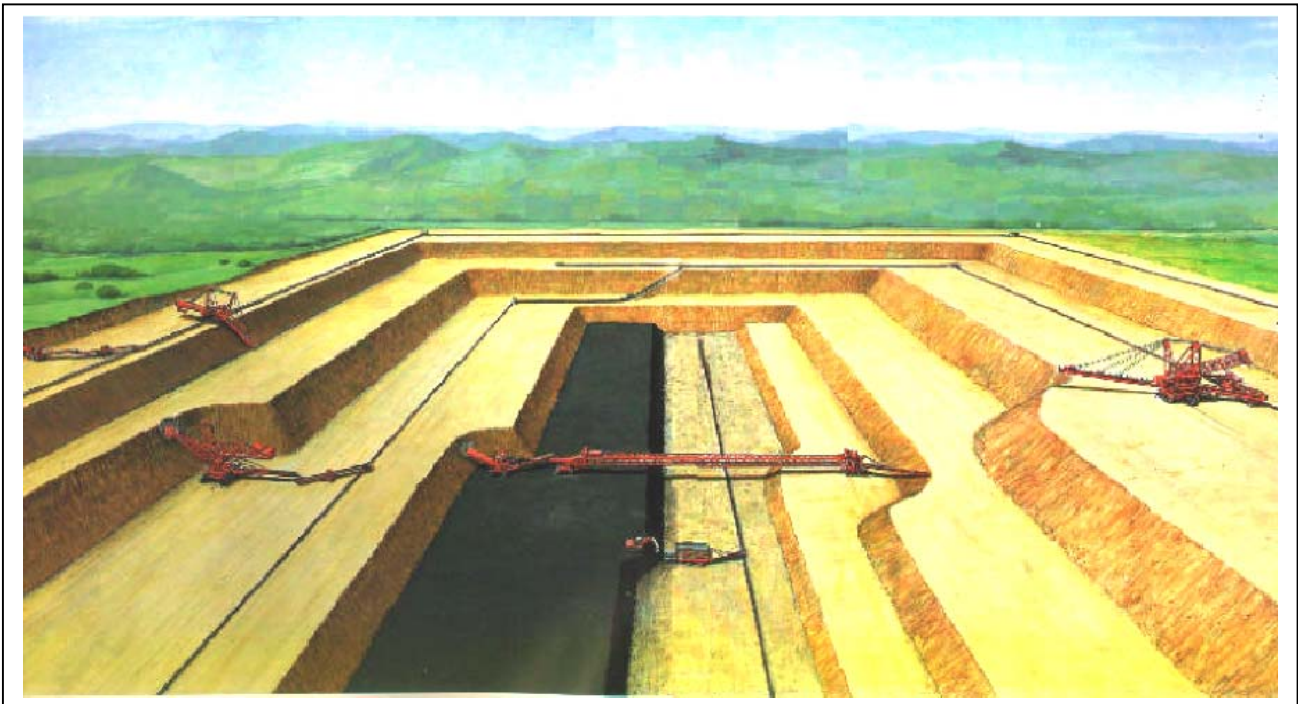
los sistemas empleados eran las Dragalinas y en otras los sistemas más tradicionales en Europa de excavadoras o palas con volquetes se demostró el menor coste de la operación para el sistema de Dragalinas, acentuándose la diferencia conforme aumentaba el ritmo o volumen anual de estéril movido por un mayor ratio o una mayor profundidad de la explotación.



		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSIMM	CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 10 de 10



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 11 de 11



4. EL SISTEMA ALEMÁN

Se trata del otro gran sistema empleado en la minería de transferencia y se utiliza, casi exclusivamente, en los yacimientos de lignitos o de minerales muy blandos. Aunque dentro de este sistema se pueden distinguir las excavadoras de Noria de cangilones y la Rotopala o Excavadora de rodetes, esta última es la más empleada en la actualidad, debido al gran desarrollo y avance en el diseño que han sufrido desde la segunda guerra mundial.

El sistema de rotopalas es empleado desde hace decenios en las minas de lignito de las antiguas Alemanas, por lo que es conocido con el nombre de "Sistema Alemán". Las características normales de los yacimientos donde se aplican generalmente, salvo en algunas notables excepciones como en el caso de las minas gallegas, son:

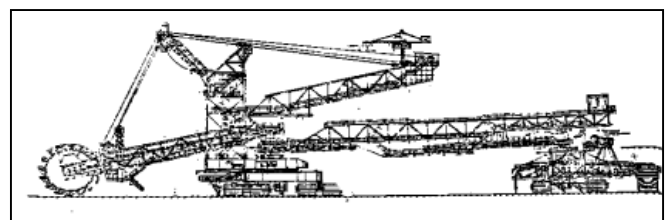
- Capas u horizontes mineralizados con buzamientos menores de 10°.
- Mantos de carbón potentes, a menudo con intercalaciones de capas de estéril de espesores relativamente pequeños, formando un auténtico hojaladre (Casos de Puentes de García Rodríguez en capas, y de Meirama en masa).
- Tectónicamente tranquilos y muy

estratificados (Salvo en el caso de Meirama).



- Recubrimientos con bajas resistencias y poca abrasividad, susceptibles por tanto de un arranque directo.

Las principales ventajas de este método son:

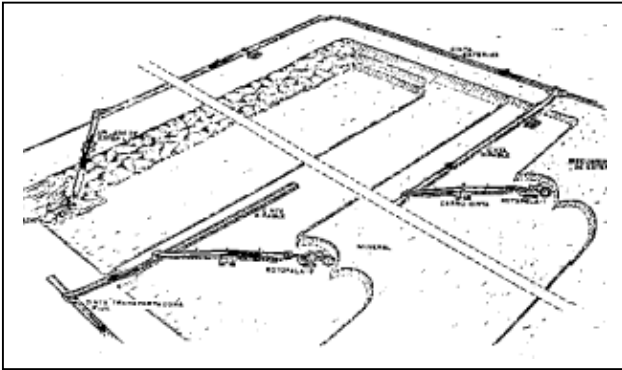
- Gran producción y rendimiento horario.
- Menor consumo de energía que en las máquinas cíclicas por m³ movido.
- Altamente selectivas al poder seguir las inflexiones de las capas y separar intercalaciones de muy poco espesor (50 cm).
- Posibilidad de cargar el material para su posterior transporte, bien en cintas



transportadoras, o en ferrocarriles o en volquetes.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 12 de 12

- Poseen un gran radio de descarga, por lo que la restitución del terreno podrá tener un bajo coste, si se realiza el vertido directo del estéril.



Las desventajas principales son:

- Maquinaria muy cara y difícil de contratar.
- Baja disponibilidad global (menor del 60%).

- Poca flexibilidad a los cambios en la secuencia de la explotación. Requiere una fuerte planificación y control.
- Se adapta muy mal a los cambios de resistencia o de abrasividad del material.
- Bajo rendimiento con relación a la selectividad.
- Fuerte programa de mantenimiento.
- Requiere una gran superficie de preparación y de banco.
- Poca protección de los mecanismos en comparación con las palas excavadoras o Dragalinas, por lo que el ambiente de polvo, agua o viento, resulta muy nocivo para su disponibilidad global.
- Poca maniobrabilidad y flexibilidad.
- Tecnología muy cara, reparaciones largas y costosas y dependencia del extranjero en algunos repuestos básicos.



Cortesía BWE

La Rotopala como máquina o conjunto consta de, esencialmente, las siguientes partes o dispositivos mecánicos principales:

- Brazo de carga, portador del rodete de cangilones y en ocasiones de la cabina del operador.
- Sistema de descarga, constituido por una o varias cintas transportadoras, directamente al mismo vertedero o a un sistema exterior al hueco.
- Chasis portador de los equipos fijos y giratorios, en donde podrán estar situados los puestos de mando y de control.
- Mecanismos de traslación, constituidos por varias orugas de gran anchura.

El rodete lleva un número variable de cangilones (8-16), algunos de ellos con o sin fondo, y el diámetro varia, según los modelos, entre 1,80 y 18 m.

Una de las variables que mejor define a una Rotopala es la altura del frente de trabajo que en el siguiente cuadro se puede observar junto a otras características de las unidades más empleadas, que permiten diferenciar los parámetros más críticos de las mismas.



CUADRO DE CARACTERÍSTICAS DE LAS ROTOPALAS

Numero de cangilones	Capacidad del cangilón (m ³)	Producción máxima (m ³ /h)	Altura del frente (m)	Peso de trabajo (t)
8	0,6	2.700	24	1.780
8	1,2	3.200	28	2.100
10	2,8	7.500	35	5.200
12	4	8.500	50	5.984

El equipo de excavación lo forman principalmente: el rodete de cangilones y el brazo de carga.

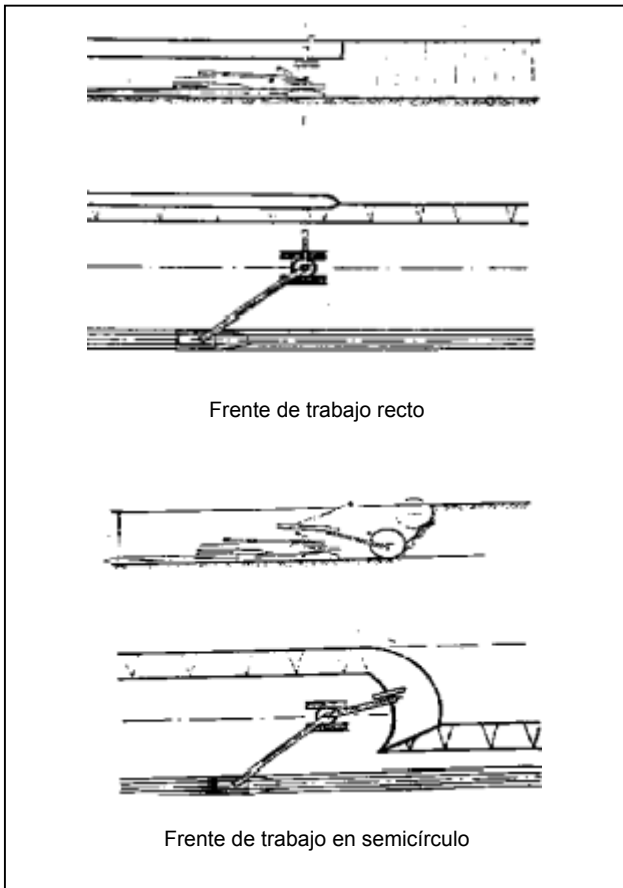
Una de las últimas unidades puesta en servicio (1.978) se encuentra en la mina a cielo abierto de Hambach-



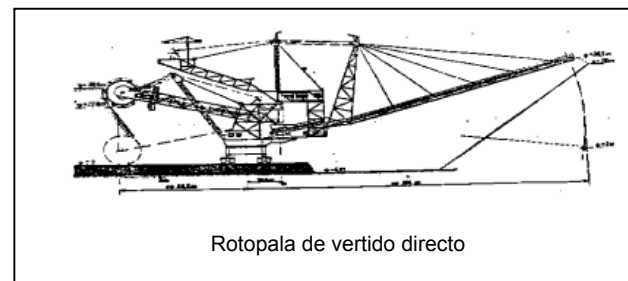
 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 14 de 14

Colonia, siendo actualmente la Rotopala más grande del mundo con un rodete de 21,6 metros de diámetro, 18 cangilones, 225 metros de longitud, 84 metros de altura y con una capacidad de producción diaria de 240.000 m³ de material in situ. El peso en servicio de esta gigantesca excavadora asciende a 13.000 t.

El trabajo puede estar combinado con otras maquinas de arranque como la dragalina o una pala o excavadora e incluso en Puentes de García Rodríguez se ha utilizado en una parte del yacimiento el arranque y transporte con mototrillas y en Meirama para las rocas más duras de los laterales se emplean sistemas propios de la corta con perforación, voladura, gran excavadora de cables y volquetes, con trituración en el fondo de la mina para poder transportar con cintas.



1) La disposición en frentes rectos es la más propia para el arranque selectivo de aquellos estratos de pequeña potencia, y el frente de



trabajo en semicírculo lo es para el arranque de los estratos de gran espesor, cuya explotación puede asimilarse a un gran movimiento de tierras. El avance espectacular logrado en los últimos años en el diseño y construcción de cintas transportadoras ha logrado que la variante de la explotación en frentes rectos, sea hoy la que se implanta mayormente en las minas de nueva apertura.



Tanto las características del yacimiento como de la propia zona de trabajo (pluviosidad, orografía, etc.), dan lugar a un planeamiento de la explotación basado en los siguientes secuencias de operación.

1. Frente de trabajo	Recto
	Semicírculo
2. Vertido de estéril	Directo al hueco
	Indirecto al hueco
	Exterior al área minada
3. Sistema de transporte	Cinta transportadora
	Ferrocarril
	Volquete

2) Siempre que se pueda se debe tender al vertido directo del estéril en el hueco abierto por la explotación. De esta forma:

- Se rellena la cavidad abierta en la excavación, reconstituyendo la topografía de la zona.
- Se abaratan los costes, pues la distancia al vertedero exterior es generalmente menor.

En cualquier caso, siempre es necesario comenzar vertiendo el estéril en una escombrera exterior, ya que por razones de garantía de continuidad y seguridad es conveniente mantener una aceptable separación entre los bancos de trabajo en la mina y las terrazas de apilado de la escombrera interior. Esta distancia de seguridad es variable y depende fundamentalmente

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 15 de 15

de:

- La geometría de la mina y estructura del yacimiento.
- Las características geológicas y geométricas del banco de fondo del hueco.
- Propiedades geomecánicas del estéril vertido.
- Sistema de vertido y escombrado elegido.
- Pluviometría de la zona.

Si la estabilidad de los taludes del estéril apilado fuera tal, que se pudiera hacer la distancia de seguridad mínima, el vertido se puede realizar de forma directa a través del brazo de descarga, en forma de un puente de transferencia. En estos casos la extracción del carbón se puede realizar mediante otro equipo, bien con Rotopala o bien con excavadora o palas cargadoras.

Actualmente el sistema de vertido indirecto y por fuera al hueco excavado, es la técnica que más se utiliza por las siguientes ventajas que ofrece:

- Mayores anchuras de los bancos de trabajo y por lo tanto una mayor maniobrabilidad y libertad operativa.
- Menor influencia de la estabilidad de taludes.
- Posibilidad de utilizar el mismo sistema de transporte para el estéril y el mineral.
- Explotación de varias capas a diferentes profundidades, al liberar el fondo del hueco operativo.
- Posibilidad de formar varios bancos.

3) El estéril debe verterse por medio de escombradoras, stackers o apiladoras, logrando una disposición adecuada en forma de terrazas, para su posterior nivelación con tractores y reclamación agrícola o forestal.

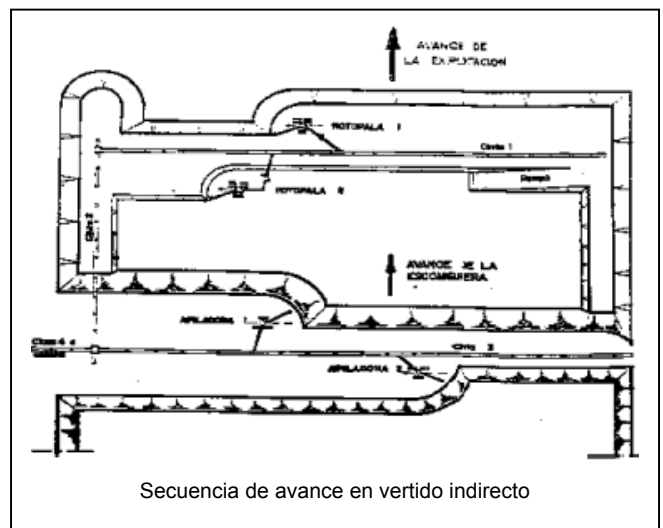
Si las características geomecánicas del estéril y la pendiente del fondo del yacimiento impiden que fuera utilizada la zona ya explotada como escombrera, obligaría a ejecutar y planificar un vertido del estéril exterior a la explotación, aun cuando en algún momento se podría empezar a rellenar el hueco del yacimiento. Es el caso de las minas gallegas. Este



sistema de vertido presenta graves problemas de ocupación de terrenos y elevación del coste debido a las mayores distancias de transporte. Así ocurría en la mina de Puentes de García Rodríguez, en la que la pendiente de fondo, la naturaleza de los mismos estériles (arcillas) y la gran pluviosidad de la zona, obligaron a la elección de una escombrera exterior. No ocurre así en otras minas europeas, pero igualmente es necesario hacerlo en una parte de Meirama, por lo que se puede hablar de una variante gallego-alemana.

El transporte de estéril y lignito se realiza por medio de cintas, procedentes de las distintas máquinas o bancos, que al llegar a un punto fijo (estación de transferencia) derivan el estéril hacia la escombrera y el lignito hacia el parque de trituración y homogeneización de la central térmica.

Para que la producción de la Rotopala sea óptima debe haber una gran eficacia y organización en el sistema de acoplamiento Rotopala-circuito de transporte, que debe situarse en un centro de control exterior y que a modo de torre de control dominará visualmente todo el sistema además de estar conectado electrónicamente con él. Este sistema de control debe reunir las siguientes características y perseguir los siguientes objetivos:

- Gran capacidad.
- Facilidad de control automático a distancia.
- Flexibilidad, para adaptarse a los cambios del frente y a las fluctuaciones de la producción, tanto de mineral como de estéril.
- Un reducido y bajo coste unitario, pues un



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 16 de 16

ligero aumento de este representará un incremento en el costo total de la tonelada de mineral.

- Una seguridad en el funcionamiento, pues las averías podrán llegar a parar la producción, y multiplicarse al ser un sistema en serie muy rígido.
- Una cierta movilidad y unos potentes servicios auxiliares para lograrlo.

Estos condicionantes junto con el enorme desarrollo alcanzado en la tecnología del diseño y construcción de las cintas transportadoras, hacen que este sea el sistema más adecuado en las operaciones de gran duración y con grandes distancias de transporte. No obstante el sistema convencional de volquetes puede ser adecuado cuando las distancias de transporte son más reducidas, mientras que el ferrocarril debe todavía considerarse para unas mayores distancias con pendientes muy suaves en los antiguos yacimientos que se explotan desde hace más de 35 años.

Existen diversas posibilidades de trabajo combinado con la Rotopala. La más empleada en USA es la combinación con excavadora de arranque (stripping shovel), dedicándose esta al arranque de estratos de

las rocas más resistentes, que yacen en contacto con el carbón, mientras que la Rotopala excava los niveles más superficiales con menor cohesión y resistencia y que son las mejores tierras de cultivo. Esta última puede realizar la excavación en profundidad, de tal forma que crea un banco de trabajo de una anchura suficiente, que puede ser utilizado como banco de perforación cuando se requiere la voladura en el arranque del estéril más profundo, las dos unidades se sitúan directamente sobre el techo del carbón.

Otra combinación menos corriente es la constituida por la combinación de Rotopala-dragalina. A diferencia con el caso anterior los dos equipos operan desde el banco de trabajo que es excavado por la Rotopala (ver figura adjunta) creando un problema en la mala secuencia de trabajo con materiales que requieren ser perforados y volados.

Tanto en una como otra variante se realiza una transferencia directa del estéril al hueco excavado. La maquinaria utilizada en este tipo de operaciones con el sistema de Rotopala, puede clasificarse en:

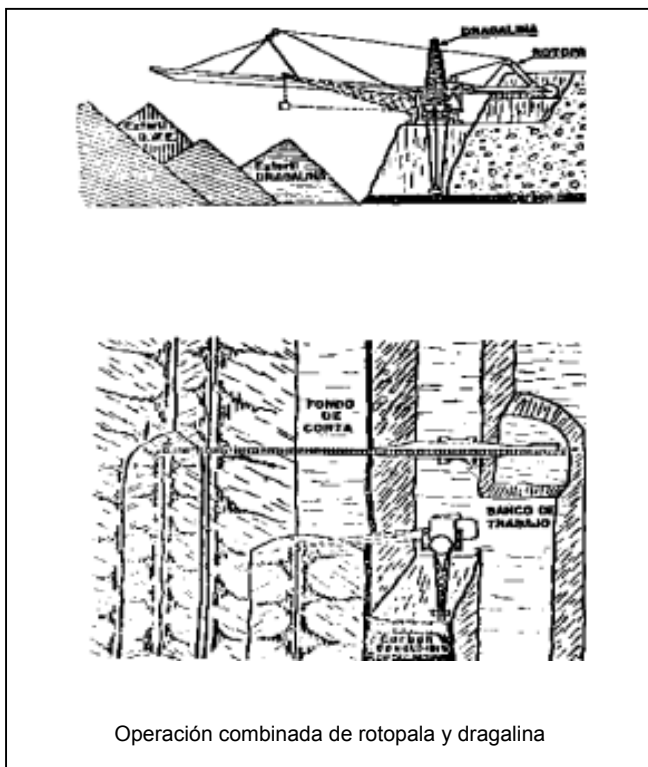
- Maquinaria Principal.
- Auxiliar.

En el capítulo de maquinaria principal utilizado en este método de transferencia se distinguen:



- Rotopalas o excavadoras de rodete o cangilones.
- Apiladoras (en caso de vertido en zonas exteriores a la explotación o vertido indirecto al hueco).
- Cintas transportadoras para el carbón (y para el estéril en el caso de utilizar apiladoras).
- Circuito eléctrico de abastecimiento del sistema.

Dentro de la denominación de maquinaria auxiliar, que engloban aquellas unidades para el servicio y mantenimiento de la mina, se pueden distinguir:

- Niveladoras.
- Máquinas de ripado de cintas.
- Palas cargadoras.



Operación combinada de rotopala y dragalina

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSI	CAPÍTULO 5 MINERÍA POR TRANSFERENCIA. MÉTODOS POR DESCUBIERTA Y MÉTODOS POR TERRAZAS	Pág.: 17 de 17

- Tractores con orugas especiales de baja presión.
- Camiones y vehículos de transporte especiales.
- Bombas de desagüe.
- Torres de iluminación.
- Sistemas de comunicaciones y de control en tiempo real por ordenador.

En cuanto al suministro y forma de energía, casi siempre eléctrica, al variar la situación de los puntos de consumo durante el desarrollo de la explotación, hay de buscarse una localización de la subestación de transformación y control que hace mínimos los tendidos y con una distribución fácil. La alimentación eléctrica a las grandes máquinas (excavadoras, apiladoras, etc.) se hace directamente a alta tensión (20 KV), mientras que los motores de las cintas transportadoras y de otras máquinas auxiliares se puede alimentar a una menor tensión (6 KV).

LA MINERÍA HIDRÁULICA

Juan Herrera Herbert
Fernando Plá Ortiz de Urbina

1. DEFINICIÓN Y CONCEPTO DE MINERÍA HIDRÁULICA

La minería hidráulica se puede definir bien como la extracción de los minerales en aquellos yacimientos formados hidráulicamente o que están bajo el agua y también como aquella técnica que utiliza el agua como una herramienta para el arranque o el transporte de los materiales.

La primera parte de la definición viene a aplicarse a la minería aluvionar o marina de aquellos criaderos situados en:



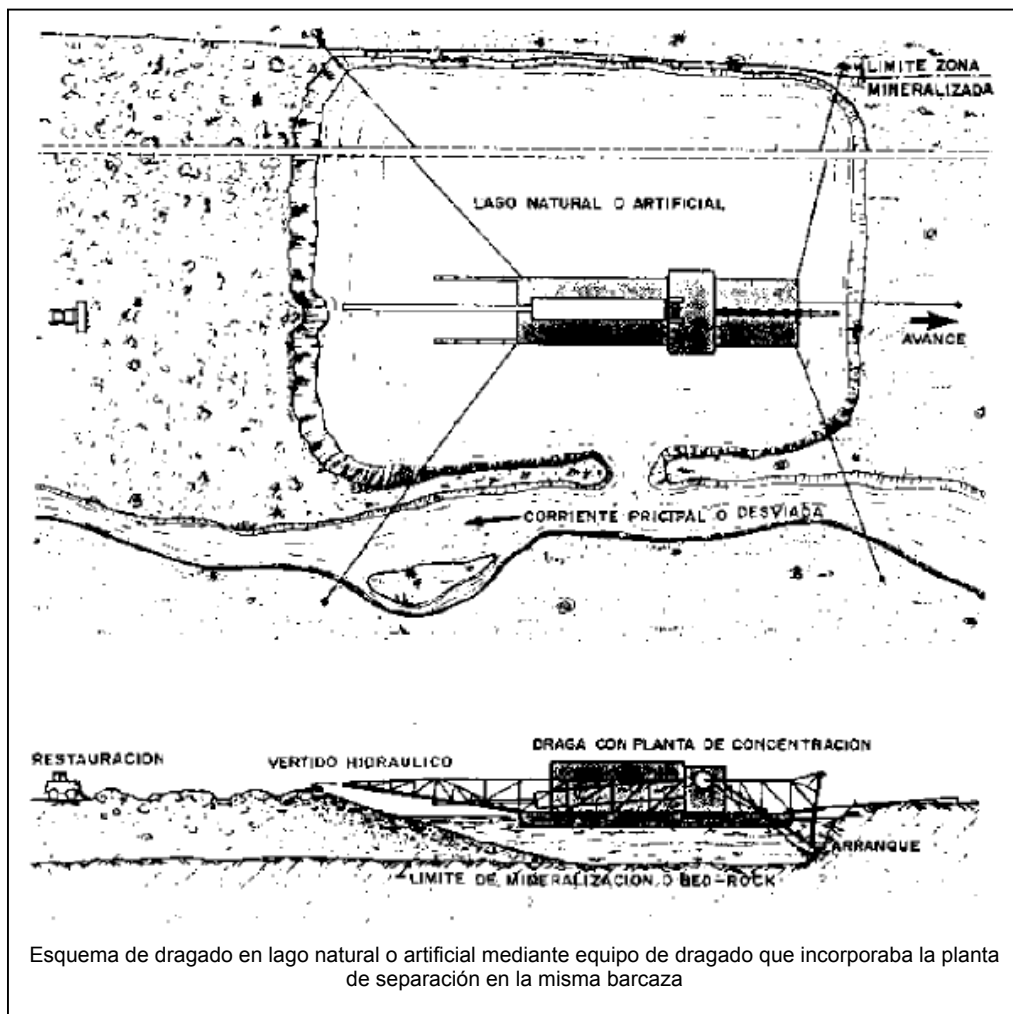
OBJETIVOS DEL TEMA

1. Comprender qué se entiende por minería hidráulica y cual es su campo de aplicación.
2. Distinguir los diferentes sistemas operativos que pueden emplearse.
3. Conocer las características de la utilización de las dragas como sistema para el desarrollo de una actividad minera.
4. Comprender cual es la importancia actual de la minería realizada con dragas.
5. Distinguir en que casos es aplicable la minería con dragas y cuales son sus ventajas e inconvenientes.
6. Conocer los rasgos generales de la práctica operativa del dragado minero.
7. Saber distinguir los distintos tipos de unidades, cual es su campo de aplicación específico y su práctica operativa.
8. Conocer que son los monitores hidráulicos y en qué condiciones son aplicables para una explotación minera.
9. Conocer cuales son sus ventajas e inconvenientes de cara a su utilización.
10. Conocer las características generales y la práctica operativa con los mismos.

Depósitos hidráulicos	Tierra	- Cauces o paleocauces
	Playas	- < 10 m. lámina de agua
	Lagos	- baja lámina < 30 m.
	Mar	plataforma continental off shore >30 y <300 m lámina profunda >300 m.

Para la segunda parte de la definición, el agua se puede aplicar en los siguientes procesos mineros y con las máquinas que se citan:

Hidromecanización	Arranque	monitores hidráulicos. corte a presión
	Transporte	bombas y tuberías cursos de agua canales



2. SISTEMAS OPERATIVOS

Básicamente la minería hidráulica o aluvial es un método minero de cierta escala que utiliza un sistema de arranque del mineral junto a la planta de concentración, situada sobre una plataforma flotante; también es posible utilizar este sistema en aquellos casos, menos mineros, para la reclamación de zonas pantanosas, dragado de puertos y de canales y para la obtención de arenas, limos o lodos en los ríos o cauces próximos a las grandes ciudades.

Requiere esencialmente las siguientes características de los depósitos:



- Disponibilidad de un material susceptible de poder ser arrancado y cargado directamente.
- Un cierto tamaño y valor del depósito.
- Unas características granulométricas finas del material.
- Unas características impermeables del muro.
- Una geometría adecuada del Bed-Rock.

Puede ser realizada por dos técnicas: en seco o con la presencia de agua.

EN SECO	Sistema continuo	Dragas, rotopalas, minadores continuos
	Sistema discontinuo	Dragalinas, palas, raspas, excavadoras, mototrailas

En estos casos se trata de una minería convencional por corta o descubierta de unos materiales sueltos con el empleo de unos sistemas muy variados de maquinaria que se utilizan para extraer:

- Placeres de minerales preciosos o pesados secos,
- Fosfatos, Potasas,
- Diamantes,

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 3 de 3

- Graveras o extracción de áridos.

CON AGUA	Sistema continuo	Cubas en rosario, Cubas rotativas Dragas Barcos-dragas, Cabeza cortante
	Sistema discontinuo	Bombas Grúas almejeras, Dragalinas, Raspas, Retroexcavadoras.



Draga "Queen Nandi" trabajando en la mina de Richards Bay Mineral (Cortesía IHC Systems N.V.)

En este segundo caso se utiliza el agua como una herramienta para arrancar y transportar el material hasta la plataforma o barco que flota sobre la superficie del lago o del mar. La planta de tratamiento puede estar situada sobre la misma plataforma y los residuos, en este caso vuelven hidráulicamente al fondo o bien se puede transportar el material por una tubería hasta la planta situada en la playa u orilla. Un ejemplo muy clásico para la extracción de Sn, W, Au y Ag, como es el sistema empleado en Indonesia, Colombia y Alaska y otros países productores de minerales pesados y valiosos.



No necesariamente el agua debe ser natural o propia del curso de un río, laguna o pantano, sino que artificialmente puede crearse un lago o superficie de agua, siempre que el muro del criadero o Bed-Rock sea básica y relativamente impermeable y la necesaria reposición de líquido sobre los que flota la barcaza sea escasa y controlada.

El sistema operativo más antiguo de minería hidráulica ha sido el clásico bateo manual llevado a cabo en ríos y cauces para la recuperación de algunos minerales pesados y de piedras preciosas y utilizando una pequeña artesa metálica o de madera que, con un ligero movimiento oscilante, permitía preconcentrar los metales pesados y poder verter los estériles más ligeros.

Existen referencias de la utilización de una técnica muy particular de utilización de la energía hidráulica por los romanos en la explotación del yacimiento de



Vista aérea de la mina de Richards Bay Mineral (Grupo Rio Tinto) en la que se ven las dos balsas (posiciones D y E) en las que se encuentran sendas plantas flotantes abastecidas cada una por varias dragas. (Cortesía IHC Systems N.V.)

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 4 de 4

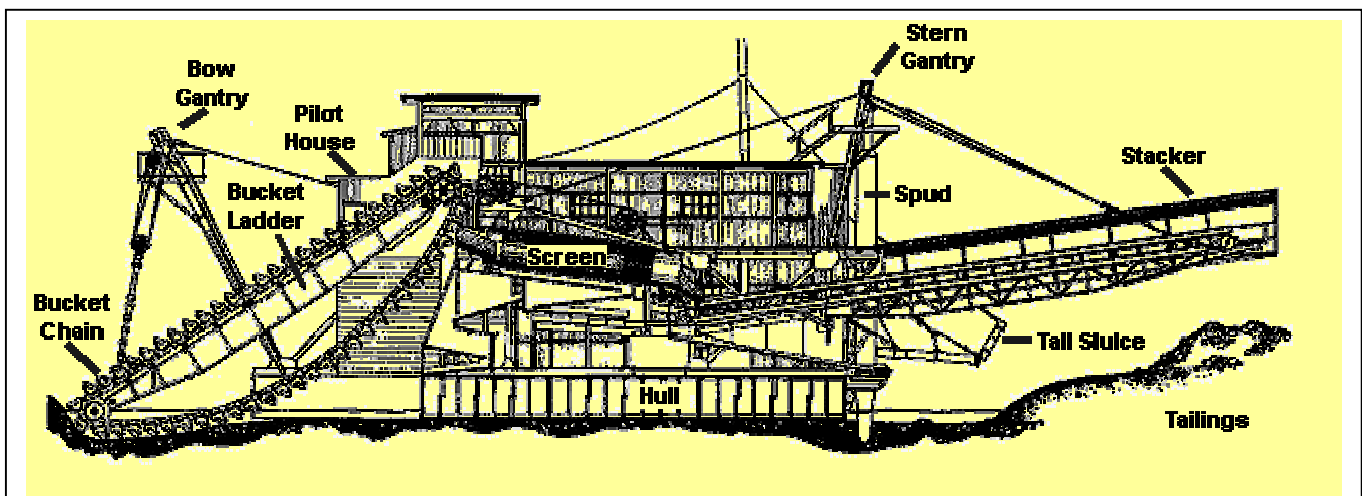
oro de Las Médulas en la provincia de León hace 2000 años.

De las aguas del mar Muerto también se han extraído, desde tiempo inmemorial, sales, minerales de Br, Mg y fosfatos, que pueden entenderse como otras de las más antiguas técnicas de minería hidráulica, aunque en verdad corresponde más a una minería de lixiviación con una evaporación solar.

El ejemplo actual más importante de la minería hidráulica es la minería flotante por Barcos-dragas, que con unas cabezas con norias con cangilones o con cabeza cortante o rozadora pueden arrancar y extraer algunas arenas o rocas no muy resistentes que contienen metales pesados y valiosos con leyes muy bajas, como Au, Ag, Sn, W, Ti o simplemente para minar otros materiales de poco valor como arenas y gravas, que requieran en ambos casos un bajo costo de operación (es la llamada Minería de los tres peniques) y también se puede utilizar este método



minero en algunas obras civiles para la recuperación de playas, pantanos, urbanizaciones o en la Mineralurgia para el retratamiento de las presas de residuos.

No se suelen aplicar, en una minería clásica, las dragas de succión por tener una clara selectividad negativa, al extraer, preferentemente, el material más ligero y dejar en el fondo el más pesado, que en muchos casos es el mineral buscado. La tendencia moderna en la minería por Dragas es hacia el arranque directo y continuo del material con cabezas cortantes construidas con dientes y cubas de materiales muy resistentes al desgaste, y que con bombas de sólidos acopladas en la propia cabeza y a través de tuberías, normalmente forradas de goma, transportan hasta la planta de proceso el material dragado, estando ésta situada sobre el barco-draga o bien a través de una tubería flotante por el lago, hasta la orilla en la que se encuentra la planta de tratamiento.



Esquemas de las antiguas dragas utilizadas en la minería aluvial del Oro en Alaska, hoy día transformadas en monumentos.



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 5 de 5

Lo verdaderamente básico de este método de minería es lograr una buena limpieza del Bed-Rock ya que en su contacto con el muro es donde se pueden encontrar las pepitas o los granos de mayor valor en el caso de los minerales preciosos o pesados, que es su mayor aplicación. Si se puede y debe emplear la draga de succión para la extracción de las arenas y tierras sin valores metálicos. Así se debe destacar a Holanda, que es la reina del dragado y del movimiento de estos materiales arenosos por sistemas continuos, para la propia construcción y defensa del país, lo cual les ha dado una avanzada tecnología, que en parte procedía de la explotación del estaño en su antigua colonia de Indonesia (Billiton).

3. LA IMPORTANCIA DE ESTA MINERÍA

Las aplicaciones del dragado son muy amplias, incluso en yacimientos originalmente secos. Tradicionalmente se han venido utilizando para la explotación de placeres o depósitos detríticos que contienen minerales beneficiables en forma de pequeños granos o partículas sueltas. Es un método minero muy importante para la explotación de sustancias pesadas. Oro, Plata, Estaño, Wolframio, diamantes, Titanio, Rutilo y otros minerales valiosos y pesados, pero también existen de arenas ferríferas y de tierras raras. Modernamente en Alaska, Colombia y Malasia se utilizan barcos-dragas de hasta 20.000 t de peso muerto y con unas potencias de más de 20.000 kW, a pesar de no llevar sus motores de tracción, sino que efectúan ésta a través de los cables tensores de avance o retroceso.

También es un método empleado, mediante el bombeo de los sólidos hasta el sluice o jig desde los huecos o excavaciones practicados en las playas u orillas de ríos, lagos o pantanos, en las explotaciones de oro. Es muy habitual en Venezuela y Brasil para la explotación del oro del Orinoco y la Amazonia por los "garimpeiros", con un nivel tecnológico anticuado y bajo, medioambientalmente criminal, combinado con la amalgamación por mercurio.

Un campo de aplicación de las dragas es el constituido por las rocas industriales, ya que tras su extracción pueden utilizarse directamente en la industria. Este subsector incluye materiales de construcción (arenas y gravas), arenas de playas mineralizadas, rocas industriales (bauxita, arcillas, sales, fosfatos, caolines, bentonita, dolomita, diatomita, caliza, etc) y otros minerales (asbestos, feldspatos, etc). Aquí la explotación se puede hacer mediante arranque hidráulico a través de unos monitores y por el bombeo de la hidromezcla hasta la

planta de ciclonado o inicio del tratamiento mineralúrgico. Es el caso de la técnica utilizada por la "English China Clay" para la explotación del Caolín en Cornwall, cuyo dominio tecnológico desde hace más de un siglo les ha dado un cierto grado de control del mercado mundial.

La explotación de esos materiales en húmedo es muy interesante, por cuanto el procesamiento y el transporte alcanzan grandes rendimientos y eficiencia.

También se han utilizado dragas para la descubierta de algunos yacimientos de carbón, en los que existían depósitos de turba localizados en las proximidades de deltas de ríos, de lagos o del mar, y que aconsejaban su extracción en húmedo.

Por último, en yacimientos de gran volumen donde el recubrimiento está constituido por materiales poco consolidados que es preciso explotar y depositar a grandes distancias, las técnicas de dragado aparecen como sistemas interesantes, ya que el transporte posterior puede hacerse eficazmente por tubería. Un ejemplo de esto se encuentra en la mina de bauxita en Surinam.



También debido a las oscilaciones de las cotizaciones



Mineral Sands Mining in India Ellicott Series 370 "Dragon"



Draga Ellicott construída para minería de sales y propiedad de Saudi Petrochemical (SADAF).

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 6 de 6

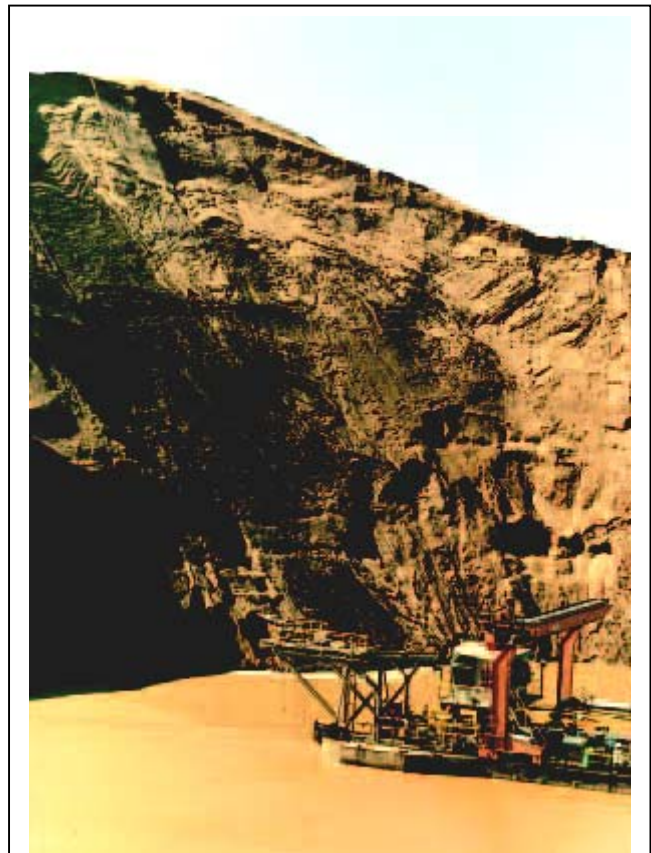
de algunos metales y descenso de las leyes de corte, algunos residuos de las plantas recogidos en presas pueden ser extraídos y manipulados de forma adecuada por dragas.

Con la minería hidráulica se pueden obtener unos costos muy bajos e extracción por m^3 al poderse mecanizar y automatizar los procesos de arranque y de transporte, lo cual permite trabajar unas leyes bajísimas del mineral (ppb para el Au y Sn, W y diamantes), así como separar las arcillas y los caolines de las arenas más gruesas por una simple sedimentación o por una diferenciación de las resistencias en el arranque a través de los grandes monitores hidráulicos con unas presiones de hasta 24 Bar y caudales de $10 m^3$ /minuto con una boquilla de 150 mm de diámetro.

Unas importantes aplicaciones mineras, en vías de Investigación y Desarrollo aplicado, en el momento actual, son para:

- El empleo de "Water Jet Cutting System" o chorro de agua a presiones superiores a los 2000 Kg/cm^2 para el corte de las rocas ornamentales o arranque de rocas, pero no, todavía, en la explotación minera sino en las fases finales de tableraje o de corte de formas especiales.
- El aprovechamiento de los Fondos marinos de sedimentos y nódulos metálicos hasta 2000 m de profundidad. Es el caso del fondo del Mar Rojo y de ciertas zonas del Océano Pacífico y del Atlántico. El proyecto "Atlantis" en el Océano Atlántico es una aventura tecnológica en "joint venture" entre algunas grandes compañías mineras de EE.UU., Japón, Reino Unido y Alemania para la extracción de los minerales metálicos del fondo del mar a una profundidad de más de 2500 m de lámina de agua, a través del sistema clásico de barcos-dragas, como se puede observar en el esquema adjunto.

Existen actualmente grandes problemas jurídicos de los "Derechos del Mar" para obtener las concesiones de las posibles explotaciones en las aguas internacionales. La gran ampliación de los límites territoriales de algunos países ribereños obedece a un intento de proteger sus fuertes intereses mineros económicos frente a la libertad de los mares que reclaman los países más desarrollados. Es un tema que lleva más de 20 años de discusiones en las Naciones Unidas entre los países más desarrollados, que tienen la tecnología, y algunos países, que creen tener los derechos sobre los mares que los bañan, pero que son incapaces tecnológicamente de explotar





Draga de producción en Richards Bay Minerals (Cortesía IHC Systems N.V.).



Draga en operación en la mina de Richards Bay Minerals (Cortesía: Rio Tinto)

sus propios recursos por falta de medios.

Sin embargo, en estos últimos años se ha prestado una mayor atención a los depósitos marinos de arenas y gravas, de fosfato, etc.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 7 de 7

4. MINERÍA CON DRAGAS

4.1. INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO GENERAL DE DRAGADO

Las dragas son equipos destinados a la excavación de materiales sueltos o poco consolidados que se encuentran bajo una lámina de agua. En consecuencia, estos equipos trabajan realizando una excavación subacuática del material. Otra característica es que el recubrimiento de agua puede ser natural o provocado por el hombre con el fin de facilitar y hacer posible la utilización de tales máquinas.

Con los avances logrados en los últimos años en la construcción de estos equipos, es posible explotar yacimientos aluvionares, realizar los desmontes previos de depósitos donde los materiales superficiales están poco consolidados y existe agua en las proximidades, etc. Otra aplicación que empieza a tener futuro es la de la minería marina, por medio de la cual se extraen desde áridos hasta recursos de muy alto valor.

En el campo del dragado tradicional para la explotación de yacimientos minerales, las condiciones que deben cumplirse para la aplicación de estos sistemas son:

- Resistencia del mineral: en depósitos de tipo placer, los granos de mineral deben ser más pesados que el estéril, que se presentará en forma de suelo poco consolidado, o con una matriz de gravas y arenas sin casi cohesión.
- Resistencia de los estériles: materiales sueltos.
- Forma del depósito: aluvionar, tabular, banco o playa.
- Inclinación del yacimiento: preferiblemente horizontal, con una pendiente máxima del 2 % al 6 %
- Tamaño del depósito: con una potencia de intermedia a grande, de 8 a 60 m.
- Ley del mineral: puede ser muy baja.
- Profundidad: muy superficial y pequeño recubrimiento.



Construcción y montaje de la draga bautizada como "Cooljarloo I", para la extracción de arenas con minerales pesados en Australia Occidental. Es la draga más grande existente en Australia.

Proyecto Cooljarloo, joint venture entre Minproc Chemicals Pty. Ltd. y KMCC Western Australia Pty., Ltd., subsidiaria de Kerr-McGee. (Cortesía Ellicott International)



Draga de gran envergadura diseñada para la extracción de arenas de TiO_2 en Florida, EE.UU. Propiedad: Corporación DuPont (Cortesía Ellicott International).





Draga Ellicott B890 Bucketwheel Dredge para extracción de sales, propiedad de Xingjiang Salt Lake Chemical, China (Cortesía Ellicott International).

4.2. VENTAJAS E INCONVENIENTES

Algunas características básicas del empleo de las dragas en minería son las siguientes:

Ventajas:

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 8 de 8

- Equipos de alta productividad.
- Costes de operación bajos
- Requieren poca mano de obra.
- Buena recuperación, pero acompañada de alta dilución.
- Operación normalmente continua en la mayoría de los equipos.



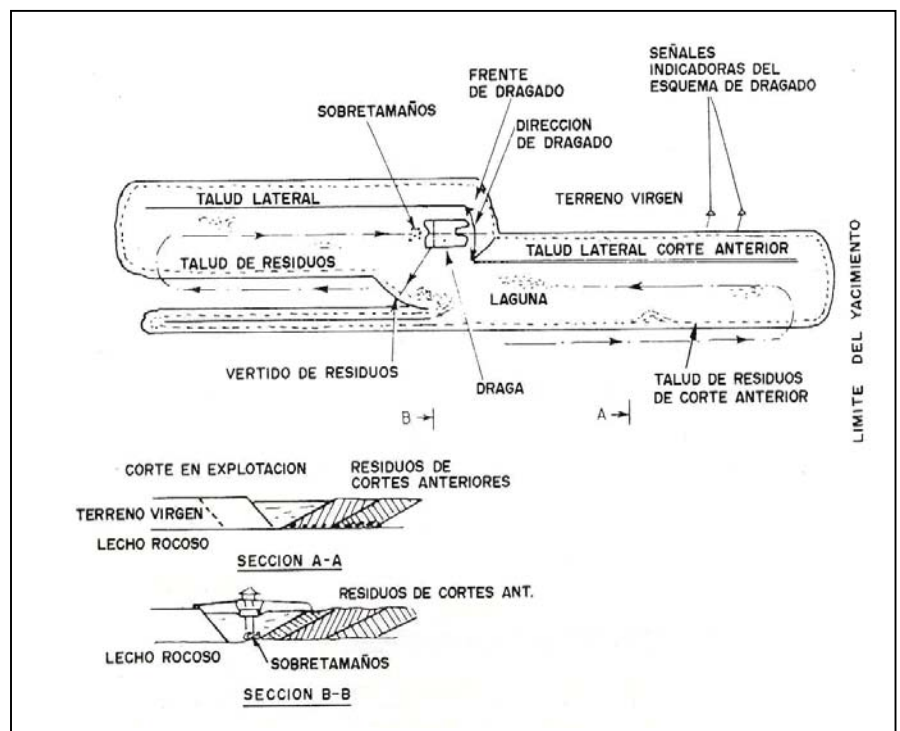
Inconvenientes:



- Fuertes impactos ambientales.
- Necesidad de agua, de 3.000 a 4.000 l/m³ de material explotado.
- Campo restringido a materiales poco consolidados o fácilmente disgregados bajo el ataque hidráulico o combinado.
- Alta inversión de capital con equipos grandes.
- Poca flexibilidad y selectividad.

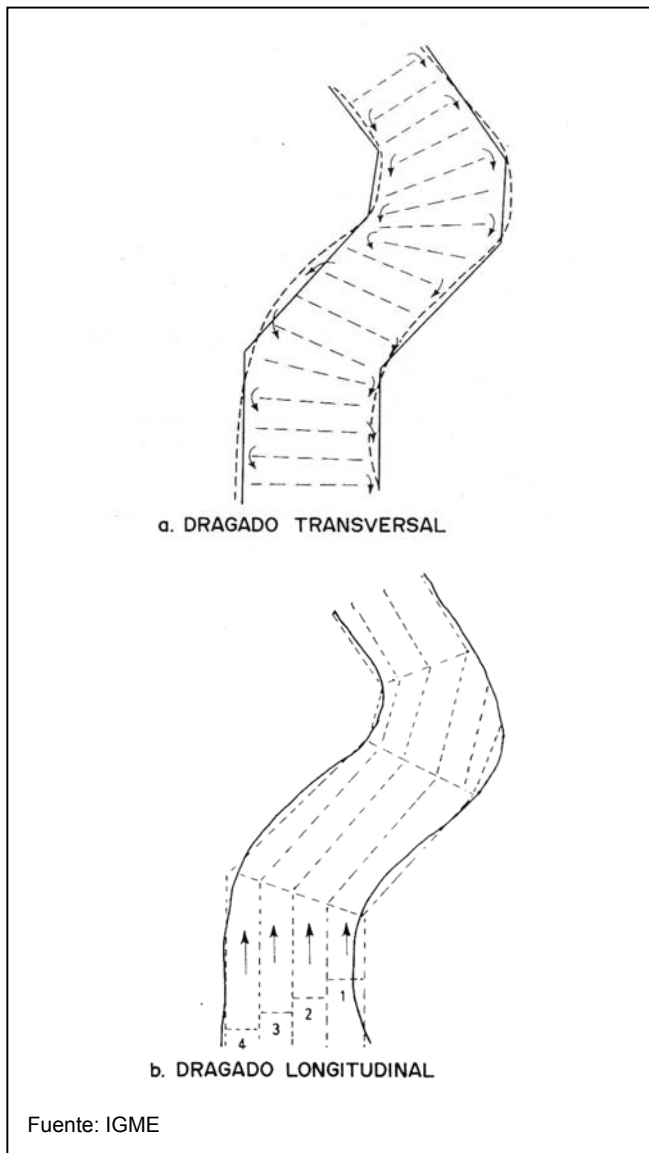
El dragado transversal al yacimiento tiene ventajas en depósitos anchos en los que el mineral probablemente se extiende más allá de los límites supuestos. El principal inconveniente estriba en las cuñas que se abandonan entre los cortes sucesivos con la finalidad de evitar la dilución con los residuos almacenados de los cortes anteriores. Por esta razón, puede perderse hasta un 5% de las reservas totales y, además, en depósitos superficiales existe el inconveniente adicional derivado del tiempo invertido en los extremos en cada comienzo del ciclo. Estos inconvenientes pueden minimizarse, en algunos casos, mediante la construcción de dragas con capacidad suficiente para depositar lateralmente los residuos en un punto alejado.

4.3. PRÁCTICA OPERATIVA DEL DRAGADO

Las dragas trabajan normalmente efectuando cortes paralelos al eje principal del depósito o transversales al mismo, pudiéndose utilizar una o más unidades de dragado para hacer frente a los cambios en las leyes y tipos de minerales, o incluso para alcanzar los niveles de producción requeridos. Los costes unitarios de operación son, frecuentemente, menores para una sola draga de grandes dimensiones que para un grupo de dragas de menor tamaño, aunque también influyen sobre los costes otros muchos factores, tales como profundidades de dragado, relaciones de estéril de recubrimiento a mineral, condiciones del lecho rocoso, etc.



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 9 de 9



El dragado longitudinal aguas arriba puede efectuarse con varios frentes para cubrir la anchura total del depósito. Cada frente se avanza de 10 a 15 m cada vez, invirtiendo en el traslado de uno a otro entre 10 y 15 minutos. Los residuos se vierten por detrás en puntos bastante alejados para permitir el libre movimiento de la draga. Al no dejarse ningún macizo intermedio no existen, prácticamente, pérdidas de mineral. El método presenta dificultades cuando se pretende trabajar fuera de los límites planificados y exige un elevado número de trazados curvilíneos para los movimientos laterales.

En lo referente al vertido de residuos, si éste se realiza lateralmente y hacia la parte posterior de la draga, como se ha indicado, podrá efectuarse sistemáticamente la explotación del depósito según un esquema transversal, sin necesidad de volver a dragar

los residuos almacenados en fases anteriores o, alternativamente, evitar el abandono de zonas del yacimiento sin explotar. Los dispositivos de vertido son reversibles y posibilitan el dragado al girar para reiniciar un nuevo corte en los extremos del depósito.

Finalmente, en la práctica operativa con cada tipo de draga, es muy importante la forma en la que éstas avanzan cubriendo el área de explotación y los movimientos que realizan en cada fase de trabajo.

4.4. TIPOS DE UNIDADES Y PRÁCTICA OPERATIVA CORRESPONDIENTE

Los diferentes tipos de dragas que actualmente se utilizan, tanto en minería como en obra civil, se pueden clasificar en dos grandes grupos:



- A. Mecánicas:
 1. De cuchara.
 2. De cangilones.
 3. De rodete-succionadora.
- B. Hidráulicas:
 1. Cortadora-succionadora.
 2. De succión en marcha.

La draga de cangilones es la máquina clásica de excavación continua de materiales sueltos o poco consolidados con algunos bolos; por esto se utilizan mucho en la explotación de placeres con minerales de alto valor. Un equipo más versátil es la draga de rodete succionadora, que arranca los materiales mediante el giro de un rodete de cangilones, descargándolos en la tubería de succión para su transporte. Las dragas de cuchara tienen el inconveniente de realizar la operación de arranque de forma discontinuo, pero, por el contrario, son capaces de efectuar la extracción de materiales más compactos y con bloques de mayor tamaño. Hoy en día su uso está bastante limitado a los depósitos de arenas y gravas.

Las dragas hidráulicas han tenido un uso limitado en la minería de placeres, debido a las bajas recuperaciones de metales pesados y a las restricciones impuestas por la presencia de bolos. No obstante, en otros sectores ofrecen numerosas ventajas al ser equipos de arranque continuo, tal es el caso de las arenas y gravas.

Cualquiera de las dragas anteriores, si se dedica a la extracción de minerales que requieren un procesamiento, puede disponer de la planta de tratamiento:

- Sobre ella misma o,

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 10 de 10

- Sobre una plataforma flotante independiente que se sitúa en las proximidades, o
- En terreno firme.

de la superestructura, se deposita el material en una embarcación próxima, barcaza o gánguil.

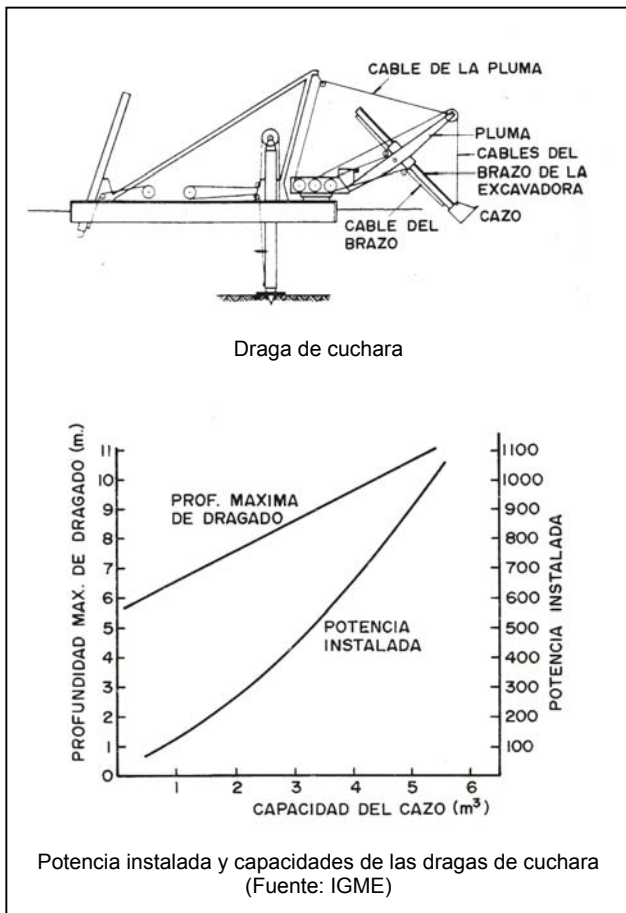
Debido a que tienen que aplicarse al terreno grandes fuerzas de excavación horizontales, es necesario que la pontona esté posicionada y fijada al terreno mediante puntales, para que las fuerzas de reacción no tengan que ser absorbidas por los cables de anclaje.

Las dragas de cuchara varían considerablemente en tamaño, potencia y capacidad. La capacidad de la cuchara suele oscilar entre 1 y 9 m³ y la profundidad máxima de dragado entre 6 y 12 m bajo el nivel del agua. Sin embargo, dragas con cucharas de unos 12 m³ de capacidad, pueden alcanzar profundidades superiores.

Estas unidades realizan la excavación en cortes con una anchura dada. El ciclo básico de la draga consiste en: descender la cuchara hasta el fondo, excavar durante el ascenso de la misma, elevarla por encima del nivel de la barcaza, girarla y depositar la carga sobre dichas barcazas, que se colocan lateralmente.

El ritmo en que se explota una zona depende del tiempo de ciclo, anchura del corte y profundidad del material a ser dragado.

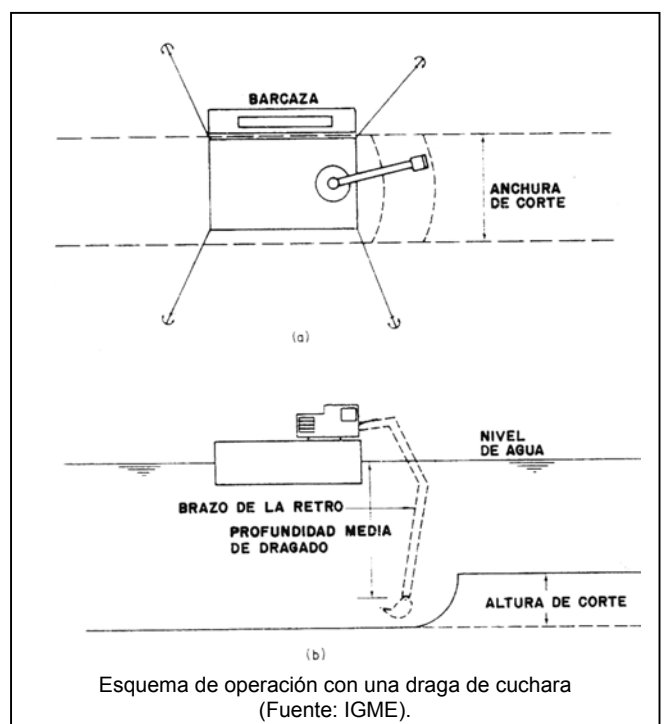
En la práctica operativa, el avance de la draga se consigue mediante el accionamiento de los cabrestantes que actúan sobre los cables laterales de anclaje. Después de cada desplazamiento se





4.4.1. Draga de cuchara

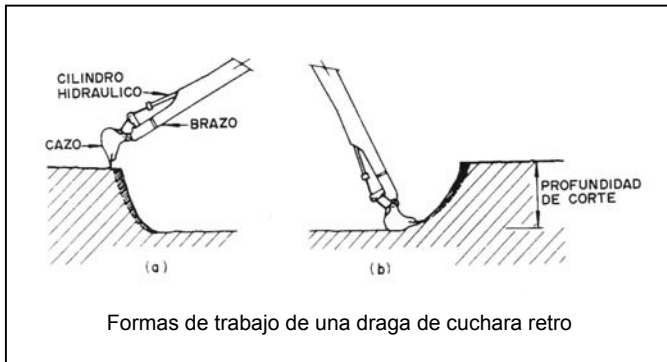
Esta draga está constituida por una excavadora de gran capacidad, accionada mecánicamente por medio de cables, de forma semejante a sus equipos homónimos que se utilizan en la minería tradicional a cielo abierto. Estos equipos son especialmente idóneos para trabajar con materiales duros y para extraer grandes bloques, de ahí que frecuentemente se combinen con unidades rompe-rocas para extraer los fragmentos de roca desprendidos.

El principio de trabajo es igual al de una excavadora normal, donde la cuchara describe en un plano vertical un arco que, con la ayuda de los dientes en cuyos extremos se concentran las fuerzas de excavación con altas cargas puntuales, permite arrancar una rebanada de material hasta llenarlo. La cuchara, una vez cargada, se eleva mediante los cables de accionamiento de la pluma y del brazo y, con el giro

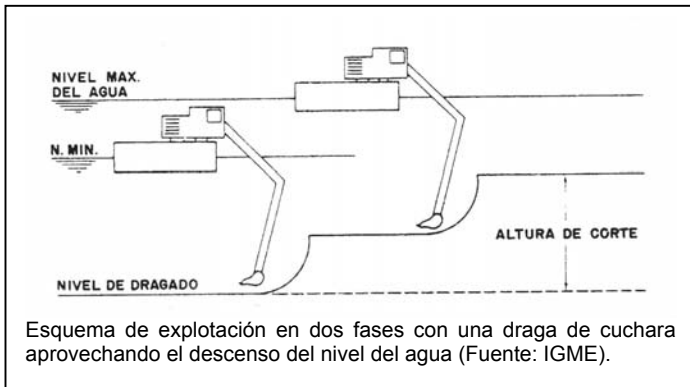


 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 11 de 11

desciende el puntal con el fin de que el equipo transmita al terreno las fuerzas de reacción y trabaje desde una posición fija.



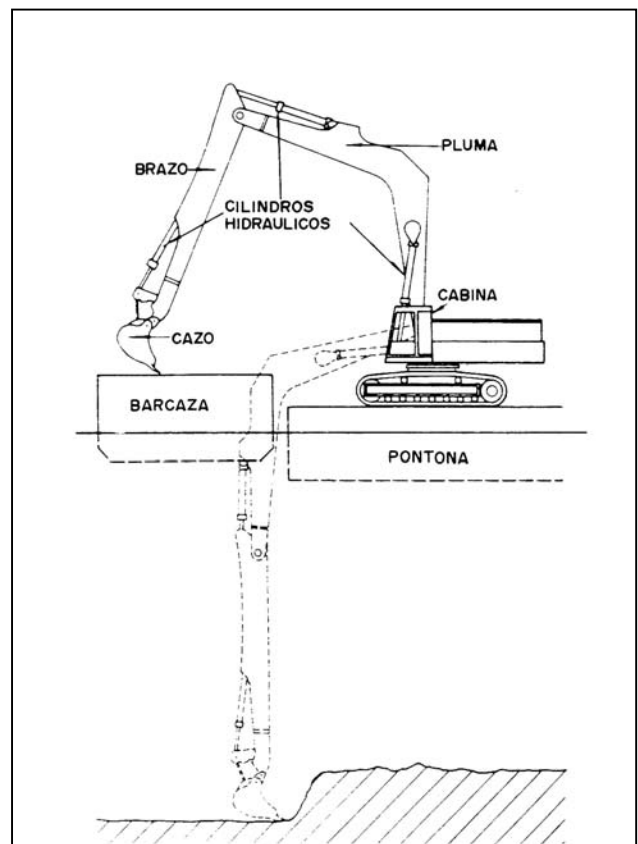
Si la draga que se utiliza no tiene suficiente alcance para extraer todo el material del depósito y es posible esperar a épocas en las cuales descende el nivel de agua, la explotación podrá realizarse en tales casos en dos fases, una primera excavando la capa superior y otra segunda excavando la inferior.



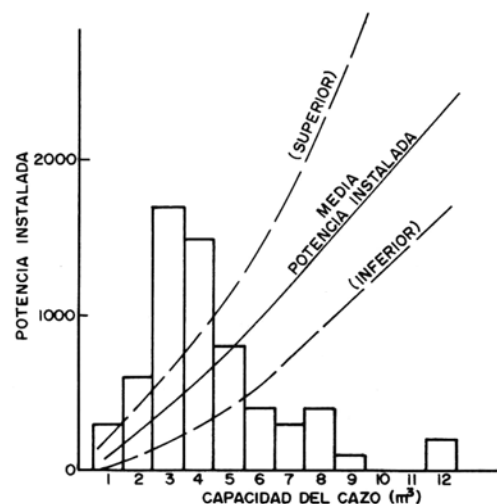
4.4.2. Draga de cuchara retro

Estos equipos están constituidos, básicamente, por una retroexcavadora convencional montada sobre una pontona. Al contrario que la draga de cuchara, el movimiento del cazo es en dirección hacia la propia máquina, existiendo dos formas de trabajo.

Estas unidades tienen una gran potencia de arranque y presentan una gran versatilidad. El diseño antiguo consistía en una retro integrada en la propia pontona y con puntales para transmitir al terreno las reacciones horizontales de las fuerzas de excavación. Sin embargo, las dragas actuales consisten, por lo general, en una retroexcavadora estándar colocada sobre una pontona flotante. Estas máquinas pueden





Draga de cuchara retro (Fuente: IGME)

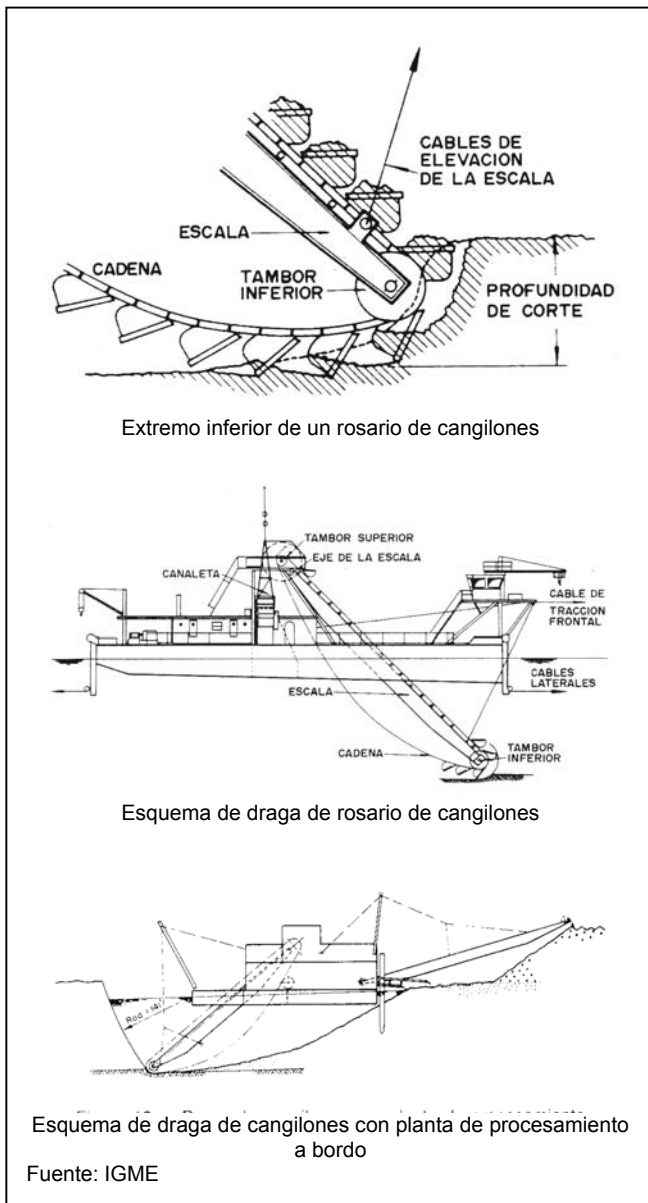


Profundidades máximas y potencias de las dragas de cuchara retro (Fuente: IGME).

montar plumas y brazos de diferentes dimensiones.

La forma de trabajo es similar a la que se realiza en cualquier operación a cielo abierto, con la única diferencia de efectuar el arranque y elevación de la

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 12 de 12



carga bajo el agua y, una vez en la superficie, girar la superestructura y depositar dicha carga sobre una embarcación próxima. En este caso, es preciso indicar que las profundidades máximas se refieren al nivel de orugas de las retros y no al nivel del agua.

Las consideraciones con respecto a la práctica operativa con este tipo de draga son análogas a al caso anterior.

4.4.3. Dragas de cangilones

Es el equipo más conocido y más antiguo, denominado también draga de rosario. Generalmente, el casco está formado por un pontón rectangular y en

los modelos desmontables por un pontón principal y varios laterales. Algunas dragas de este tipo disponen de propulsión propia. En la parte central del pontón principal se encuentra la escala, que se hace descender con el rosario de cangilones hasta una profundidad máxima de unos 50 m en los modelos mayores. El rosario de cangilones consiste en un conjunto de cazos fijados a una cadena que es guiada a lo largo de la escala. La cadena es accionada por el tambor de cabeza que se encuentra en la superficie en el extremo de la escala. El otro tambor, que es el de retorno, se encuentra en el extremo opuesto sumergido. El accionamiento de la escala se efectúa mediante cabrestantes y cables de elevación.



La parte inferior del rosario de cangilones es la que realiza la función de excavación al encontrarse diversos cangilones en contacto con el terreno. Estos efectúan el corte al ser arrastrados por la cadena y estar el borde de los mismos en contacto con el fondo. Cuando los materiales son compactos, en los cangilones se colocan unos dientes especiales para favorecer el arranque.

Los recipientes cargados se elevan a lo largo de la escala, vertiendo su contenido a la altura del tambor superior sobre una tolva de recogida que lo guía a un lado de la draga, si se dispone de una barcaza de transporte, o a un punto posterior de ésta si la propia draga dispone de una planta de procesamiento. Las dragas pueden estar dotadas de unos cables de tracción anclados en uno de sus extremos, capaces de transmitir al terreno las fuerzas de reacción que se producen durante la excavación o poseer un puntal en la parte posterior que se apoya sobre el propio material extraído, procesado y vertido por el equipo.

La operación de dragado con estos equipos es un proceso continuo que sólo se interrumpe cuando se precisa accionar el cable frontal de tracción o el puntal para que la draga avance.

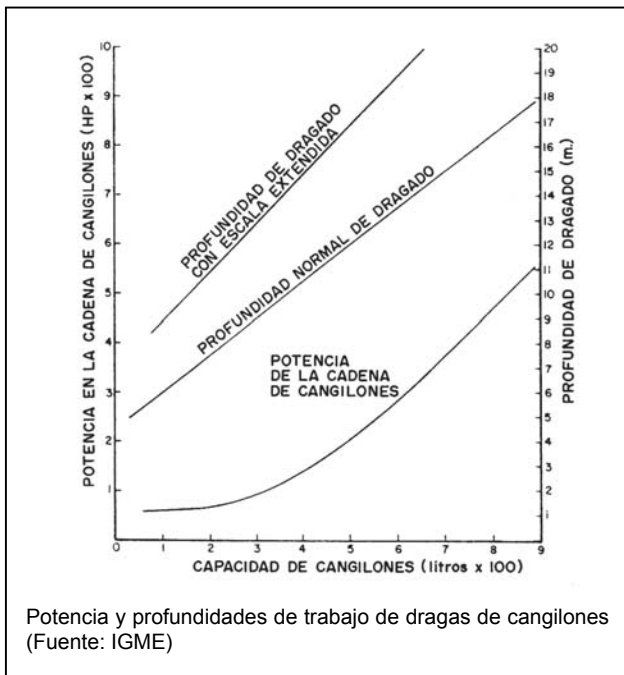
Las dragas de rosario varían en tamaño, capacidad de los cangilones y potencia, dependiendo del tipo de trabajo para el que se diseñan. Normalmente, la capacidad de los cangilones varía entre los 100 y los 1.000 litros, con un tamaño más empleado de 400 litros.

Existen amplias variaciones en los diseños de estas máquinas, ya que se construyen para adaptarse a diferentes condiciones de trabajo y, en ocasiones, se modifican en las propias explotaciones. Con el fin de dragar materiales blandos y al mismo tiempo poder arrancar rocas previamente fragmentadas, los rosarios de cangilones pueden construirse con cazos alternos, o precortadores, de menor capacidad y dotados con dientes en el borde de ataque. La longitud de la

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 13 de 13

escala, y por consiguiente la cadena de cangilones, puede ser extendida descendiendo el punto de giro de la escala a un nivel inferior, colocando en el espacio dejado entre el tambor de accionamiento y la escala otra escala auxiliar. Las profundidades máximas de dragado pueden ser aumentadas significativamente por este método. De esta forma pueden alcanzarse niveles de hasta 50 m por debajo de la superficie.

Las velocidades de la cadena son variables. Las dragas modernas se diseñan para materiales blandos, con unas velocidades de 16 a 25 cangilones por minuto, aunque se han llegado a usar cadencias de hasta 30 cangilones por minuto. Con materiales duros las velocidades son considerablemente menores, entre el 25 y el 50% de las velocidades anteriores.



La operación de excavación con una draga de rosario se efectúa, también, según unos módulos o cortes. El ciclo básico de un corte comprende: avance con el cable de tracción, excavación de los materiales girando la draga para cubrir la anchura del tajo, y repetición del ciclo. Para conseguir la posición adecuada del equipo se utilizan unos cables laterales.

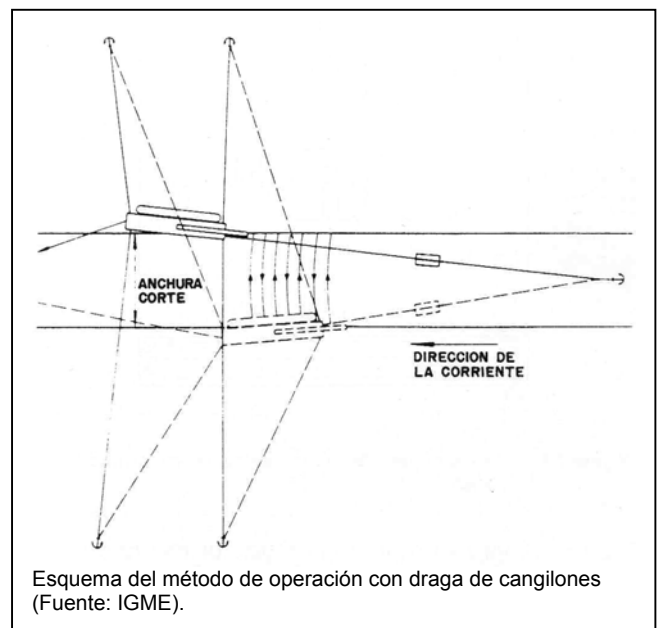
La distancia avanzada por la draga en cada pasada depende de la profundidad de trabajo y tipo de material. Los valores más usuales son los siguientes:

Tipo de material	Distancia avanzada (m)
Duro	0,3 - 0,5
Blando	0,8 - 1,0
Muy blando	1,8 - 2,0

La anchura del corte varía según las dimensiones de la draga y dispositivos de anclaje, pero por lo común oscila entre los 60 y 100 m.

Con el fin de que las fuerzas de excavación se transmitan al cable frontal, y no a los laterales, la draga se dispone en ángulo girándola. Los ángulos extremos de las dragas se producen fuera de la anchura de corte teórica, lo cual puede causar problemas si las aguas son muy superficiales o existen taludes excavados descubiertos.



Los cables laterales juegan un papel muy importante en el movimiento de la draga durante el ciclo de trabajo. Cuando los ángulos que forman esos cables llegan a ser superiores a los 30° ó 40° con respecto a la perpendicular, es preciso mover los anclajes a otras nuevas posiciones. Si esto no se hace se precisa mucha más potencia y resulta más complejo el desplazamiento lateral de la draga.



4.4.4. Draga cortadora de succión

En estos equipos el desplazamiento del material dragado tiene lugar en mezcla con agua y por medio de una bomba centrífuga.

Es un tipo de draga que procede de la evolución de la draga de arranque estacionaria, la cual no puede operar en terrenos duros ni dragar en perfil. Este equipo permite trazar un perfil preciso y trabajar en terrenos de gran dureza gracias a la cabeza de corte, que con su movimiento rotativo fragmenta y remueve el material lo necesario y suficiente para su aspiración.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 14 de 14

Con materiales de gran resistencia la cabeza de corte va entonces dotada de dientes intercambiables.

Los diseños de las cabezas de corte son muy variados, pero básicamente existen dos grupos: en forma de canasta con las hojas de corte en espiral, o en forma de araña con las hojas rectas.

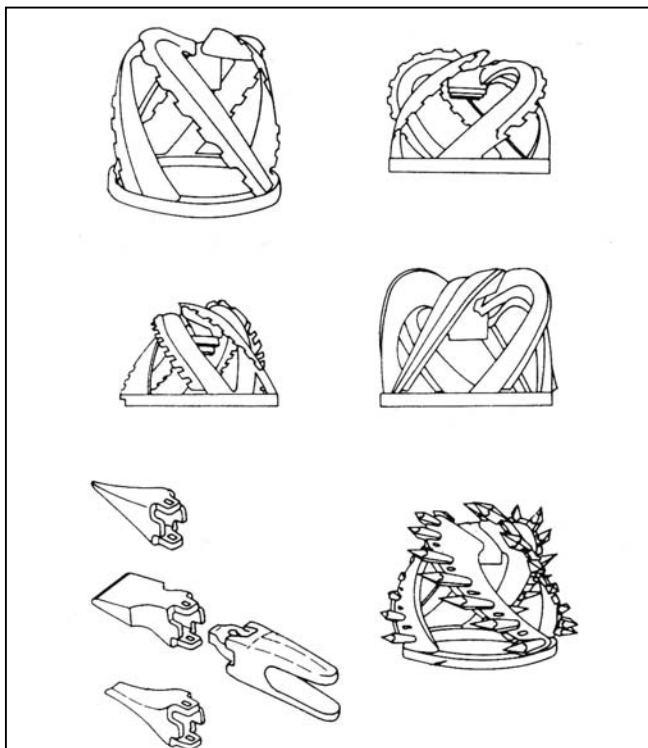
El espaciamiento entre hojas varía de acuerdo al tipo de material que se pretende dragar. El ángulo de las hojas de corte tiene una considerable influencia sobre el rendimiento de la operación. Las velocidades de giro varían, normalmente, entre las 10 y las 30 rpm, disponiendo el motor de rotación directamente detrás de la cabeza en una unidad de accionamiento

sumergida y fijada lateralmente a la escala.

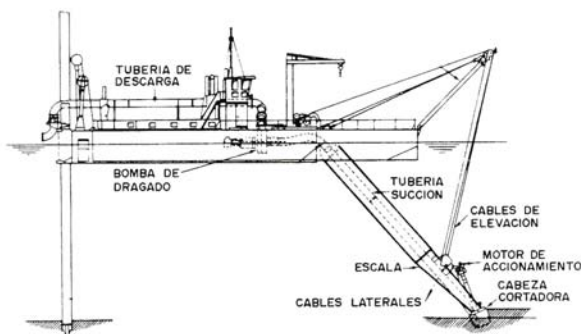
Además de la cabeza de corte, la tubería de succión también se encuentra montada sobre la escala, pudiendo articularse ésta verticalmente por medio de un caballete o pescante.

La bomba o bombas de dragado se encuentran a bordo, y para trabajar a profundidades superiores a los 10 m o para una concentración superior de sólidos se suele emplear una bomba auxiliar sumergida en la tubería de succión.

En cada posición de dragado, el equipo gira sobre un puntal auxiliándose de los cables laterales, al tiempo que la cabeza va cortando el material en el fondo.



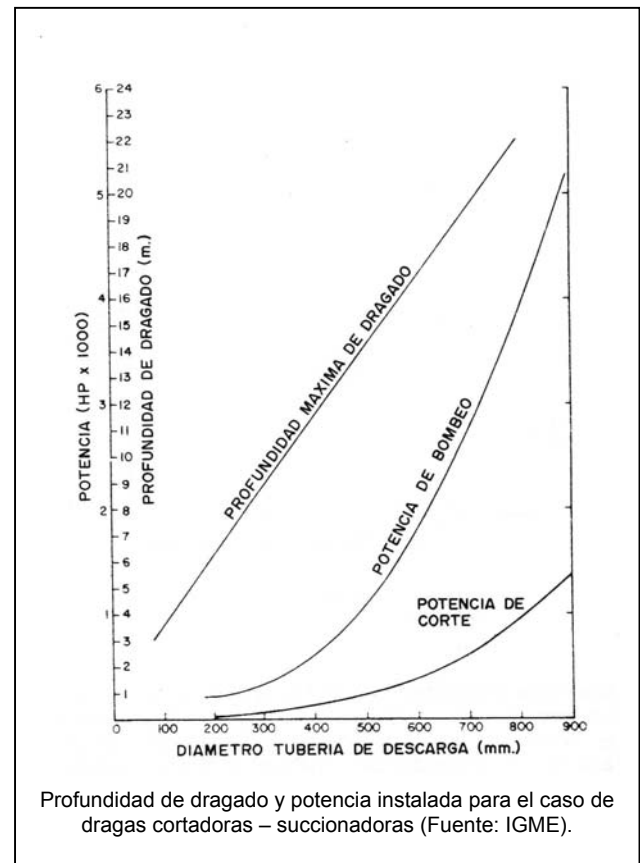
Tipos de cabezas y dientes de corte (Fuente: IHC Holland)





Esquema de draga cortadora – succionadora (Fuente: IGME).

Dependiendo de la dureza del material se combina el giro de la escala con la rotación de la cabeza de corte de una u otra forma, con el fin de conseguir la acción de corte más efectiva. Además de esas direcciones, otras variables a considerar son la velocidad de accionamiento, el tamaño del equipo y la profundidad de dragado.

El ciclo básico de operación de una draga de succión consiste en: el corte, avance con los puntales, corte, y,



Profundidad de dragado y potencia instalada para el caso de dragas cortadoras – succionadoras (Fuente: IGME).

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 15 de 15

nuevamente, avance con los puntales. Aunque el proceso de bombeo es continuo habrá momentos en los que solamente se bombee agua, por ejemplo, durante el avance o movimiento lateral de la draga.

Existen diversos sistemas de puntales de apoyo, que se utilizan para el desplazamiento de las dragas de succión. Por medio de los cabrestantes laterales delanteros la draga traza un arco de circunferencia con centro en el eje del puntal. La dimensión de la draga y, por consiguiente, la magnitud del arco citado, condiciona la anchura del corte a excavar.

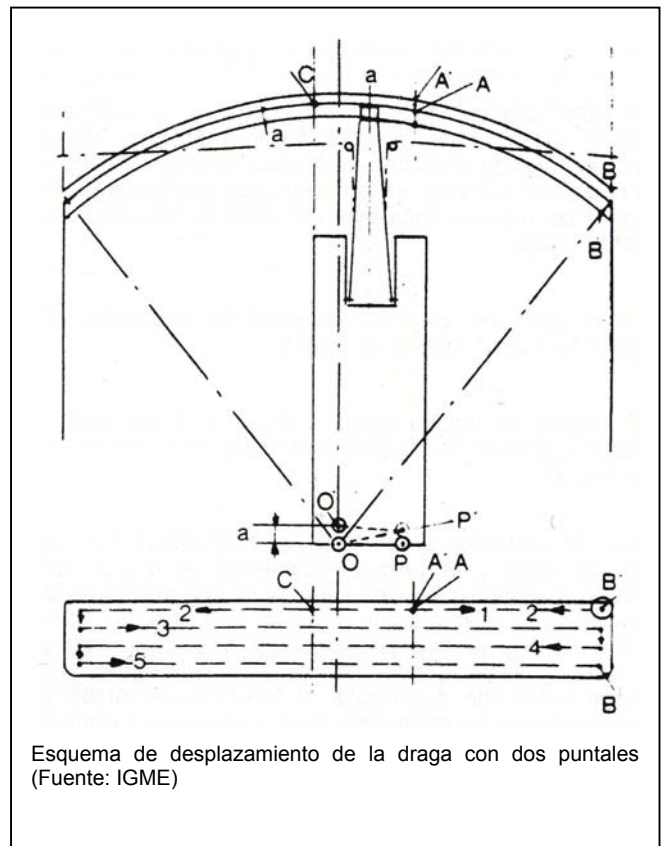
Mientras la draga se traslada no se da casi producción, de ahí que en el transcurso del tiempo se haya dedicado mucha atención al desarrollo de diversos sistemas de puntales que se emplean en la práctica. Las principales configuraciones son las siguientes:

- Dos puntales independientes.
- Sistema con carro de puntales
- Sistema de puntales pivotantes.
- Sistemas especiales.

El primer diseño es el más utilizado y, al mismo tiempo, el más sencillo. Dos puntales están dispuestos en posición vertical y asegurados por unas abrazaderas en la parte posterior de la draga. Uno de los puntales se halla en posición bajada, con el extremo en el medio del corte. El otro puntal está izado por encima del fondo, para que cuando caiga penetre lo suficiente en el lecho. Durante la operación, la draga vira en torno al puntal de trabajo, que es el que está anclado al terreno. Después de cada giro, la escala con su cabeza cortadora se baja un poco más hasta que se alcanza la profundidad requerida. La cabeza se encuentra entonces en una de las esquinas del corte. La draga tiene que adelantarse y, para ello, retorna la cabeza hasta la posición, girando todo el equipo alrededor del puntal apoyado. En ese instante se desciende el otro puntal y se iza el de trabajo anterior. A continuación se vira la draga en torno al punto de anclaje hasta que la cabeza avance y entonces se baja nuevamente el puntal de trabajo, y después se iza el puntal auxiliar.

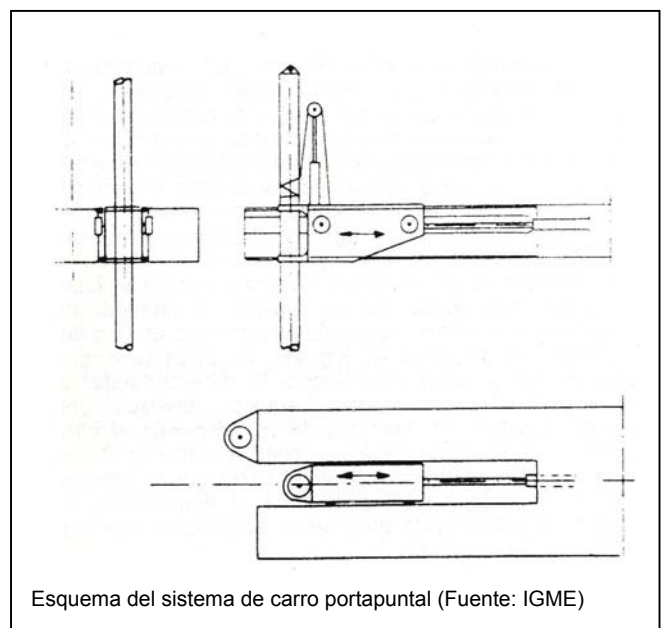
Las dragas de succión suelen diseñarse para ángulos de giro de unos 40° a ambos lados, pues ángulos mayores plantean serios problemas. La operación descrita, como puede comprenderse, exige mucho tiempo improductivo.

El segundo sistema consiste en la instalación de un carro móvil al que se fija un puntal mediante una abrazadera. Este carro se mueve longitudinalmente en un hueco dispuesto en la parte posterior de la





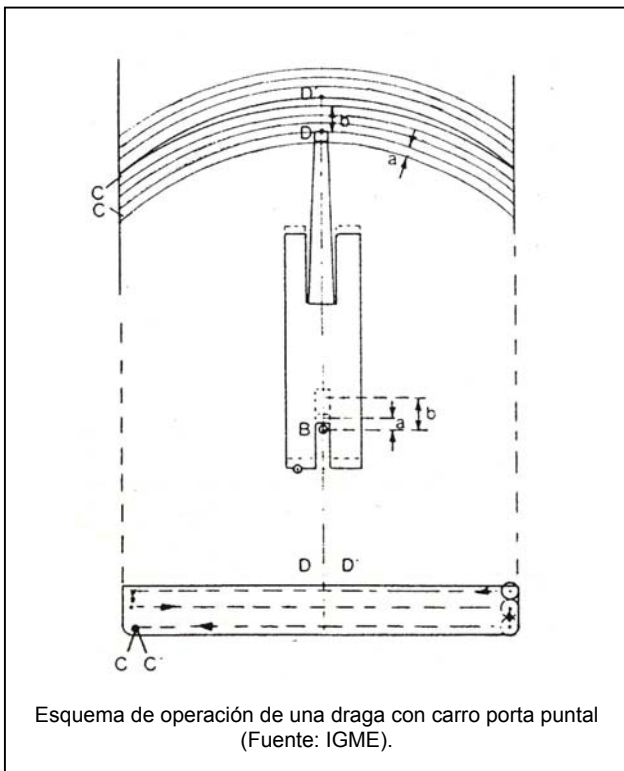
Esquema de desplazamiento de la draga con dos puntales (Fuente: IGME)

dragas. El carro está dotado de cuatro ruedas y se desplaza sobre unos carriles que se hallan montados en la draga. A fin de absorber las fuerzas laterales provocadas por los puntales, se proveen unos rodillos guía. El carro se acciona mediante un cilindro hidráulico de doble efecto. El método de trabajo



Esquema del sistema de carro portapuntal (Fuente: IGME)

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 16 de 16



resulta más sencillo que con el sistema anterior y en la parte posterior de la draga se encuentra un segundo puntal, que es el auxiliar.

Cuando comienza la operación, la draga se sitúa en el eje del corte y el carro se encuentra en la posición inicial. A continuación, se baja el puntal de trabajo, mientras que el puntal auxiliar está levantado. El equipo gira por medio de los cabrestantes laterales delanteros alrededor del puntal de trabajo. La draga junto con su escala irá describiendo arcos y descendiendo hasta que se haya alcanzado la profundidad requerida. Después se va avanzando la draga por medio del carro hasta que se alcanza la nueva posición. Entonces se baja el puntal auxiliar y se iza el de trabajo, que por medio del carro se coloca en la posición inicial. Seguidamente, se vuelve a bajar el puntal de trabajo, levantándose el auxiliar, y se recomienza la operación de dragado.

Los tiempos muertos con este dispositivo son mucho menores que en las dragas con dos puntales independientes; de ahí que este último se utilice cada día menos.



El tercer sistema es comparable con el anterior, pero en este caso el puntal de trabajo gira sobre un eje horizontal para permitir un apalancamiento y desplazamiento hacia delante de la draga. El ángulo que el puntal puede formar con la vertical no suele ser mayor de 8° a cada lado. Con este sistema la operación es como sigue: el puntal de trabajo se baja

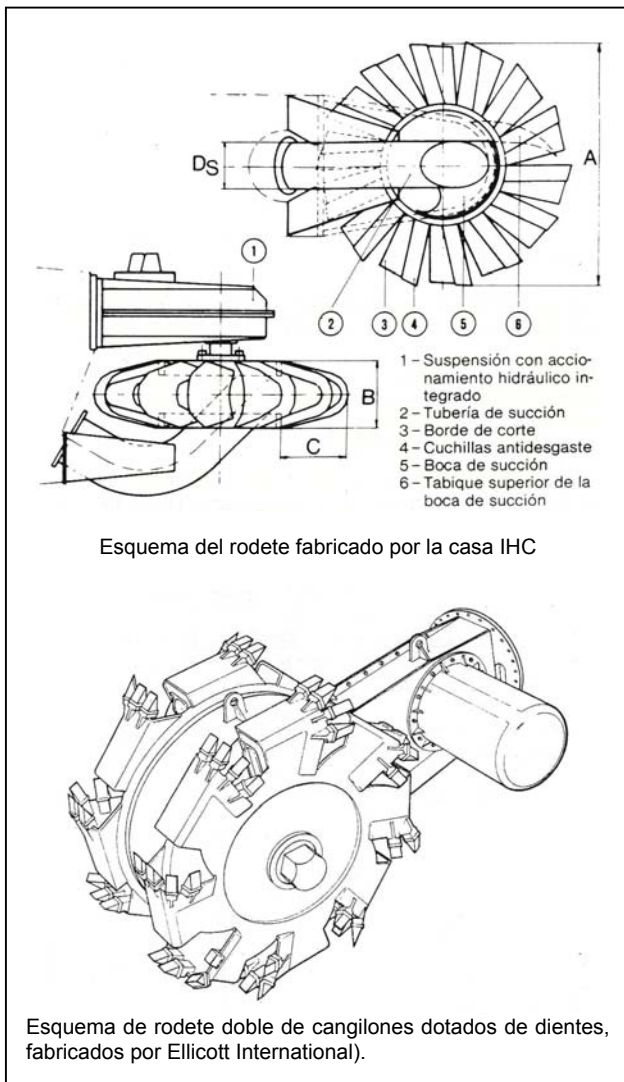
hasta el centro del corte, se cubre la anchura de corte mediante giros laterales y para avanzar se mueve el cilindro hidráulico, y la draga puede adelantarse la distancia que permite el giro del puntal. Entonces hay que cambiar de puntal, para lo cual se baja el puntal auxiliar, se iza el de trabajo y se lleva otra vez cerca de la draga donde se baja nuevamente. Luego se vuelve a elevar el puntal auxiliar.

En comparación con el sistema anterior, tiene el inconveniente de que, a profundidades de dragado reducidas, la carrera útil es más pequeña. Por otra parte, este sistema no es más económico que el de carro, lo que hace que se utilice en pocos equipos.



Extracción de potasas en salinas del Mar Muerto propiedad de Dead Sea Works (DSW), filial de Israel Chemical Ltd. (ICL). Imágenes cortesía de Ellicott International.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 17 de 17



4.4.5. Dragas succionadoras de rodete

Normalmente, las dragas cortadoras-succionadoras se conectan a una tubería flotante por la que se realiza el transporte del material, por lo que la longitud de ésta y su disposición deben estudiarse para permitir los sucesivos desplazamientos del equipo.

En cuanto a la construcción de estas dragas, existen equipos autopropulsados, pero la mayoría están formados por simples pontones rectangulares. En las dragas desmontables se emplean varios pontones laterales más pequeños, agrupados alrededor del pontón principal. El tamaño de este tipo de dragas se expresa por su potencia total instalada y por el diámetro de la tubería de succión. La tubería de succión normalmente tiene un diámetro igual ó 50 mm mayor que la de descarga. El rango de diámetros más frecuente se encuentra entre los 300 y 600 mm. En la Fig. 15 se representa las características medias de estos equipos, en cuanto a potencia de la cabeza de

corte e instalación de bombeo, en función del diámetro de la tubería de descarga y profundidad máxima de dragado.

El clásico rodete utilizado en las rotopalas de superficie se emplea también bajo el agua. La configuración actual de estos equipos se consiguió a finales de los años 70, cuando se construyeron los primeros prototipos. En 1981 se ensayó una unidad de 550 kW de potencia para dragar arena finamente compactada y algo de arcilla y turba; posteriormente se empleó con materiales de granulometría comprendida entre 250 y 300 p_{tm}.

El tipo de rodete de dragado de la empresa holandesa IHC consiste en dos anillos, unidos entre sí a través de varios bordes de corte con el perfil en "U"; es decir, los canchones están desprovistos de su fondo y chapa trasera. Uno de estos anillos va unido a través de una brida al eje de la caja de engranajes.



Entre esos cangilones se forma una especie de túnel, lo que permite el acceso de la boca de succión. De este modo, el material que desprenden los bordes de corte queda sometido directamente a la acción de dicha boca, que constituye el límite interior del túnel. Así, el volumen de material derramado es reducido, mientras que en terrenos cohesivos la superficie de adherencia es mínima.

La forma y el número de los bordes de corte se eligen de tal manera que, durante el dragado, el ángulo de ataque es positivo y el paso entre dos bordes consecutivos menor que el paso más estrecho en el borde de corte mismo, en la boca de succión y en la parte restante del sistema de transporte hidráulico. De este modo se impide que se produzcan atascos en el sistema, incluida la bomba de dragado, a consecuencia de fragmentos gruesos. Los bordes de corte tienen sus lados ligeramente cónicos.

Estos equipos de trabajo tienen un peso mayor que las cabezas de corte convencionales, ya que se precisan mayores exigencias constructivas en el diseño de todo el conjunto.

Con estas unidades se consiguen rendimientos muy satisfactorios en terrenos cohesivos e incluso en arcillas silíceas. Son máquinas idóneas para el dragado de terrenos aluviales con escasa presencia de bolos.

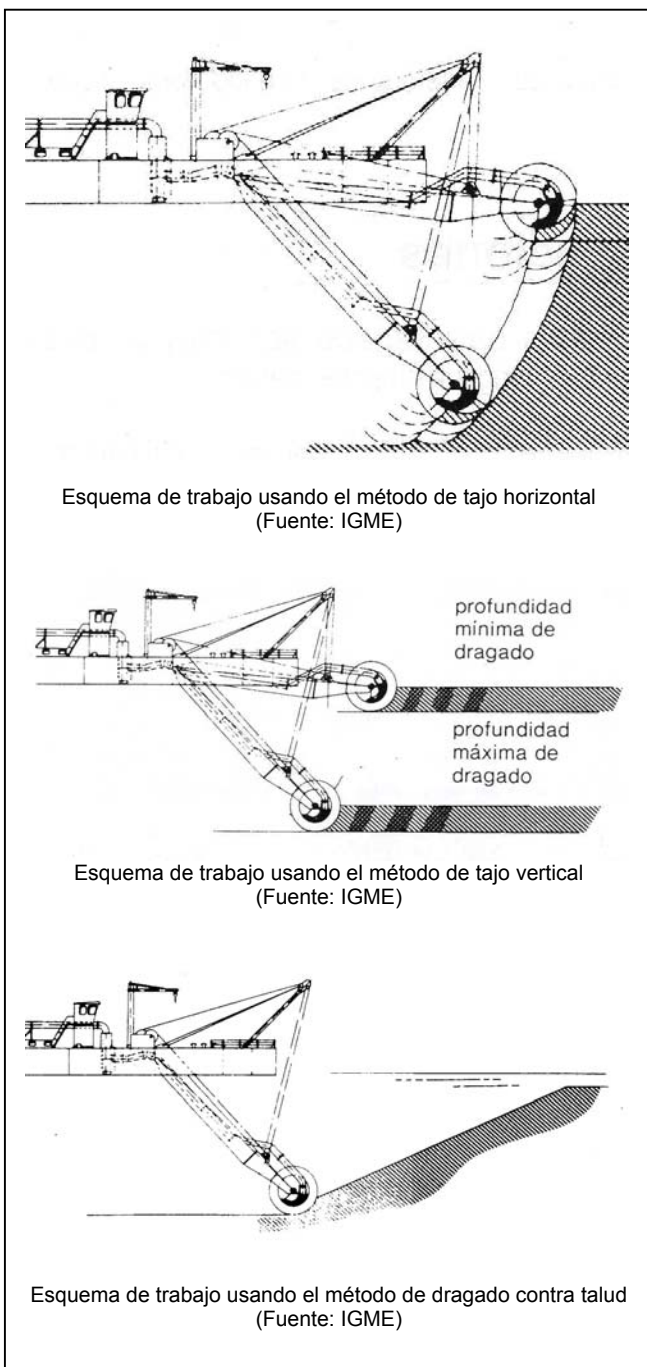
Otro fabricante americano, Ellicott International Corp., utiliza dos rodetes en paralelo montados sobre un mismo eje horizontal, encontrándose el túnel receptor y la boca de succión en la parte central, en el extremo, de la escala de la draga. El número de cangilones por rodete es de ocho.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 18 de 18

Los procedimientos de trabajo de las dragas de rodete difieren sensiblemente del habitual con draga cortadora succionadora. La elección del método depende del tipo de material, profundidad de succión y condiciones de trabajo.

Los tres procedimientos posibles son:

1. Con tajo horizontal.
2. Con tajo vertical.
3. Contra talud.



Dragado con tajo horizontal

Es similar al corte en bloque lleno de las rotopalas de superficie. El rodete se mueve con la escala, de arriba hacia abajo, arrancando una rebanada de material con un espesor máximo de 1/2 a 3/4 del diámetro del rodete.

Este sistema resulta óptimo en terrenos que no se desmoronan o apenas lo hacen.

Dragado con tajo vertical

Es equivalente al corte por terrazas de las rotopalas. La altura de cada terraza suele ser aproximadamente igual a la mitad del diámetro del rodete.

Uno de los inconvenientes que presenta con respecto al método anterior es que la posición de la boca de succión no siempre es óptima en todas las profundidades de trabajo.

Dragado contra talud

Los terrenos poco consolidados que se desmoronan fácilmente pasan a formar un talud durante el dragado. En estos terrenos es posible trabajar con el rodete a la profundidad máxima. Según los ángulos de reposo que adopten los materiales, se efectuarán los avances en sentido horizontal.



4.4.6. Dragas de succión en marcha

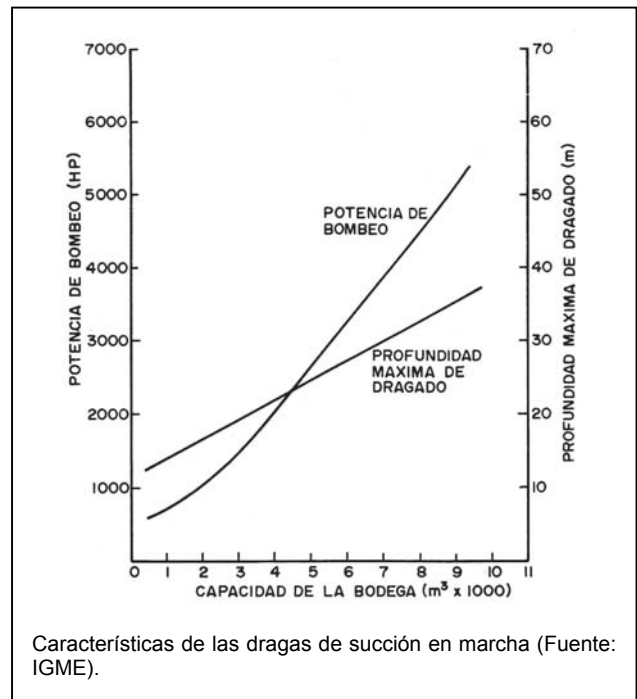
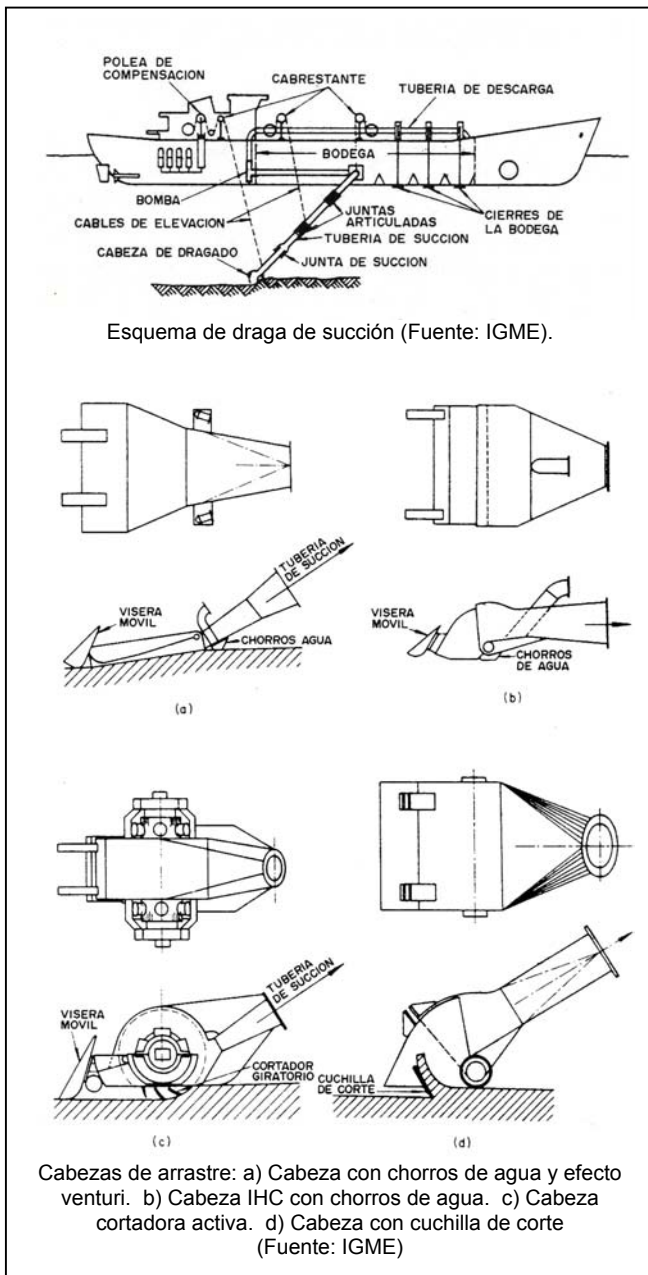
Estas unidades se desarrollaron a comienzo de los años 60, como consecuencia de la necesidad de rutas de navegación más anchas y profundas. Este tipo de dragas son básicamente embarcaciones que navegan por autopropulsión sin cables de anclaje y utilizan un compensador de oleaje, lo que las permite trabajar continuamente e incluso en condiciones bastante adversas.

La cabeza de arrastre encargada de extraer el material y conducirlo hasta la boca de succión se construye en diferentes modelos, algunos de ellos incluso están en condiciones de trabajar con materiales que, hasta hace poco, eran exclusivos de las dragas cortadoras-succionadoras.

La descarga del material dragado se efectúa normalmente a tierra mediante tubería.

Las capacidades de transporte de estas dragas varían entre los 300 y 11.000 m³, si bien no es muy frecuente que superen los 7.000 m³, estando el rango más común entre los 500 y los 3.500 m³. También existen

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 19 de 19





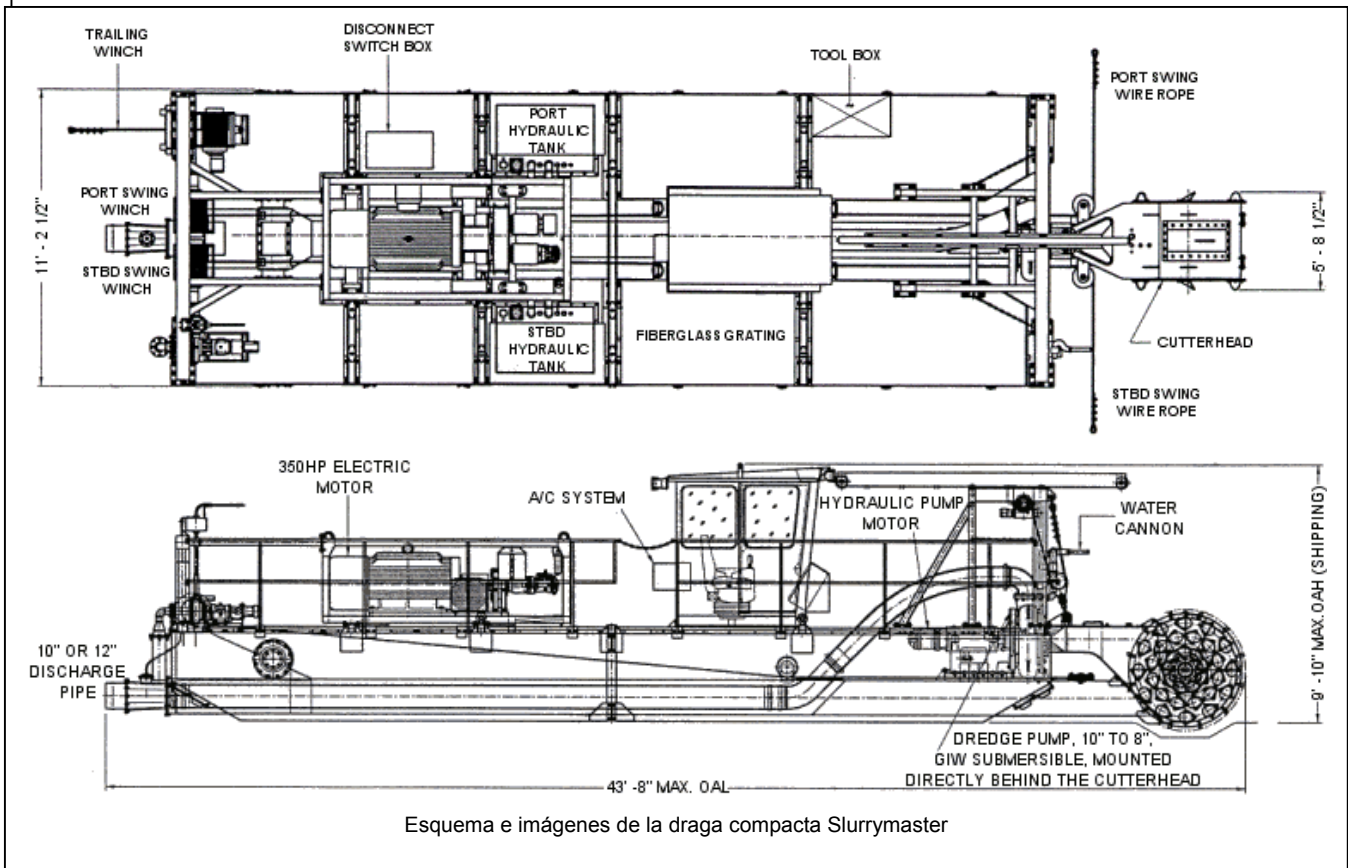
Las velocidades de desplazamiento de las dragas durante la operación oscilan entre los 3,5 y los 5 nudos. La profundidad de dragado suele ser inferior a los 30 ó 35 m, si bien existen equipos que llegan a trabajar hasta más de 50 m.

Como con una sola bomba a bordo de las dragas difícilmente puede extraerse el material a grandes profundidades, se suelen utilizar también bombas eléctricas sumergibles, las cuales se instalan en la tubería de succión. Estas bombas situadas en el punto medio de las tuberías, permiten alcanzar mayores concentraciones de sólidos en la mezcla de material y agua que se extrae.

en el mercado algunas unidades que disponen de dos tuberías de succión que permiten obtener mayores producciones, pero con profundidades de trabajo menores.

En terrenos blandos la cabeza se clava en el fondo y avanza lentamente, extrayéndose una gran cantidad de material. En terrenos duros la penetración es más pequeña, por lo que se requiere una mayor velocidad de arrastre para obtener la misma producción. Los suelos consolidados pueden disgregarse con la ayuda de chorros de agua, mejor que con el auxilio de dientes o cuchillas, ya que éstos son más adecuados en materiales más gruesos.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 20 de 20



Actividades de dragado en condiciones difíciles. (Cortesía IMS).



Trabajo en una presa de estériles (Cortesía IMS)



**BLOQUE II
MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO**

LABOREO I

**CAPÍTULO 6
LA MINERÍA HIDRÁULICA**

Pág.: 21 de 21

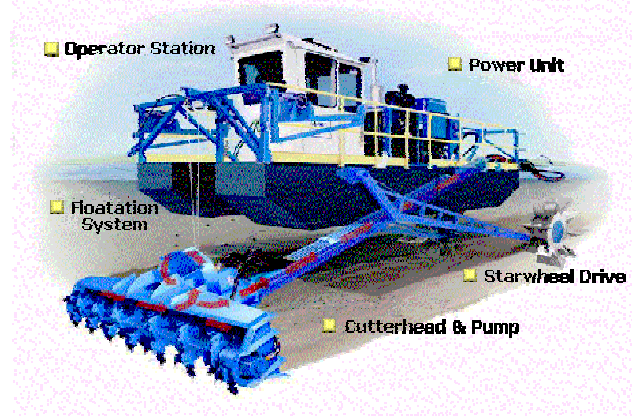
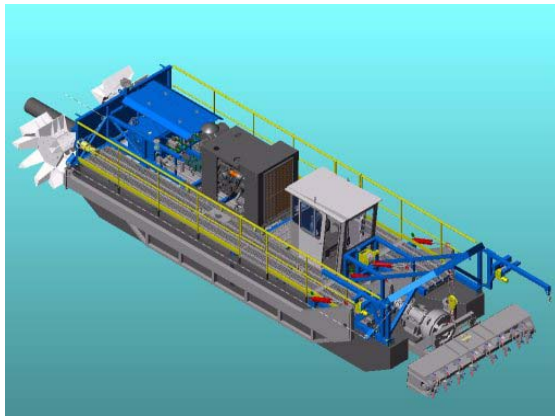
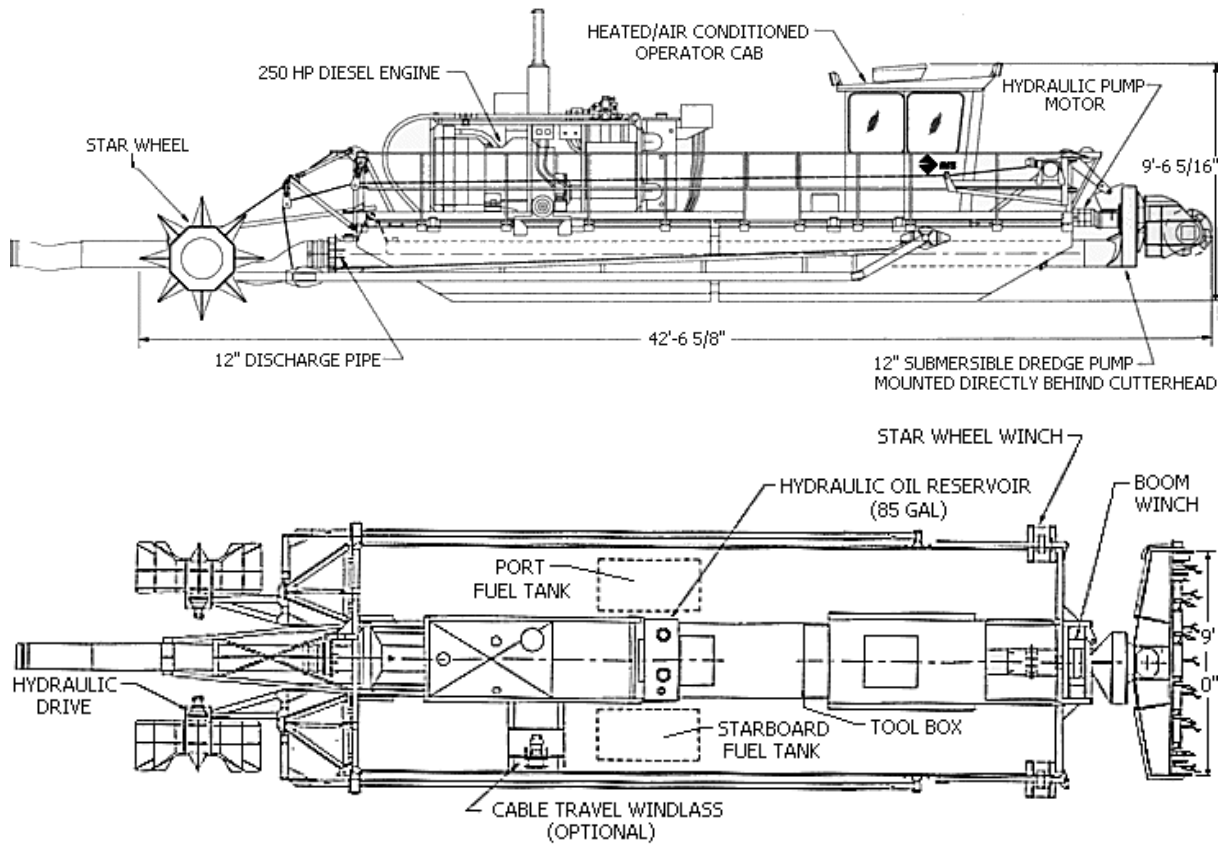




Imagen de la draga compacta "Versidredge" (Cortesía IMS)



 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 22 de 22

5. MINERÍA CON MONITORES HIDRÁULICOS

5.1. INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO GENERAL DE UTILIZACIÓN DE MONITORES HIDRÁULICOS

Los monitores hidráulicos son unos equipos de arranque consistentes en una lanza o cañón orientable, de grueso diámetro que, mediante la energía liberada por el chorro de agua que proyectan sobre el macizo rocoso, permiten disgregar y arrastrar los materiales, cuyo estado de consolidación, natural o artificialmente creado, es apropiado para tal finalidad.

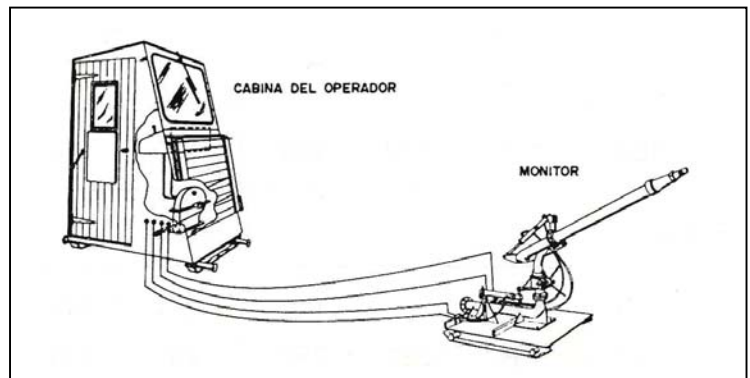
De todos los sistemas de explotación existentes, el hidráulico es el único que permite combinar el arranque de un material, su transporte a la planta de beneficio y recuperación en ella, así como posterior transporte de residuos con la energía aportada por un flujo de agua.

Se aplica fundamentalmente en aquellos yacimientos donde los materiales son disgregados por la acción de agua a presión, como aluviones de oro, casiterita, diamantes, ilmenita, rutilo, circonio, etc.; formaciones arcillosas, gravas, arenas y otros materiales de construcción; limpieza y/o desbroce de recubrimientos en general y sobre relieves tipo Karst. Igualmente, permite recuperar los materiales depositados en balsas de residuos, efectuar la limpieza de tanques, complementar los servicios contra incendios y sanear los taludes de canteras antes de su abandono.

5.2. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA UTILIZACIÓN DE ESTOS EQUIPOS

La utilización de estos equipos aporta las siguientes ventajas:

- Arranque continuo del material explotable.
- Infraestructura minera reducida.
- Equipos más sencillos y económicos.
- Menores necesidades de personal y con menor especialización.
- Bajo coste de operación.





Sus inconvenientes principales son:

- Condiciones específicas del material a arrancar.
- Grandes requerimientos en caudal y presión de agua.
- Necesidad de grandes áreas para vertido de residuos.
- Escasas posibilidades de selectividad.
- Mayores riesgos de segregación y pérdida de las fracciones granulométricas más gruesas en el minera_j.
- Aplicabilidad del sistema cuando el proceso de beneficio posterior tiene lugar en vía húmeda.
- Condiciones topográficas apropiadas para la circulación de los materiales arrancados.
- Disposiciones restrictivas sobre contaminación e impacto ambiental.

5.3. TIPOS DE UNIDADES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

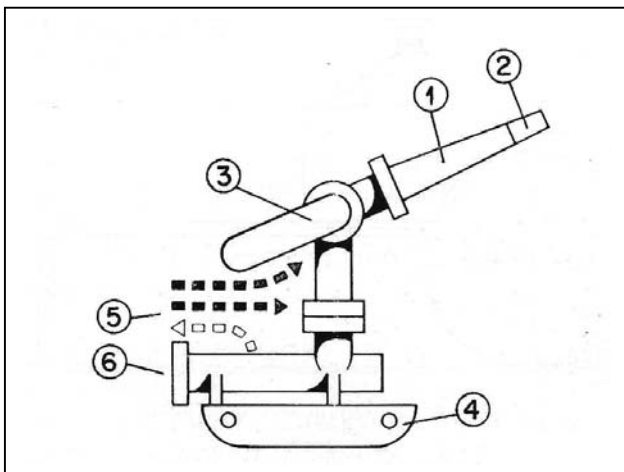
Los equipos existentes se clasifican según:

- Movilidad
 - Portátiles montados sobre una estructura provista de patines o trípode.
 - Portátiles montados sobre una estructura provista de ruedas.
- Maniobrabilidad

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 23 de 23

- De accionamiento manual.
- Accionamiento por control remoto hidráulico o eléctrico.

Con respecto a las características generales y de diseño, la finalidad básica de un monitor hidráulico es proyectar un chorro de agua sobre un punto determinado del terreno, de forma que la energía liberada en el choque permita disgregar y arrastrar el material. Por ello, el monitor está compuesto por los



siguientes elementos:

- Lanza (1)
- Boquilla (2)
- Cuerpo del monitor (3)
- Estructura de fijación y apoyo (4)
- Mecanismos de accionamiento (5)
- Conexión de alimentación (6)

5.4. PRÁCTICA OPERATIVA

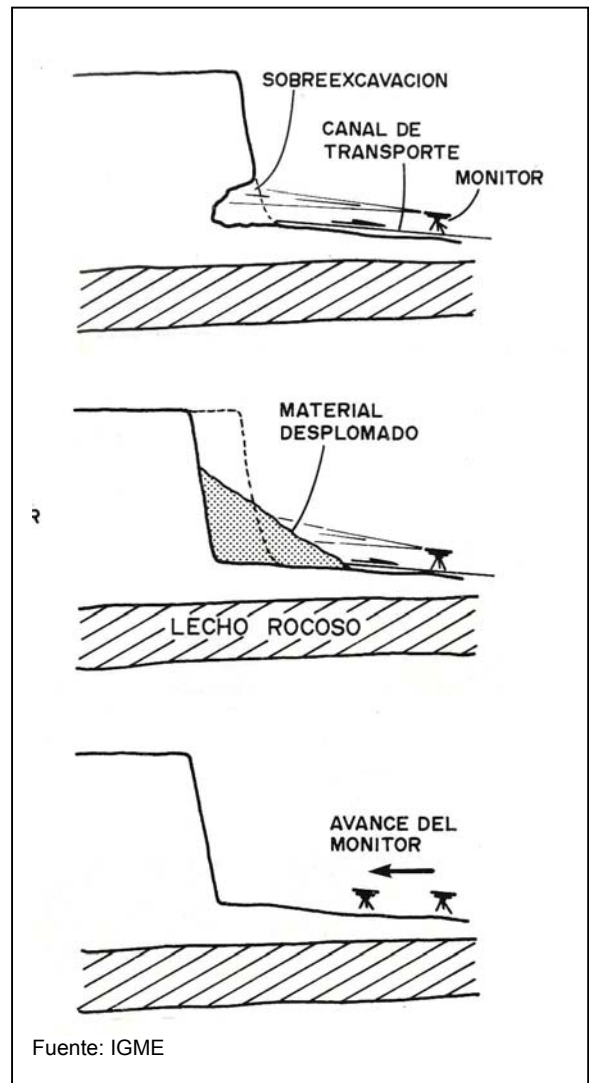
5.4.1. Arranque directo con monitor

De acuerdo con las características mecánicas del macizo rocoso existen dos esquemas de explotación básicos:

1. Arranque con monitor directamente sobre el macizo, y
2. Arranque con monitor, previa disgregación del macizo.



El principio general de trabajo de los monitores,

cuando el macizo es arrancado directamente, corresponde al siguiente esquema operativo:



- Proyección del chorro sobre el pie del banco con objeto de crear una sobreexcavación en el mismo hasta que se produce el desplome del talud.
- El material desplomado es sometido a la acción del chorro para su disgregación y arrastre a través del canal de transporte.
- Una vez limpio el frente, se avanza el monitor, repitiéndose el ciclo de nuevo.

La pulpa producida en el frente de arranque confluye hacia un canal de transporte, realizado inicialmente con monitor, que desemboca en la planta de tratamiento, si existe la pendiente adecuada, o en un pozo de bombas desde donde se eleva hasta la planta

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 24 de 24

cuando las condiciones topográficas son adversas. Este último procedimiento permite homogeneizar las características de la pulpa, así como mantener una alimentación más regular a la instalación de tratamiento.

La pendiente del canal de transporte depende de la granulometría de los sólidos en la pulpa, siendo habituales los gradientes que se indican a continuación:

TIPO DE MATERIAL	PENDIENTE (%)
Suelos arcillosos	2
Arenas	4 - 5
Gravas	5 - 10

Las distintas posibilidades de posicionado del monitor dan lugar a tres esquemas de explotación, según las direcciones relativas, el chorro proyectado y la pulpa arrastrada:

- a) En dirección.
- b) A contracorriente.
- c) Mixto.

a) En dirección.

En este esquema la dirección de circulación de la pulpa coincide con la del chorro de agua proyectado por el monitor y se aplica generalmente sobre bancos de altura inferior a 8 m.

Con este método la situación más habitual del monitor es sobre la cabeza del banco operando en retirada, y presenta la ventaja de que tanto el equipo como la tubería de alimentación se hallan en terreno seco, lo que supone mejores condiciones operativas para el personal y equipos de traslado del monitor.

Otra ventaja adicional se deriva del hecho de que, al coincidir la dirección de los flujos, se incremento el arranque de material. Como desventajas, al no producirse sobreexcavación en el pie del banco, se precisa mayor volumen de agua para arrancar el mismo material, y se dispone de menor columna de agua en la lanza del monitor.

b) A contracorriente.

Esta forma de trabajo, se aplica fundamentalmente en bancos potentes de hasta 20 a 30 m, siendo esta última la altura máxima permitida en algunos países por motivos de seguridad.

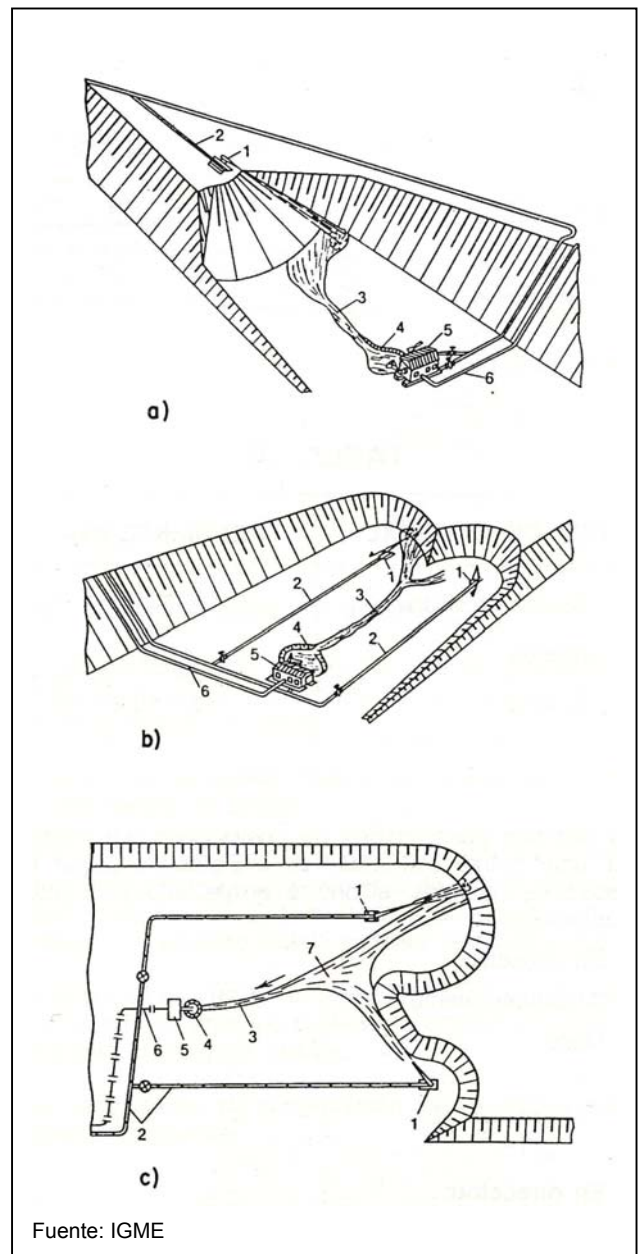
El monitor se sitúa en el nivel de explotación con

objeto de producir una sobreexcavación al pie del banco que permita el consiguiente desplome del talud. Las alturas del hueco creado son del orden de 40 a 50 cm.



La práctica de descalzar el talud no es aplicable cuando los materiales que constituyen el mismo están sueltos o escasamente consolidados.

La distancia mínima del monitor al frente, cuando el control del mismo se realiza manualmente, es la siguiente:

$$L_{\min} = K H_b$$



Fuente: IGME

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 25 de 25

siendo:

H_b = Altura de banco (m), inferior a 30 m.

K = Coeficiente, función del tipo de material, nunca inferior a 0,8, pudiendo llegar a 1,2 para arcillas compactas.

La distancia mínima debe incrementarse en la longitud del tramo de tubería que es preciso añadir cuando avanza el monitor, con objeto de mantener constante la separación del frente. La longitud normal de cada tramo está comprendida entre 6 y 12 m.

Las ventajas e inconvenientes de este esquema de trabajo son las siguientes:

- Mayor rendimiento en material arrancado por m^3 de agua utilizada, derivado de la sobreexcavación y desplome creados en el banco.
- Mejor aprovechamiento de la energía cinética del chorro, al ser el ángulo de incidencia más efectivo.
- La situación inferior del monitor permite disponer, en general, de una mayor columna de agua.
- El mayor inconveniente reside en la menor operatividad sobre la berma de trabajo, al coincidir equipos, personal y canales de pulpa.

c) Mixto.

Esta disposición se utiliza cuando existen varios monitores trabajando sobre un mismo frente de explotación, y permite el arranque del material situado en la zona intermedia entre dos monitores.

5.4.2. Arranque con disgregación previa

Algunos materiales con características mecánicas de mayor cementación precisan una preparación previa, con objeto de mantener un adecuado rendimiento de los monitores. A continuación se recogen los distintos métodos de preparación del material:



Métodos de disgregación previa		
Método de preparación	Equipo utilizado	Observaciones
Mecánico	Excavadora	Arranque y apilado o descarga en tolva
	Tractor de orugas	Ripado y empuje sobre pila
	Minadores, traíllas, etc.	Arranque y apilado o descarga en tolva
	Rozadoras	Ejecución mecánica de roza al pie del banco
Hidráulico	Inyección de agua	Alimentación de agua a presión en el macizo de arranque
	Precolación en cabeza	Debilitación del macizo por percolación natural en el nivel superior
Perforación y voladura	Perforadoras	Parámetros de voladura apropiados para fragmentación deseada

Los métodos anteriormente descritos persiguen, bien una obtención de granulometrías aptas para su transporte hidráulico, o una debilitación de las características de cohesividad del macizo que permita un mayor rendimiento del monitor.

5.5. CONSIDERACIONES DE SELECCIÓN

La utilización de los monitores exige un conocimiento y análisis previo de los siguientes factores:

- Definición del modelo de yacimiento.
- Características físicas de los materiales, especialmente consolidación y granulometrías.
- Características topográficas del área y del lecho de roca o muro del yacimiento que permita el máximo de circulación hidráulica por gravedad.
- Disponibilidad de agua y de áreas para su almacenamiento y regulación, con especial atención a su situación, por la economía que puede suponer el desnivel entre los puntos de almacenado y posición de trabajo del monitor.
- Disponibilidad de áreas para el acopio de residuos.
- Condiciones apropiadas de recuperación de

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSI MM	CAPÍTULO 6 LA MINERÍA HIDRÁULICA	Pág.: 26 de 26

los minerales o productos frente a variaciones de densidad de la pulpa o regularidad en sus caudales.

- Situación de la Planta de tratamiento o beneficio, que deberá emplazarse tan próxima al área de explotación como sea posible.
- Normativa oficial existente sobre impacto ambiental, restauración y vertido de efluentes.

Las condiciones favorables de los parámetros anteriores dan lugar a que con estos equipos se alcancen unos buenos costes de inversión y operación, frente al resto de los sistemas de explotación.

Las características físicas del yacimiento a explotar condicionan unas determinadas presiones en el monitor para un arranque efectivo. El diseño de las explotaciones y las secuencias de movimiento de los monitores deben adecuarse a las características y rendimientos de los mismos, que permitirán establecer los parámetros siguientes:

- Caudal de agua necesario, función de las producciones requeridas, rendimiento específico de arranque y organización del trabajo.
- Número de monitores necesarios a partir de las producciones requeridas, las horas de trabajo disponibles y la capacidad de cada uno.

LA IMPLANTACIÓN MINERA ESQUEMAS O LAY - OUT

Fernando Plá Ortiz de Urbina

OBJETIVOS DEL TEMA

1. Comprender la importancia de una buena implantación o lay – out y su influencia en el óptimo desarrollo de un proyecto minero.
2. Conocer cuales son las necesidades de infraestructura para un proyecto minero y como se trabaja a partir de las distintas alternativas posibles.



Imagen de la implantación de la mina "Kidd", Canadá.
(Cortesía de Falconbridge Ltd.)

1. DEFINICIÓN Y CONCEPTO

Dentro de los problemas a resolver en el diseño de la infraestructura de una mina figura con gran trascendencia de futuro el de la implantación de las plantas, de los servicios y de los accesos necesarios para la buena operación minera. Podemos definir como implantación o Lay-out a la disposición espacial o distribución de las instalaciones alrededor de la explotación minera bien de cielo abierto, bien de interior o por sondeos.



La implantación minera viene condicionada fundamentalmente por la ubicación y situación topográfica del yacimiento a explotar. A diferencia de otras industrias que pueden ser ubicadas o instaladas cerca del mercado o en lugares alternativos, las instalaciones mineras deben implantarse a "bocamina" y por tanto bien próximas al yacimiento. Sin embargo, dentro de las instalaciones necesarias para la explotación existe un importante problema como es el lograr una correcta distribución de las instalaciones, a efectos de ocupar el menor espacio y que tiene una duración que debe contemplar las futuras expansiones de la explotación, sin estorbarlas por encontrarse sobre zonas mineralizadas, como ha ocurrido con frecuencia, especialmente con los poblados, cementerios e iglesias, que han tenido posteriormente que ser derribados por las ampliaciones de las cortas o por la subsidencia de las minas de interior. Es

recomendable, en esta fase del diseño, la realización de sondeos negativos que demuestren claramente que no hay mineral en profundidad.

2. NECESIDADES DE INSTALACIONES MINERAS

El conjunto de las instalaciones, de mayor o menor envergadura según el tamaño y categoría de la mina, pero todas necesarias son:

1. LA **PROPIA EXPLOTACIÓN** (corta, subterránea o campo de sondeos).
2. LAS **PLANTAS DE TRATAMIENTO** o Procesamiento del mineral con sus laboratorios.
3. LOS **TALLERES** (Mecánicos, estación de servicio, eléctricos y móviles).
4. LOS **ALMACENES Y POLVORINES**.
5. LAS **OFICINAS Y LAS COMUNICACIONES**. Centro médico
6. LOS **ACCESOS GENERALES. LAS VÍAS Y PUERTOS. FERROCARRILES**.

 UPM	 ETSIMM	BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
		CAPÍTULO 7 LA IMPLANTACIÓN MINERA. ESQUEMAS O LAY - OUT	Pág.: 2 de 3

7. LOS VERTEDEROS Y PRESAS DE RESIDUOS.

8. EL **ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO**. Central o conexión.
9. EL **ABASTECIMIENTO DE AGUA**. Pozos o presas.
10. LOS **POBLADOS Y RESIDENCIAS DE TÉCNICOS Y OBREROS**. *

3. ALTERNATIVAS POSIBLES

Dentro de los posibles esquemas mineros existen tres clases de implantaciones, de acuerdo con la utilización conjunta o no de las instalaciones por una operación o por varias:

1.- Monomina

Es la explotación independiente, aislada o separada de otras explotaciones, por lo que deberá tener toda su propia infraestructura de servicios.

Era el clásico y antiguo concepto en el que se repetían, en cada mina, las instalaciones sin aprovecharse el efecto de vecindad o proximidad.

2.- Polo o cuenca

Es un esquema más avanzado en que una implantación común da servicios, trabajos, control y suministro a varias explotaciones de una cuenca minera. Un mismo y único concentrador o planta de tratamiento puede recibir minerales de todas las minas situadas en un radio de acción.

Es el caso de Boliden en Suecia, en que las plantas y servicios comunes alcanzan a las explotaciones hasta una distancia o radio de unos 50 Kms.

3.- Combinado

Son las grandes instalaciones mineras que contienen no sólo la explotación y el mismo tratamiento del mineral, sino la utilización posterior del mineral en las industrias transformadoras como Centrales térmicas, Refinerías, Siderúrgicas, Fundiciones, Electrólisis, etc. Son los casos más grandes y modernos de Kuwait, Cartagena, Maracaibo, Rusia, Endesa, Río Tinto, Carajas (Brasil), El Teniente (Chile), etc.



Es el caso de una explotación combinada de metales no ferreos y de preciosos, así como de minerales complejos polimetálicos con una capacidad de unos 25.000.000 t por año, con todo el conjunto de infraestructura necesaria de viviendas, talleres, almacenes, plantas de tratamiento por flotación e hidrometalurgia, carreteras y accesos, presas de agua y de residuos, subestaciones eléctricas, oficinas, escuelas, etc, que desde hace 3.000 años explota una cuenca compuesta de diferentes yacimientos más o menos integrados según el momento y la empresa explotadora.

Caso planteado por la Generalitat de Cataluña para la explotación de una concesión recientemente investigada en la cuenca de lignitos de Berga, pero bastante separada de la actual y antigua zona de minas y por tanto requiriendo unas mínimas instalaciones. Contiene las necesarias para mantener la autonomía de la explotación tales como oficinas y vestuarios, botiquín, almacenes, accesos por planos inclinados, lavadero completo y estación de carga y control para el envío del mineral hasta la central térmica situada a 30 km de distancia.

Caso planteado por la Junta de Castilla y León para la planificación de un posible Coto minero en la cuenca leonesa de Fabero, en el que se integrarían en un solo polo las siete pequeñas compañías y poder utilizar en forma común y racional tanto las concesiones como las nuevas instalaciones, repartiéndose la zona en áreas de explotaciones integradas de cielo abierto y áreas de minería de interior, con servicios comunes de transporte, ventilación, lavaderos, accesos y presa de residuos y un solo producto final para ser enviado a la Central Térmica de Compostilla bien por FF.CC. o por un mineroducto.

Caso de una implantación primaria en un proyecto de mina de carbón a cielo abierto en el Norte oriental de Venezuela para producir unas 250.000 t anuales con un ratio de 10 m³ /t en la explotación por terrazas de una larga cadena montañosa con capas de carbón en contra ladera.

Las instalaciones se ubican en la parte baja y central de la corrida y recibirá los carbones para su trituración y homogeneización antes de ser llevados a Puerto de la Cruz desde los diferentes módulos de la mina, siendo parte esencial de la infraestructura el control de la calidad de los diferentes carbones de las múltiples capas o paquetes para su mezcla y limitación del contenido de Azufre. Además de las oficinas, laboratorios y las plantas de trituración cabe destacar la ubicación de las presas de agua y de residuos.

		BLOQUE II MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO	LABOREO I
UPM	ETSIMM	CAPÍTULO 7 LA IMPLANTACIÓN MINERA. ESQUEMAS O LAY - OUT	Pág.: 3 de 3

Caso de la mina subterránea más reciente y rentable de la Comunidad Económica Europea en la zona de la faja pirítica portuguesa para la explotación de un rico yacimiento de polimetálicos con un capacidad anual superior a los 1.500.000 t para producir concentrados de cobre y estaño para su posterior envío a las fundiciones europeas. Cuenta con todas las instalaciones necesarias de una mina moderna, incluso un ferrocarril para llevar los concentrados al puerto de Setubal, en donde cuentan con embarcadero propio de contenedores. Además de la infraestructura de interior y de las necesidades de exterior, presas, accesos, residencias, etc. cuenta con viviendas para técnicos y obreros en el pueblo próximo de Castro Verde.