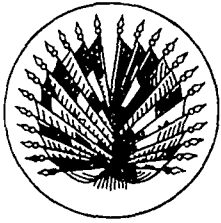


05.78.19



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



**CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION
PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION
DE YACIMIENTOS URANIFEROS**

| | |
|------------------------|-------------|
| C. N. E. A. Biblioteca | |
| ARCHIVO PUBLICACIONES | |
| Nº 1 | AÑO 1978 |

CNEA-AC-28/78

V. EVALUACION Y CALCULO DE RESERVAS

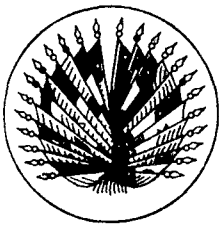
2. PRINCIPIOS BASICOS SOBRE METODOS
DE EXPLOTACION MINERA: SU INCI-
DENCIA SOBRE LA EVALUACION DE
RESERVAS

1ra. Parte

JOSE A. SALAS

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

BUENOS AIRES
OCTUBRE 1978



CURSO LATINOAMERICANO DE CAPACITACION PARA LA PROSPECCION Y EXPLORACION DE YACIMIENTOS URANIFEROS

CONFERENCIA V-2

PRINCIPIOS BASICOS SOBRE METODOS DE EXPLOTACION MINERA: SU INCIDENCIA SOBRE LA EVALUACION DE RESERVAS

1ra. Parte

JOSE A. SALAS

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

1. GENERALIDADES

Para la explotación minera de yacimientos de uranio, los métodos a usar serán similares a aquellos en uso para yacimientos metalíferos en general.

En efecto, dado que los minerales de uranio se presentan en forma de "filones" (no estrictamente siempre con el mismo significado que para metalíferos), masas mineralizadas o "amas", en sedimentos de potencias varias e inclusive "diseminados", con variadas potencias y buzamientos, los métodos a usar para su explotación serán aquellos incluidos en los dos grandes sistemas de explotación denominados "A CIELO ABIERTO" y "SUBTERRANEOS".

De tal manera, los conocimientos actuales para la explotación minera común de yacimientos, pueden aplicarse a los de minerales de uranio, inclusive con la ventaja que significa el poder mejor controlar la ubicación y leyes aproximadas del mineral, mediante las mediciones radiométricas correspondientes.

El "seguimiento" de la zona mineralizada y su ubicación durante la exploración minera y posterior explotación (recordar que en la mayoría de los casos, durante la operación de la mina, las tareas de exploración, preparación y explotación, se llevan simultáneamente y siguiendo la cronología adecuada) es relativamente fácil, mediante sondeos de investigación convenientemente perfilados.

En el primer caso se pueden ubicar nuevas reservas de mineral y en el segundo nos es consentido controlar adecuadamente la existencia de minerales marginales, leyes, etc, lo cual permitirá, además, calcular leyes de corte para fondo, superficie, etc.

Al abrir o comenzarse con el laboreo de investigación de un yacimiento, deben tenerse en cuenta: la explotación futura y la situación que definitivamente tendrán las labores de la mina.

Es indudable que en esta etapa de los trabajos deben estar muy unidos los esfuerzos de los geólogos que investigarán en detalle el yacimiento, con el fin de su evaluación y los ingenieros de minas que deberán pensar, además, en el desarrollo futuro de la mina, sus labores, instalaciones de extracción, transporte, ventilación, etc.

Normalmente la explotación del mineral útil no se comienza en el lugar mismo en que se ha cortado el yacimiento con las labores de exploración y por el contrario es muy posible que los trabajos definitivos de explotación, especialmente relacionados con los sectores de extracción se ubicarán teniendo en consideración las áreas de influencia o explotación más conveniente.

En efecto, cada labor de extracción, debería tener su área de explotación correspondiente más adecuada, evitando así una desproporcionada afluencia de mineral a los centros internos de acopio y extracción.

Debe recordarse además, y para el caso de explotaciones subterráneas por ejemplo, que la explotación se debiera iniciar desde los puntos más lejanos a la extracción, dado que de esa manera, los hundimientos, abandono de labores, etc, no perjudicarían la extracción ni el transporte, así como la seguridad del personal.

El tamaño de labores deberá igualmente calcularse de acuerdo con los tamaños del yacimiento y su capacidad de producción.

El objeto principal es la división adecuada del yacimiento para obtener, que cada sector de explotación forme una unidad que tenga fácil acceso, permita transportar fácilmente los materiales e insumos (maderas, herramientas, materiales de construcción, maquinarias, etc), realizar el arranque de extracción con facilidad, tener buena posibilidad de relleno si hiciera falta, así como buena ventilación.

El conjunto de producción de los parajes en explotación, comprenderán el tonelaje diario de producción de la mina, por lo que deberá existir un número suficiente de sectores convenientemente preparados para su explotación.

Debe recordarse que la mina deberá tener sectores simultáneamente en exploración, preparación y explotación, cronológicamente sincronizados, de manera que pueda mantenerse el ritmo de producción programado.

En la explotación subterránea debe tratarse de efectuar el arranque, de manera de tener la mejor situación en cuanto a transporte y extracción, debiéndose preferir el que se efectúa a nivel o hacia abajo, que el movimiento ascendente.

En algunos casos deberá estudiarse muy bien la posibilidad de efectuar pozos de extracción más cortos, que galerías para movimiento y transporte horizontal más largos, dado que debe pesar en su elección los costos correspondientes a construcción de ellos y su operación.

En lo que respecta a la necesidad de efectuar la división de los yacimientos para su correspondiente explotación, aquellos verticales o muy inclinados se dividen en distintos pisos o niveles según la vertical. Se explota, luego de preparado un nivel tras otro en sentido descendente.

Dado que la profundización de pozos es muy costosa, en principio se explotan aquellas partes del yacimiento que se encuentran a menor profundidad y sólo cuando se advierte un rendimiento adecuado y positivo que permita la profundización, se prosigue ésta gradualmente, debiendo recordar que tanto la extracción como el desagüe y la ventilación serán cada vez de mayor costo a medida que aumente la profundidad.

En la mayoría de los casos, no se puede comenzar la explotación desde la superficie dado que la meteorización podría hacer que el mineral fuera diferente para su tratamiento y la roca se encuentre alterada por lo que normalmente suele dejarse un macizo de protección que además evitaría la excesiva entrada de agua desde la superficie.

Si las condiciones económicas no entraran en consideración desde el punto de vista técnico, correspondería comenzar la explotación desde los niveles inferiores finales, prosiguiendo en sentido ascendente. Esto tendría muchas ventajas técnicas, pero lógicamente deben balancearse con las económicas y con las financieras.

2. MÉTODOS DE EXPLOTACION

Como es natural, el método de explotación ideal, sería aquél que nos produjera la mínima pérdida, la mínima dilución y el menor costo.

Como estos tres elementos son prácticamente incompatibles, se deberá decidir por lo que más convenga.

Como en la mayoría de los países, la explotación de uranio se efectúa considerándolo como material crítico, quizá el orden más conveniente de prioridad sería el de mínima pérdida, después la menor dilución posible y luego el factor costo, todo ello, de acuerdo a la política a seguir en cada país.

Ahora bien, hablando ya directamente de los métodos tal como se dijo anteriormente y como una primera gran clasificación, tendríamos fundamentalmente los métodos de explotación "a Cielo Abierto" y "Subterráneos".

Para el primer caso podríamos indicar aquellos en uso para explotación de grandes masas mineralizadas cercanas a la superficie con una relación de estéril a mineral conveniente y la explotación de placeres.

Para el segundo caso, fundamentalmente la explotación de filones o formaciones tabulares de gran ángulo de buzamiento, "capas" mineralizadas muy cerca de la horizontal, así como aquellos de tipo "amas" (masas irregulares).

De acuerdo a ello se determina el método más conveniente para efectuar su explotación.

Indudablemente, la explotación subterránea ofrece una mayor variedad

y complejidad de métodos de explotación con, a su vez, modificaciones y/o adaptación de variaciones a los diversos métodos clásicos.

Se hará a continuación una rápida descripción de los más conocidos y de mayor aplicación, debiendo hacerse notar que para programar, diseñar y poner en operación cualquiera de ellos, deberá contarse con los elementos básicos de geología y evaluación geológica de cada yacimiento como datos fundamentales, así como aquellos correspondientes a recuperaciones de plantas, in versiones, costos, etc.

2.1. EXPLOTACIONES A CIELO ABIERTO

2.1.1. Tipo convencional de grandes masas

Esta forma de explotación tiene sus ventajas y desventajas con respecto al subterráneo.

Las principales ventajas son aquellas derivadas de la posibilidad de efectuar grandes movimientos de roca en base a grandes equipos, y por ende a costos unitarios por tonelada mucho más bajos que los que se obtienen en métodos subterráneos; el control de operación y personal es más fácil; se trabaja a luz de día y los peligros de accidentes personales y ambientales son menores.

El problema principal, siempre en relación con el subterráneo, son las condiciones climáticas que se soportan en forma directa.

En esta forma conocemos la explotación de grandes masas mineralizadas, que a pesar de sus relativas bajas leyes, permiten la explotación económica basada en la gran cantidad a mover.

Ejemplo de ello son las explotaciones de cobre, carbón, hierro, manganeso, etc y también uranio incluyendo yacimientos de baja ley.

Más de dos tercios de la producción mundial de minerales, se efectúa mediante la explotación minera a cielo abierto. Además si se considera el movimiento total de materiales, este asciende a decenas de billones de toneladas al año.

Este rápido desarrollo de la minería a cielo abierto se debe a sus importantes ventajas respecto de la minería subterránea. Al respecto debería recordarse su economicidad (costo 2-4 veces menor/t) mayor productividad (de 3 a 6 veces), mejores recuperaciones, condiciones de trabajo más favorables, mayor flexibilidad de operación, etc.

El rápido crecimiento del tamaño de los equipos (de perforación, carga y transporte) permitió igualmente explotaciones mayores a menores costos unitarios.

Las características de la roca -ya sea del encampamiento, estéril, así como de la zona mineralizada-, la topografía; morfología del cuerpo mineralizado y su ubicación espacial; aportes de agua; determinarán la forma de encarar la explotación.

Un factor determinante de la economicidad en la explotación estará dado por la relación de estéril a mineral, pues el costo unitario de cada tonelada útil será aquél resultante de la explotación de todo el estéril correspondiente (Figs. 1, 2, 3, 4).

Podríamos llamar de topografía positiva, a aquellos yacimientos que permiten su explotación por encima de la cota 0 de ellos, en cuyo caso el movimiento de estéril sería proporcionalmente menor y por ende la explotación más económica.

En las que podríamos llamar de topografía negativa, el mineral se encontrará bajo nivel y en este caso -si se tratara de una masa mineralizada por ejemplo- la relación de estéril a mineral subirá a medida que se profundice la explotación.

La relación e/m determinará primeramente la profundidad económica de explotación de cada yacimiento.

Esta profundidad determinada principalmente por la relación antedicha, el talud posible de ejecutar y los costos correspondientes, indicarán hasta donde es posible la explotación por este método y si lo que resta del yacimiento es recuperable o no.

El talud que deberá ser el máximo ángulo posible de mantener dentro del margen de seguridad conveniente, normalmente se incrementa hacia el fondo del open pit a causa del cambio en las condiciones físicas de las rocas.

Sus valores varían desde $\approx 35/40^\circ$ hasta 70° o más en algunos casos y según características y necesidades de la explotación.

Las bermas serán de dos tipos, aquellas necesarias para mantener el ángulo de talud exigido y las de seguridad, y aquellas, normalmente más anchas, que servirán como camino para los equipos de explotación.

En cuanto a los caminos de acceso a los diferentes frentes, serán horizontales cuando sigan las bermas y con pendientes entre 8 % - 12 % (pero que normalmente sólo llega a 10 %) como máximo, para las rampas.

Los cálculos técnico-económicos que deben ser realizados para determinar la factibilidad de la explotación deberán afirmarse en un buen estudio de evaluación basadas en sondeos, preparación de perfiles, plantas, cálculos volumétricos de estéril y mineral, leyes, valor de la mena, costo medio de explotación, etc.

Una vez determinada la conveniencia de la explotación por este método, se efectuará la ingeniería de base y detalle que afinan las cifras y permitirá un diseño definitivo.

Antes de esto y como base del estudio, se efectúa lo que se denomina un prediseño de cantera que se realiza tomando como base el borde inferior económico de la explotación, lo que permitirá, elegido el ángulo de talud adecuado y con el trazado de los pisos correspondientes, llegar a determinar el borde superior, es decir el contacto con la superficie.

Las plantas efectuadas cada una distancia conveniente, permitirá calcular el movimiento total de roca, ya sea esta estéril o mineral, determinando tonelaje a mover por piso y las relaciones de e/m, finos a recuperar, etc.

La sumatoria de todos ellos nos integrarán el total de la explotación.

En el diseño definitivo que se dijera anteriormente, se indicará además de la altura de los bancos (de explotación y definitivo) que se calcularán de acuerdo a los materiales a mover, equipos a usar, etc, las rutas de acceso a los diferentes frentes de ataques hasta llegar a la profundidad máxima calculada.

Es normal por otra parte que los diseños originales se vayan modificando durante la marcha de los trabajos, de acuerdo con condiciones imprevisibles en las características de los terrenos principalmente (fallas, fracturamiento, etc). Para el caso de algunas explotaciones entre las que se cuentan las de uranio, suele hacerse un "banqueo" diferente para la zona estéril y para la zona mineralizada, puesto que por la disposición de los minerales su explotación debe hacerse en forma más selectiva y controlada al aplicarse los sistemas o programas del control geológico.

Como se dijo anteriormente la explotación se realiza normalmente por bancos y la altura de los mismos serán determinada por el tamaño de la explotación, característica de la roca, tamaño de equipo de perforación, carga y transporte, todos ellos interrelacionados de acuerdo a sus capacidades operativas.

En los croquis que se adjuntan, pueden observarse los elementos principales a tener en cuenta para una explotación a cielo abierto, tales como borde inferior del pit, borde superior taludes de explotación, taludes definitivos, bancos de explotación, rampas de acceso, bermas de seguridad y para caminos, acceso externos, etc, datos a los cuales se llegan luego de los correspondientes cálculos de ingeniería.

Los equipos principales para este tipo de explotación son los conocidos de perforación (percutante y rotary), voladura, carga (pala excavadoras, cargadoras frontales, dragalinas, etc), transporte (camiones, trenes, cintas), transporte y carga (mototrailla o motocraper), planoinclinado - skip, etc.

De acuerdo con los tipos de rocas y ubicaciones del mineral se efectuará la explotación correspondiente, siendo como es lógico diferente para minerales como hierro o cobre porfirico, que para carbón por ejemplo, ya que estos últimos se explotan por lo general en mantos con un recubrimiento también subhorizontal.

En ambos casos los equipos pueden ser diferentes y los rendimientos también.

2.1.2. Explotación de aluviones y placeres

Otros métodos de explotación a cielo abierto, son aquellos que se

aplican a la explotación de aluviones y placeres, mediante el uso de equipos diferentes tales como monitores, dragalinas, dragas, etc, de no común aplicación en los yacimientos de uranio y que estimo escapan al interés de estas charlas.

2.1.3. Explotaciones combinadas

En estos casos y dadas las características de los terrenos, materiales a explotar, ubicación topográfica, etc, es posible ejecutar explotaciones combinadas, con una gran parte del arranque efectuado por métodos de cielo abierto y su transporte interno y extracción de métodos subterráneos (Ver Fig.5).

3. METODOS SUBTERRANEOS

En lo que respecta a estos métodos, hay que reconocer que debido al continuo aumento de la mano de obra en el mundo entero, están desapareciendo casi por completo las pequeñas explotaciones trabajadas con herramientas elementales.

Por el contrario, la aplicación de la mecanización adecuada de los métodos clásicos, han llevado los rendimientos por tonelada/hombre turno, a valores muy superiores a los conocidos sólo hace una o dos décadas.

El tamaño de los yacimientos así explotados varía en un amplio límite al igual que sus potencias (desde algunos cm hasta decenas de metros) y profundidades que en algunos casos llegan a los 3 km desde la superficie.

La mayoría de los yacimientos sedimentarios son mantos de espesores más o menos constantes, mientras que los filonianos metalíferos se caracterizan por sus formas y buzamientos.

Es por esto que los yacimientos metalíferos para este tipo de explotación se dividen en filones, lentes, cuerpos irregulares o masas, etc.

Por lo general su arranque se efectúa con el uso de explosivos. Las cajas son normalmente firmes y tienen gran importancia para la elección del método.

A la roca la denominamos inestable si necesita inmediata enmaderación. La roca de estabilidad media permite no enmaderar el techo, con una superficie abierta de 4 a 10 m². Por el contrario, si la roca es estable, permite aberturas del techo de 100 a 200 m².

En esta clase se hará una rápida descripción de los métodos más usados en explotación subterránea, con el objeto de tener un conocimiento básico de los mismos. Fundamentalmente están éstos basados en el ataque a los frentes, que para el caso de formaciones de buzamiento acentuado, serán por rebaje o bancos, o por ataque en realce o testers, en todos los casos con relleno (de diferentes tipos) o sin relleno.

Resumiendo rápidamente el problema del acceso a la explotación, diciendo que para aquellos sedimentarios y de poco buzamiento el mismo es muy similar al de las minas de carbón y que para el caso de filonianos o irregula

res en general el acceso se hace por socavones y pozos verticales o inclinados según convenga (Fig. 8), pasaremos de inmediato a hacer una rápida reseña de los diferentes métodos de explotación subterránea:

3.1. CAMARA VACIA

En este método, que se efectúa para mineralización más o menos regular y generalmente de poco buzamiento, el arranque se realiza sin fortificación ni relleno para el soporte de las paredes o techos.

Generalmente los techos y paredes se soportan por pilares de mineral o por estemples. En algunos casos pilares no son distribuidos regularmente como en figura 7, sino que se aprovechan -en el caso de lentes más ricas como ocurre en mineralizaciones de uranio- los sectores de menores leyes, de manera que los porcentajes de pérdida del mineral sean mayores que las de fino.

Principalmente en los cuerpos mineralizados de poca pendiente, hay necesidad de dejar una mayor cantidad de pilares y por lo tanto mayores pérdidas y mayor costo unitario por tonelada.

En este sistema podemos ubicar los siguientes métodos usuales:

| | | |
|--------------------|------------------------------|-------------------------------|
| PENDIENTE | CUERPOS DELGADOS | CUERPOS POTENTES |
| POCO INCLINADOS | AVANCE FRONTAL | CAMARAS Y PILARES |
| FUERTE INCLINACION | TESTEROS, BANCOS, SUBNIVELES | SUBNIVELES BLAST HOLE STOPING |

3.1.2. Avance frontal (Figs.6 y 7)

Cumple lo que se dijera en la definición, es decir, se efectúa avanzando en frentes lo más amplios posibles, ascendiendo en el buzamiento y dejando pilares según se explicara anteriormente (Fig. 6).

En la figura 7 se observa el mismo método pero para potencias importantes, lo que determina una forma especial de ataque mediante equipos pesados y considerable altura de los frentes.

El transporte o arranque de material hasta las galerías de base y arrastre, puede hacerse mediante "scrapeo", mototransporte, y carga en base mediante cinta, autocargadores, etc.

3.1.3. Explotación por bancos (Figs. 9 y 10)

Este método es usado preferiblemente con altos buzamientos pues permite una mejor ubicación de los perforistas que ejecutan su trabajo verticalmen-

te, parados sobre los bancos en una situación bastante cómoda para el laboreo. El arranque se efectúa así con bastante facilidad, pero tiene el inconveniente que significa siempre, después de la pega, el material que queda sobre el piso de cada banco y que debe ser traspaleado hasta la base.

Cuando las cajas son suficientemente fuertes, pueden mantenerse sin sostenimiento. En caso de inestabilidad relativa, deberá soportarse el pendiente mediante estemples.

La mayor frecuencia de éstos podría ser un inconveniente luego de cada pega por el porcentaje de rotura de los mismos. El material cae hacia la galería de base por propia gravedad, siempre que el buzamiento sea mayor que el de talud natural del material; caso contrario deberá ser arrastrado.

Como puede verse el avance se hace en forma lateral -unilateralmente o bilateralmente- y descendiendo por bancos.

3.1.4. Explotación por testeros (Fig. 11)

En este caso la explotación se efectúa atacando los testeros, es decir, en forma ascendente (bancos invertidos), parándose el personal sobre tableros de trabajo. Aquí el material cae directamente sin quedar en los bancos como en el caso anterior.

En ambos casos, bancos y testeros, el arranque se produce con producción inmediata, pues no resta material alguno almacenado ni es necesario relleno alguno inmediato.

3.1.5. Subniveles (Fig. 17)

Aquí la explotación se realiza mediante la ejecución de subniveles cada 4 ó 5 metros -en minerales de poca potencia- y el arranque se hace mediante perforación vertical.

El material se recibe en la base mediante buzones -tolvas o en galería base de explotación (paralela a la de arrastre) y de allí mediante cargadora al elemento de transporte.

Normalmente esto último se realiza para los yacimientos más potentes. En éstos por lo general los subniveles trabajan con cámara almacén, es decir, no entrarían en la clasificación de cámara vacía, no obstante lo cual para casos de buenos hastiales, puede usarse vacía.

3.1.6. Blast Hole Stopping

Con este método si bien se trabaja con cámara vacía, el arranque -para grandes potencias-, se efectúa prácticamente como si fueran bancos de explotaciones a cielo abierto, con elementos de perforación de gran capacidad, relativamente gran voladura y recepción en la base mediante carga lateral hacia el nivel de transporte.

3.2. CAMARAS RELLENAS

En este sistema los métodos de explotación de mineral se efectúan por cortes ascendentes -horizontales o inclinados- con relleno posterior al arranque.

Este relleno puede ser del mismo mineral (cámara almacén o shrinkage), material externo de diverso tipo, o relleno producido en el mismo rajo de explotación.

El ataque al mineral puede efectuarse por testeros o en todo el frente cabeza, lateralmente o bilateralmente, etc.

3.2.1. Cámara almacén (realce sobre saca o shrinkage) (Figs. 13 y 14)

En este método el arranque se efectúa partiendo de un subnivel base que sirvió además para efectuar las tolvas buzones a partir de corona de mineral o artificial según convenga.

El realce se efectúa entonces apoyándose sobre el mismo material arrancado. A causa del esponjamiento y correspondiente aumento del volumen del material arrancado, es necesario extraer permanentemente un porcentaje del material abatido.

En el caso de rajos angostos especialmente, ello significa una desnivelación permanente del piso de ataque (debajo de cada buzón), por lo que la mecanización o uso de equipos más completos es difícil.

Es relativamente de mejor costo que el método con relleno exterior, pero debe usarse cuando las cajas son suficientemente estables. Tienen sus inconvenientes en caso contrario, pues aumenta la dilución del mineral y en algunos casos no permite la extracción total del material aumentando las pérdidas.

Su ventaja es la económica, siempre que pueda permitirse el mantener material arrancado en almacén, sin mayores exigencias en la producción, puesto que no puede vaciarse el almacén hasta no terminar su explotación.

La extracción se efectúa mediante buzones directamente a vagones cuando la galería de extracción -transporte coincide con la galería base (caso de poca potencia y yacimiento relativamente pequeño).

En otros casos cuando la importancia del yacimiento lo permite, la galería de arrastre es paralela a la de base y la carga se efectúa mediante palas cargadoras y transversales (Fig. 14).

Los buzones deben estar distanciados de acuerdo a su área de explotación de manera de no tener demasiadas pérdidas ni cargas muertas, a la vez que conveniente seguridad.

3.2.2. Corte y relleno (realce con relleno - cut and fill) (Figs. 15 y 16)

El método es similar al anterior pero se atacan los testeros desde un

piso de relleno ajeno al mineral y que puede ser exterior (común o hidráulico) o del mismo rajo por selección de la zona mineralizada (resuing) o por aporte de las cajas mediante voladuras accesorias.

El mineral se baja y extrae a la galería base, mediante coladero que deben construirse a medida que sube el relleno.

Este método se usa en la explotación de menas con buena estabilidad y roca de caja débiles que no permiten una apertura importante.

Se presta muy bien en zonas mineralizadas, con fuertes buzamientos, dado que en esta forma el material de relleno, que normalmente debe ser transportado al rajo, puede aprovechar la gravedad para su mejor distribución. Igual cosa ocurre con el mineral abatido que debe bajar a la galería base generalmente mediante coladeros artificiales.

En este método también tiene mucha importancia la potencia de la zona mineralizada pues de acuerdo a ello será posible la mayor o menor mecanización del rajo y por lo tanto mayor o menor rendimiento por tonelada/hombre turno, así como su influencia en los costos unitarios.

En los rajos potentes la perforación puede hacerse mediante jumbos y la carga-transporte de mineral o relleno, mediante equipo mecanizado que se mueve sobre el relleno.

En lo que respecta a esto último, todo relleno tiene un factor de compactación (muy importante a considerar para el mantenimiento de la presión de las paredes o hastiales) que disminuye su volumen mientras más grande son sus granos; de ahí que es necesario tener una planta de preparación de materiales para esta operación.

El relleno más conveniente y que además es de rápida aplicación es el hidráulico. Este consistente en una pulpa obtenido de la planta de concentración principalmente, que puede ser fácilmente transportado a la mina y luego distribuido en los diferentes rajos.

Su aplicación no tiene mayores problemas siempre que dicho relleno esté convenientemente "limpio".

3.2.3. Autorrelleno (hundimiento de techo) (Figs. 18 y 20)

En este caso, y cualquiera sea el método usado en la explotación, -en caso de la figura 15 por subniveles- el relleno se produce por el simple derrumbe del estéril inmediatamente encima del mineral, luego de extraído éste. Caso similar ocurre cuando usando el método de explotación por cámaras y pilares, se produce el autorrelleno por la recuperación de los pilares y posterior derrumbe controlado del techo.

3.2.4. Entibación cuadrada (cámaras enmaderadas o square set) (Fig. 23)

En este método la explotación se efectúa también en realce pero usando para el mantenimiento de los hastiales un sistema de enmaderación que mediante un conjunto de ensambles exactos, permite la distribución de los es-

fuerzos de presión de los hastiales en todos los sentidos.

Es realmente uno de los métodos de mayor costo; se usa en minerales de buena potencia y buen valor. Normalmente los rajos son simultáneamente rellenos, lo que da una mayor seguridad a la explotación.

Dado que con este tipo de enmaderación se puede llegar prácticamente a cualquier lugar de la zona mineralizada, las recuperaciones en la explotación son muy elevadas. Puede usarse prácticamente para zonas mineralizadas con cualquier morfología, pero preferiblemente con buzamientos altos.

Se necesita un muy buen equipo de carpintería y por esta causa, el movimiento de los rajos es algo complicado.

A pesar de ser un método costoso, suele ser sin embargo de costo competitivo por kilogramo de fino recuperado, dada la posibilidad que tiene de mejor seleccionar la parte mineralizada, con pocas pérdidas y bajas diluciones.

Este método se usa en yacimientos de uranio filonianos en Francia por ejemplo, para explotaciones de mineral de alta ley. Actualmente se lo ha sustituido en parte mediante fortificaciones de hormigón y relleno hidráulico.

3.2.5. Otros métodos

Especialmente en movimientos considerables de materiales por método subterráneo podríamos indicar como más importante los siguientes:

3.2.5.1. Hundimiento de bloques (block caving) (Figs. 21 y 22)

En estos casos se aprovecha la textura de la zona mineralizada que por sus fracturas permite su fácil desprendimiento, para, al provocar su "descolce" en la base, se vaya produciendo su autodesgarramiento.

El mineral al caer por efecto de la gravedad rellena una gran cámara almacén. El material así producido mediante un sistema de coladeros, baja a la galería base para su extracción.

El posterior relleno de la cámara se produce prácticamente a continuación del mineral por derrumbe de techos y paredes actuando como autorrelleno.

Para poder hacer posible un fácil desprendimiento, además de las labores efectuadas en la base y que deja "colgando" el bloque, se lo debilita mediante la ejecución de chimeneas o galerías en recorte, lateralmente ejecutadas en las caras del bloque.

Una buena parte de las explotaciones mundiales de gran tonelaje diario, con minerales de gran potencia, usan este método.

La carga a niveles de arrastre se ejecuta mediante autocargadoras o cargadoras frontales y el transporte mediante trenes o camiones para interior, pudiendo hacerse su extracción también combinándola con pozos verticales.

3.2.5.2. Blast Hole Stopping

Como se lo describiera anteriormente este método al igual que el anterior, se usa para grandes movimientos/día de material. Consiste en la preparación de una galería base como para la explotación de subniveles y una de cabeza suficientemente grande como para que, mediante la realización de perforación de voladura similar en tamaños a la de los bancos a cielo abierto, se produzca el abatimiento de grandes tonelajes.

Las perforaciones de voladura se realizan en forma vertical, con grandes diámetros y arranque de importancia.

El rajo queda vacío, (en algunos casos se aprovecha el autorelleno), y el problema principal radica en la necesidad de tener buena caja; y provocar un rompimiento adecuado para no atascar las correspondientes salidas de mineral.

Se han descripto hasta aquí en forma somera los principios básicos de los diversos métodos de explotación minera más conocidos, la mayoría de los cuales son aplicados a la explotación de minas de uranio; no obstante las variaciones sobre los mismos u otros nuevos son tan numerosas, como los problemas que en cada mina existen, y obligan a la adaptación de otras técnicas para su mejor rendimiento y según las circunstancias lo exijan.

EJEMPLO DE PLANILLA PARA ESTIMACION DE COSTOS POR t (1970)

| TIPO DE TRABAJO | MANO DE OBRA | SUPERVISION | MARTILLOS Y BARRENOS | ENERGIA | EXPLOSIVOS | OTROS MATERIALES | TOTAL |
|--|--------------|-------------|----------------------|---------|------------|------------------|-------|
| DESARROLLO | 0.137 | 0.015 | 0.028 | - | 0.028 | 0.045 | 0.253 |
| ARRANQUE | 0.700 | 0.085 | 0.185 | 0.016 | 0.220 | 0.187 | 1.393 |
| TRANSPORTE | 0.345 | 0.044 | - | 0.025 | - | 0.969 | 1.353 |
| GASTOS GENERALES INTERIORES | 0.335 | 0.035 | - | 0.100 | - | 0.135 | 0.605 |
| GASTOS DE SUPERFICIE APLICACIONES A OPERACIONES SUBTERRANEAS | 0.025 | - | - | - | - | 0.025 | 0.050 |
| TOTAL | 1.542 | 0.179 | 0.213 | 0.141 | 0.248 | 1.331 | 3.654 |
| TRANSPORTE A PLANTA | 0.066 | - | - | - | - | 0.040 | 0.106 |

RESISTENCIA DE ROCAS

| ROCAS | VELOCIDAD DE PERFORACION mm/min | COEF. DE RESISTENCIA |
|------------------|------------------------------------|----------------------|
| DEBILES | 300 - 400 | 2 - 3 |
| DE RESIST. MEDIA | 100 - 160 | 6 - 3 |
| FIRMES | 90 - 100 | 10 - 12 |
| MUY FIRMES | 30 - 40 | 16 - 18 |

DATOS DE INTERES - COSTOS PROMEDIOS Y RENDIMIENTO
DE MINA SOLAMENTE
(CIFRAS PROMEDIOS)

| METODO | COSTO U\$/t | RENDIM. | ALTURA E/NIV. | SUP. EXPLOT. | OBSERVACIONES |
|----------------------------|----------------|-------------|------------------|------------------------|--|
| Subniveles | 6-10 | 7,5-20 t/ht | 50-80 m | 150-300 m ² | Gastos de mina sólo s/control geológico, etc |
| Entibación cuadrada | 10-17 | 4,5-7 t/ht | 40-50 m | 70-100 m ² | |
| Corte y relleno | 7-17 | 6-10 t/ht | 30-70 m | 70-150 m ² | |
| Cámara almacén | 5-8 | 10-12 t/ht | 30-40 m | 150 m ² | El relleno significa 0.5-0.7 por t |
| Block caving (hundimiento) | 2-8 (10) | 15-30 t/ht | 100 m | 2.000 m ² | |

EJEMPLO DE PLANILLA TIPO PARA CALCULOS PRELIMINARES
(DE CANTERA)

| Profundidad | COTA | | POR BANCO | | | | | POR PISO | |
|-------------|-------|--|-----------|-----------|-----------|--------|-----|----------|-----|
| | BANCO | | t TOTAL | t ESTERIL | t MINERAL | LEY %. | e/m | t FINOS | |
| -50 | 310 | | 220.000 | 180.000 | 40.000 | 1,5 | 4.5 | 60 | 190 |
| -40 | 320 | | 450.000 | 350.000 | 100.000 | 1,3 | 3.5 | 130 | |
| -30 | 340 | | 950.000 | 750.000 | 200.000 | 1,1 | 3.7 | 220 | 543 |
| -20 | 350 | | 1.030.000 | 840.000 | 190.000 | 1,7 | 4.4 | 323 | |
| -10 | 360 | | 1.220.000 | 920.000 | 300.000 | 1,2 | 3.1 | 360 | 767 |
| 0 m | 370 | | 1.570.000 | 1.200.000 | 370.000 | 1,1 | 3.2 | 407 | |
| 10 | 380 | | | | | | | | |
| TOTALES | | | 5.440.000 | 4.240.000 | 1.200.000 | 1,2 | 3.5 | 1.500 | |

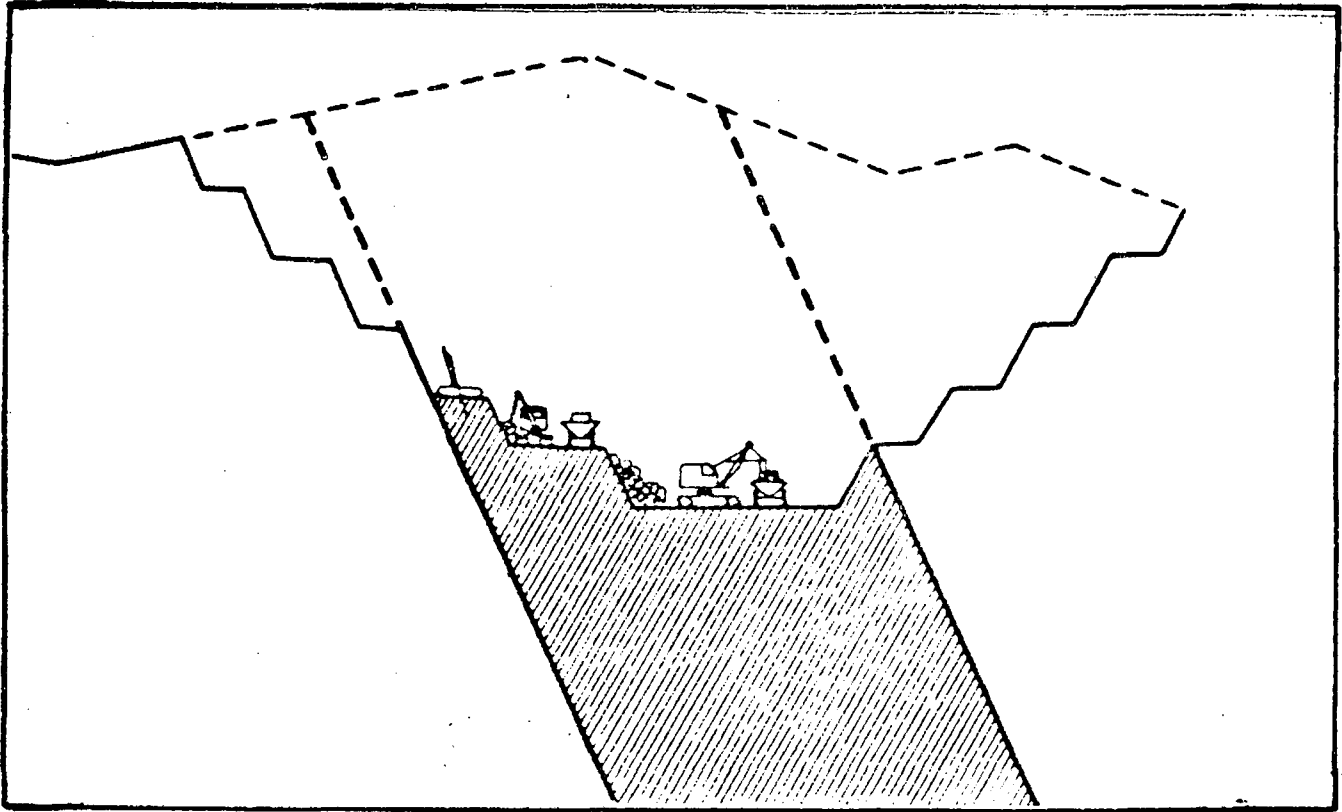


FIG. 3

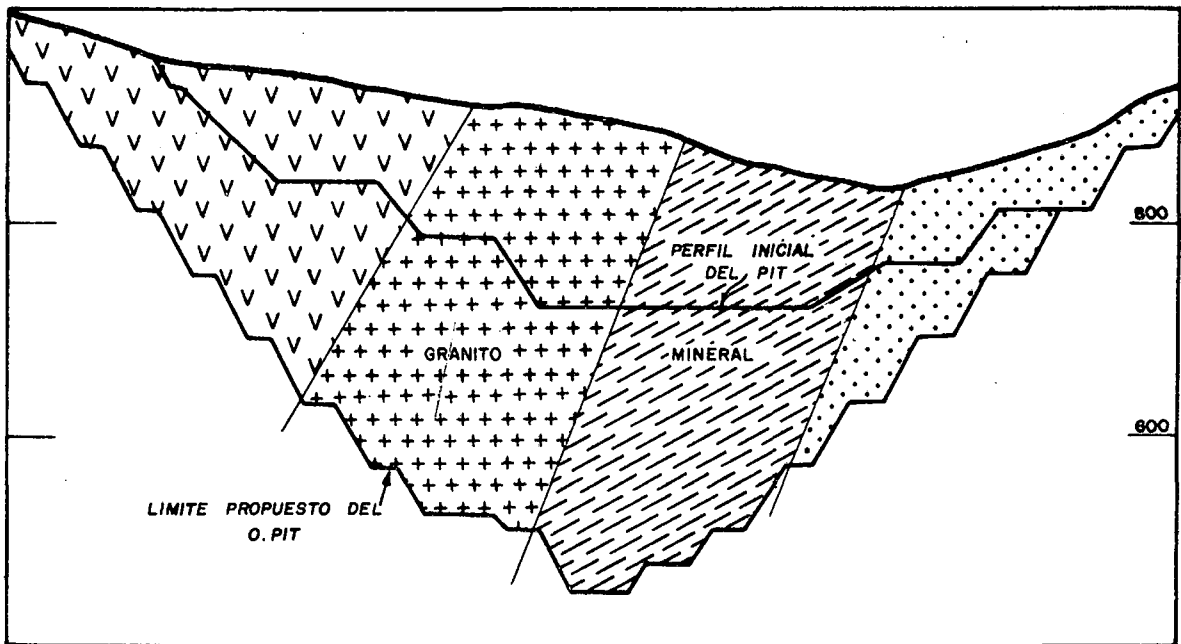


FIG. 4

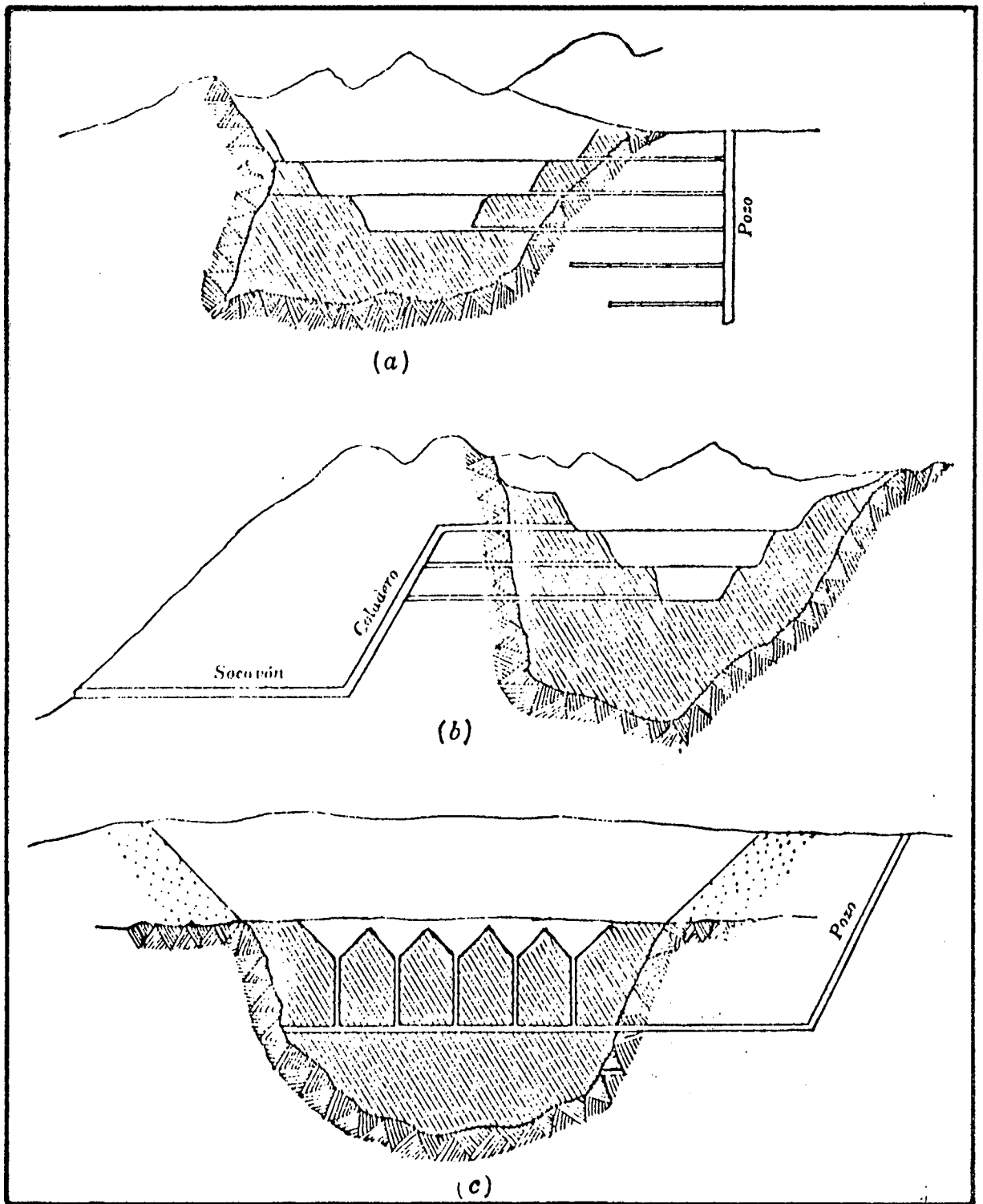


FIG. 5

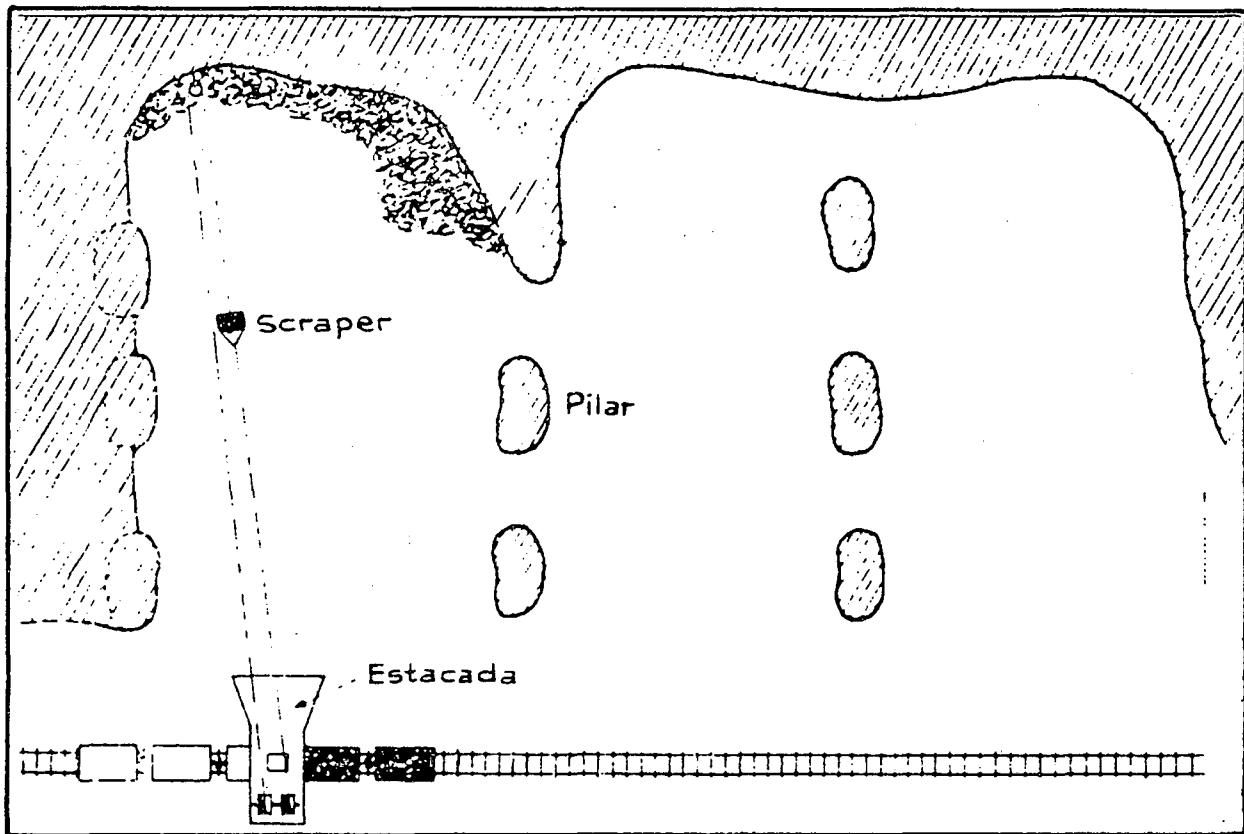


FIG. 6

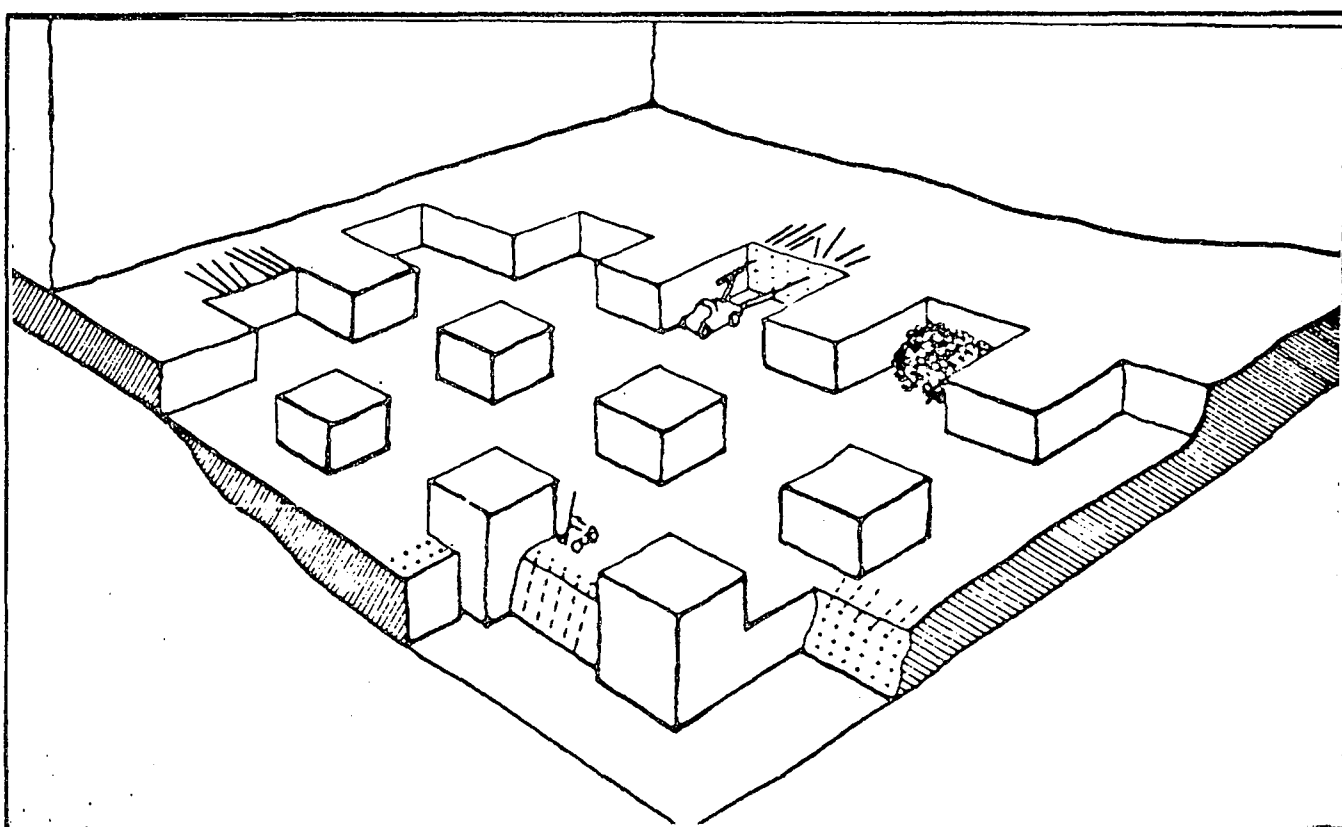


FIG. 7

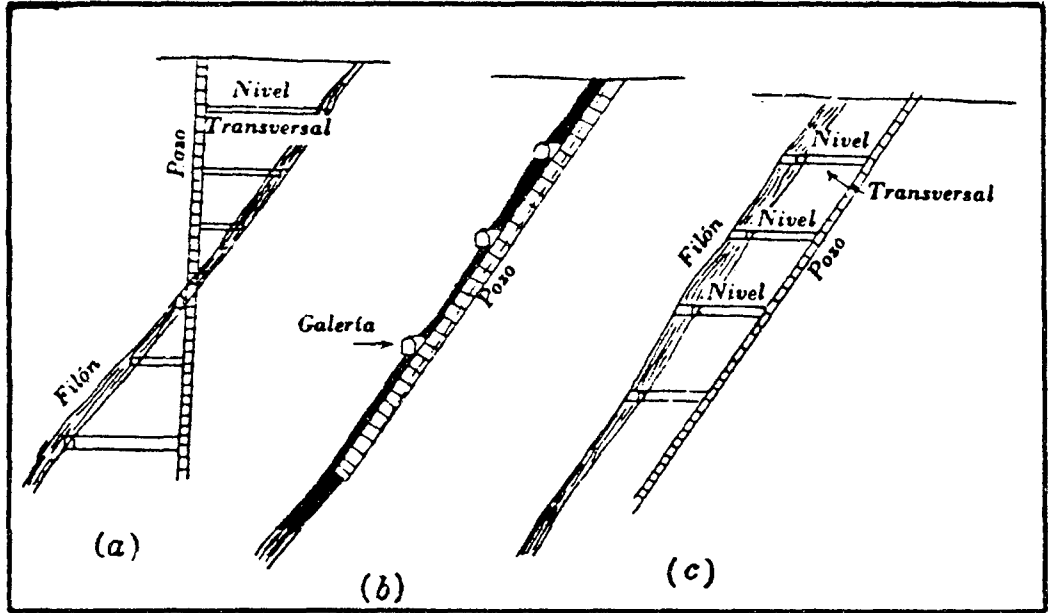


FIG. 8

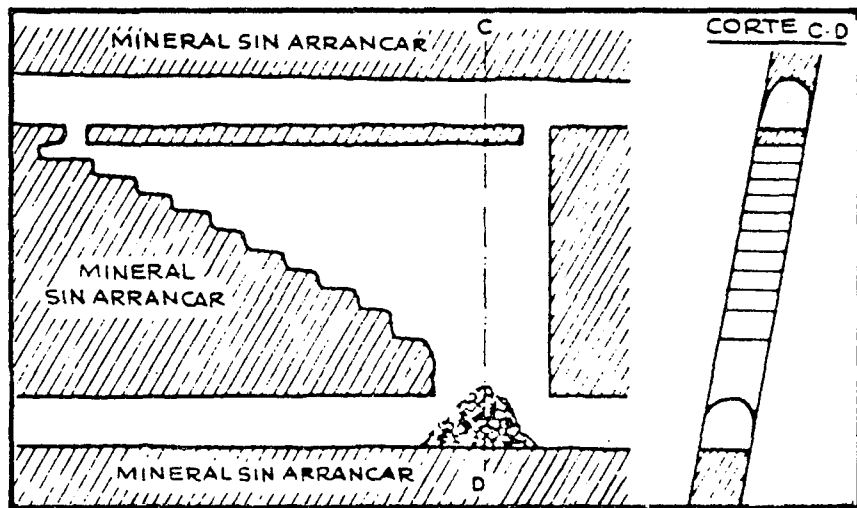


FIG. 9

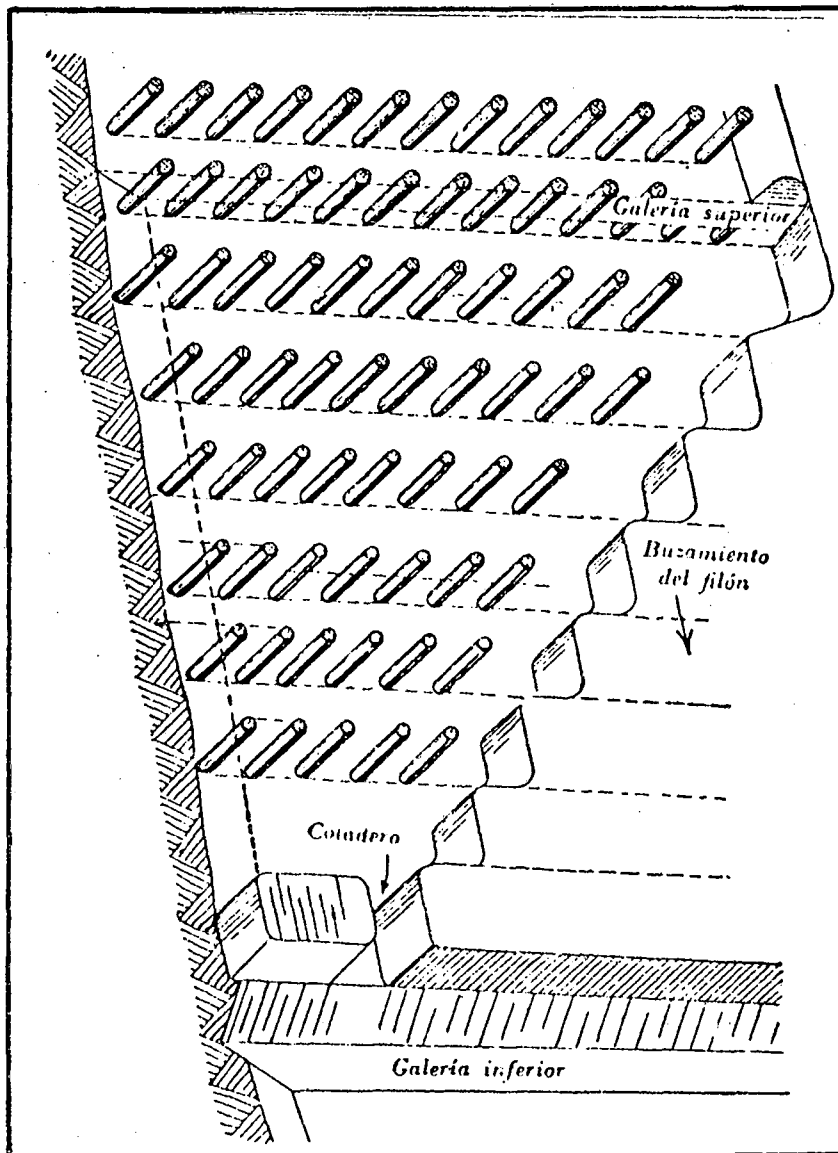


FIG. 10

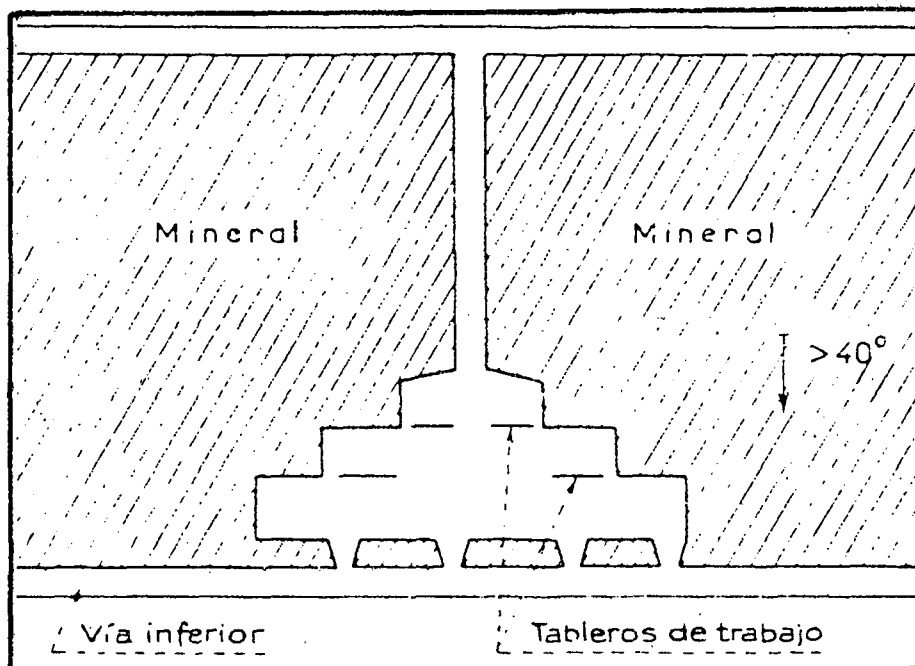


FIG. 11

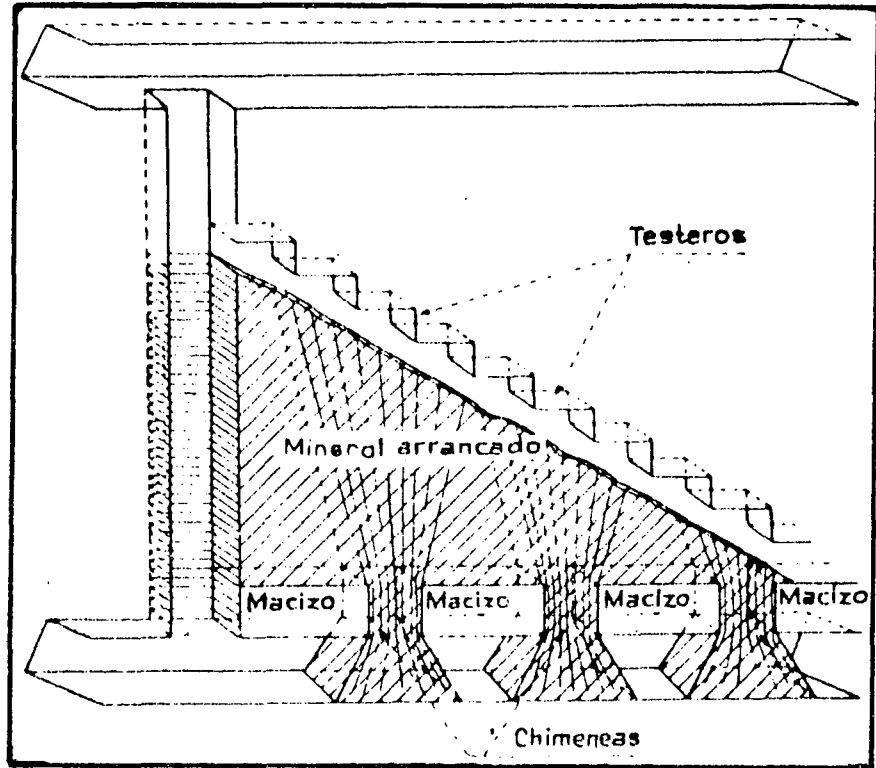


FIG.12

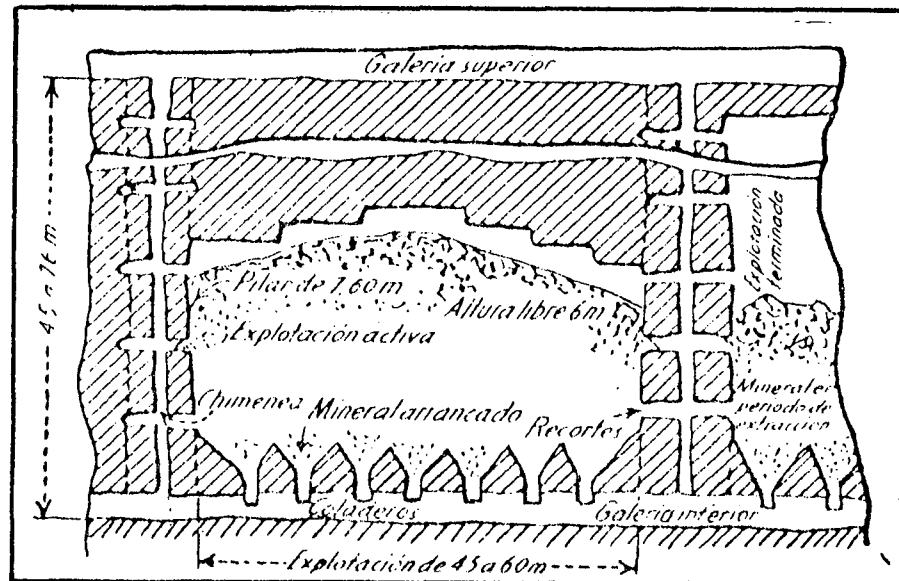


FIG.13

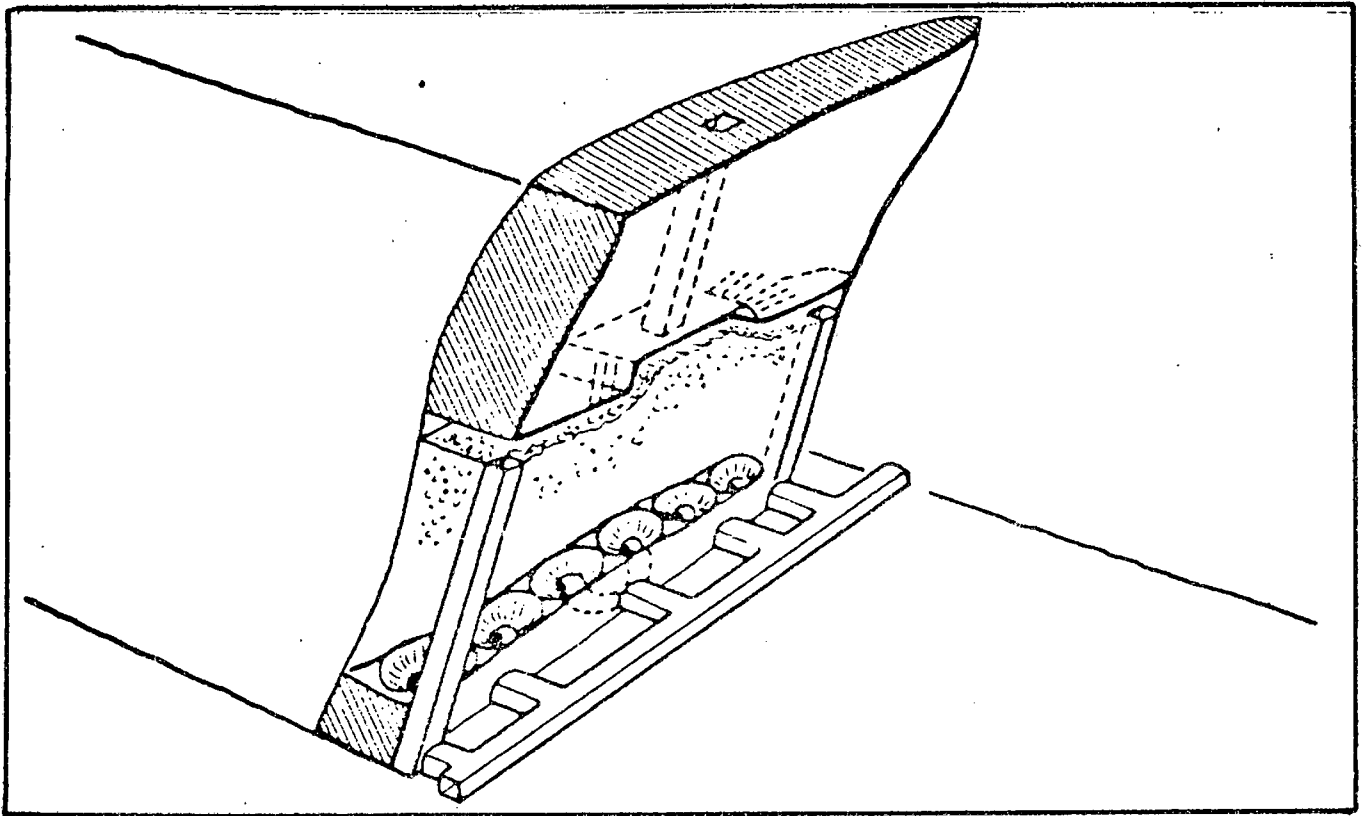


FIG. 14

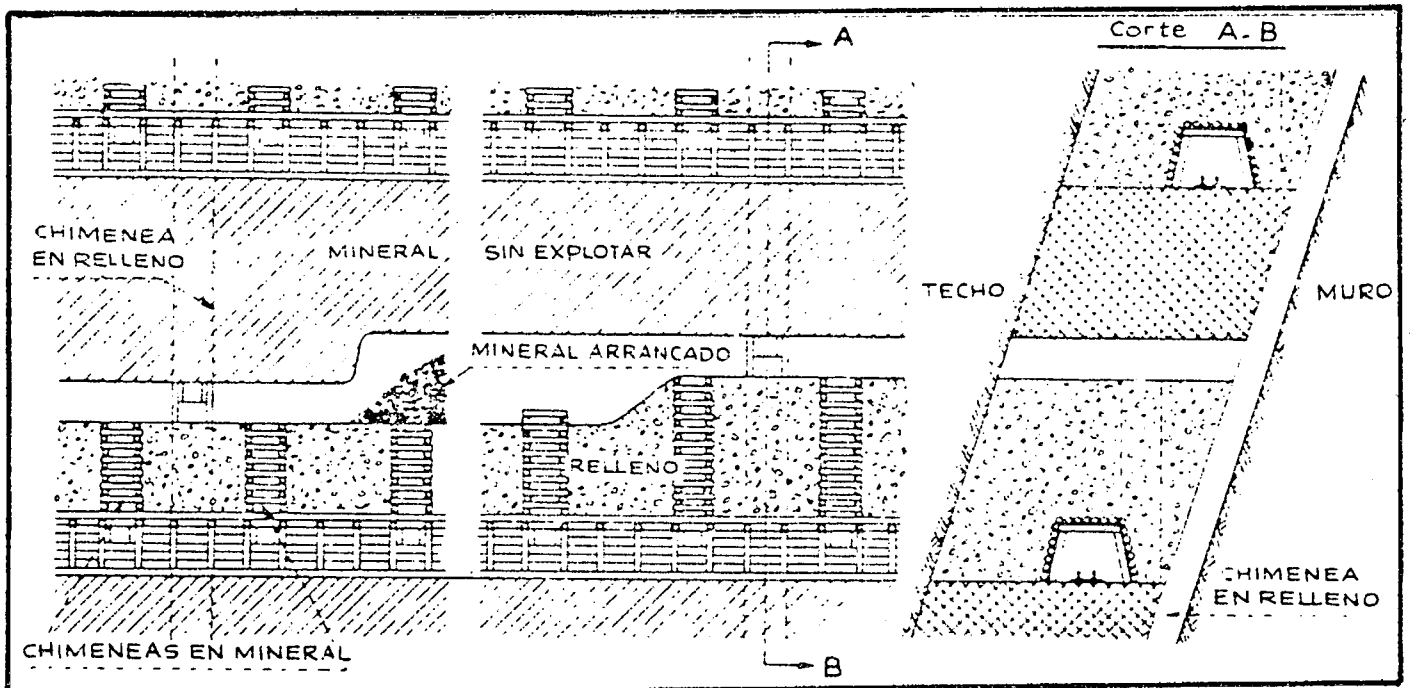


FIG. 15

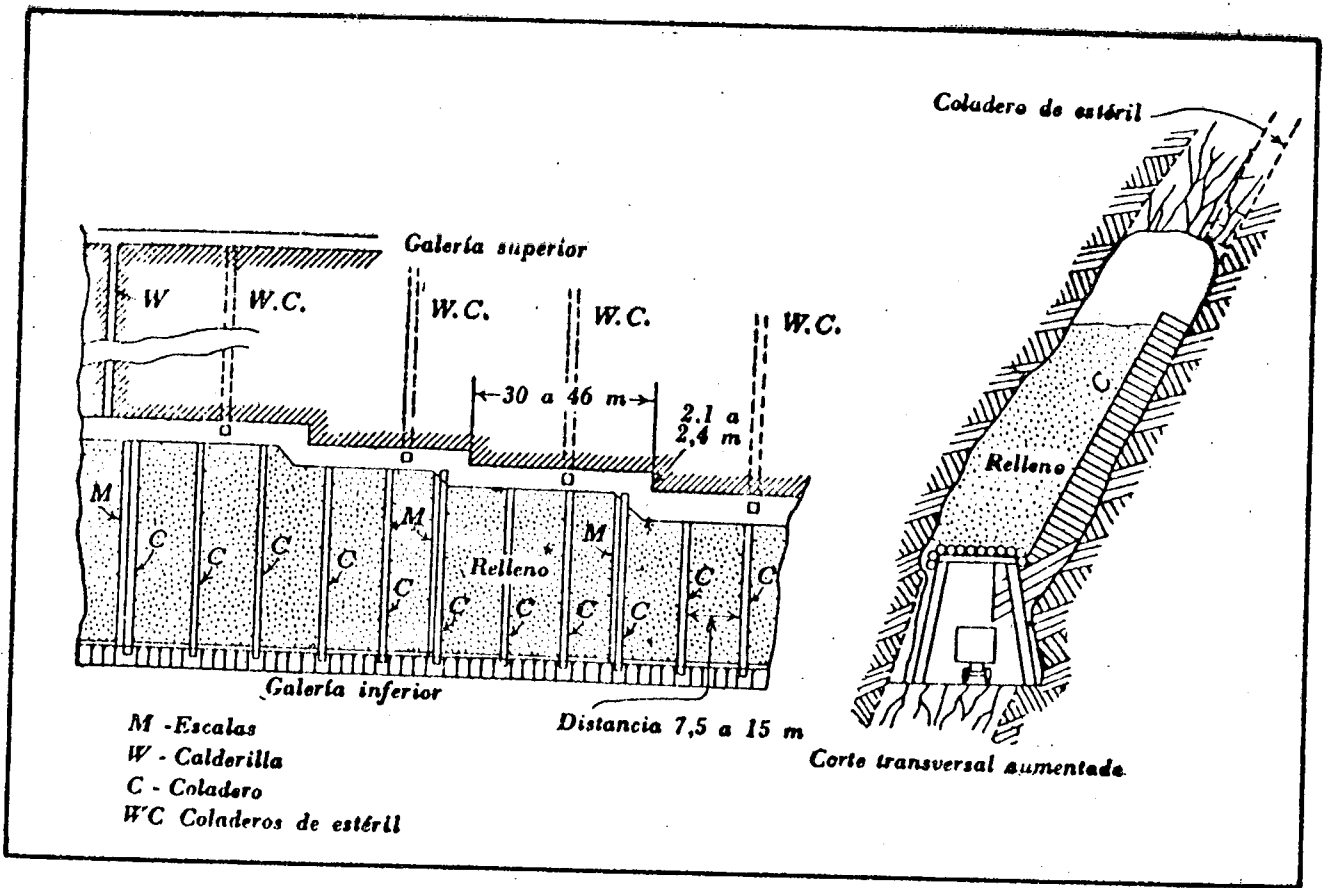


FIG. 16

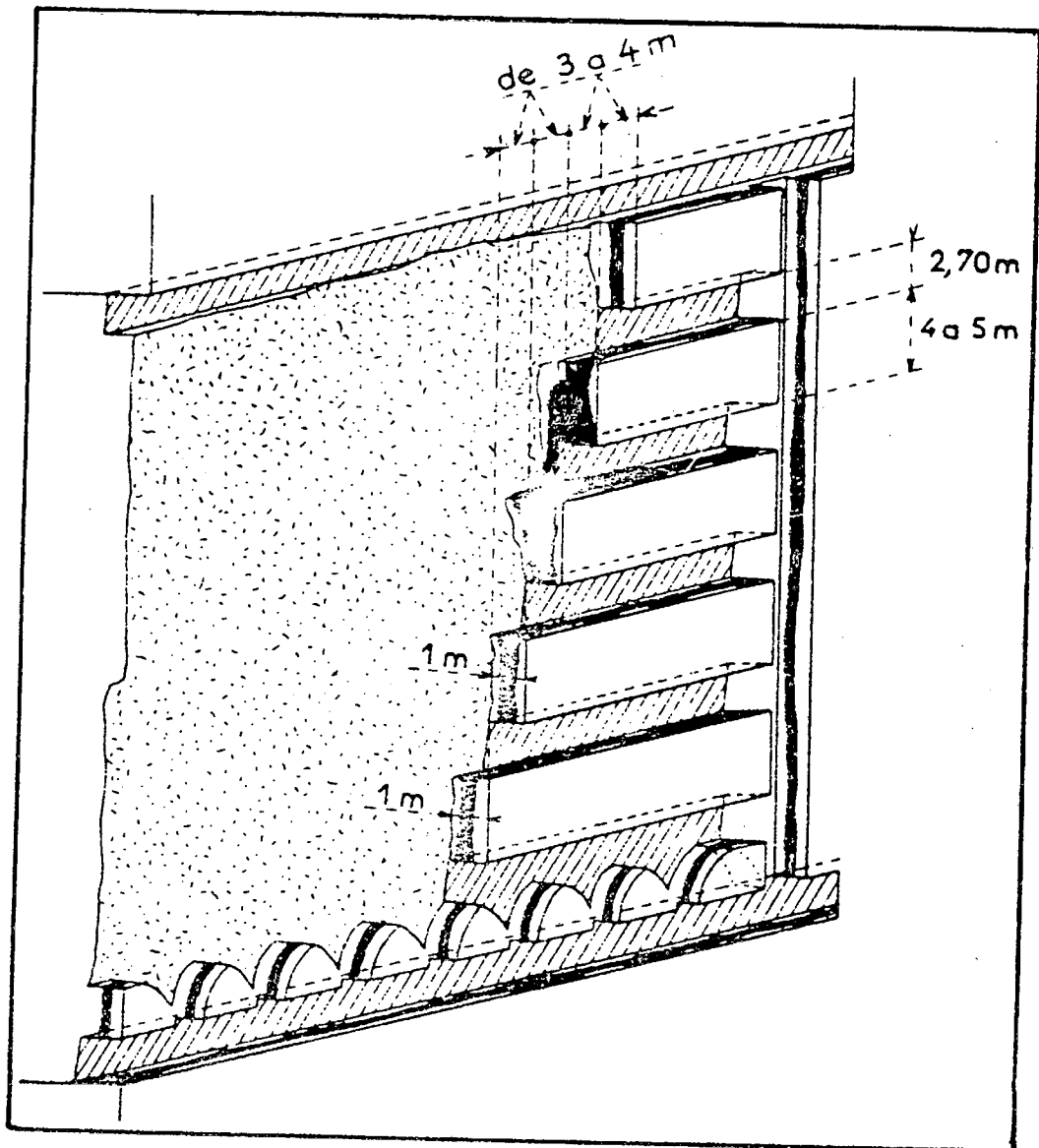


FIG 17

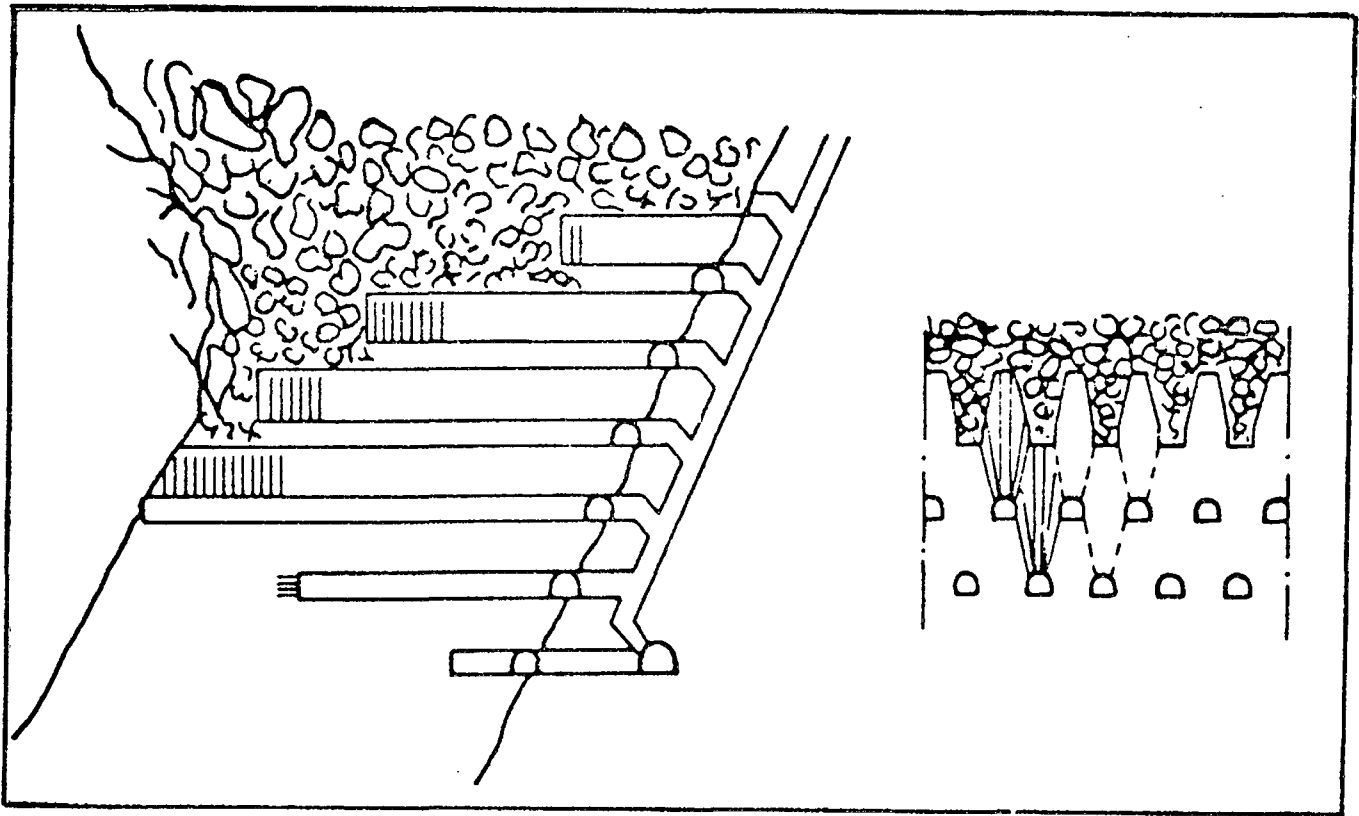


FIG. 18

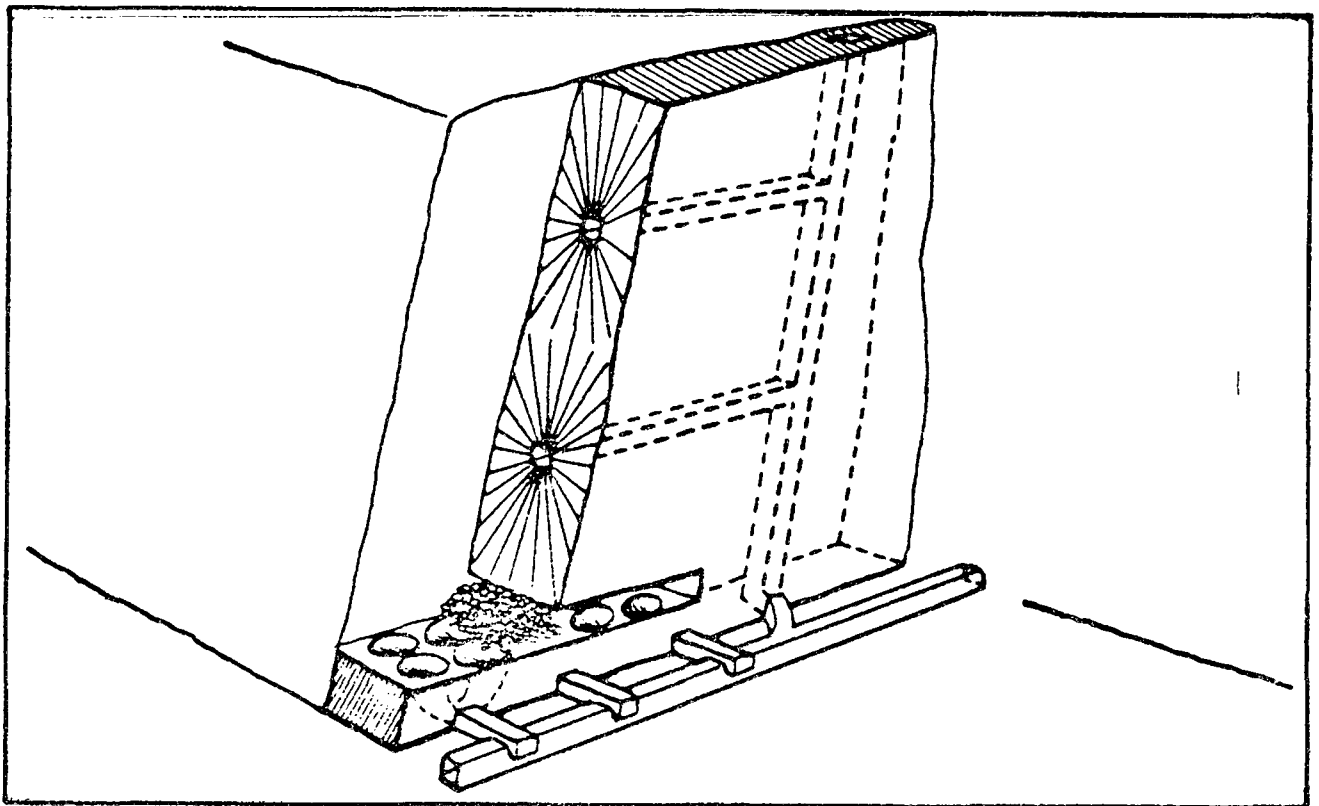


FIG. 19

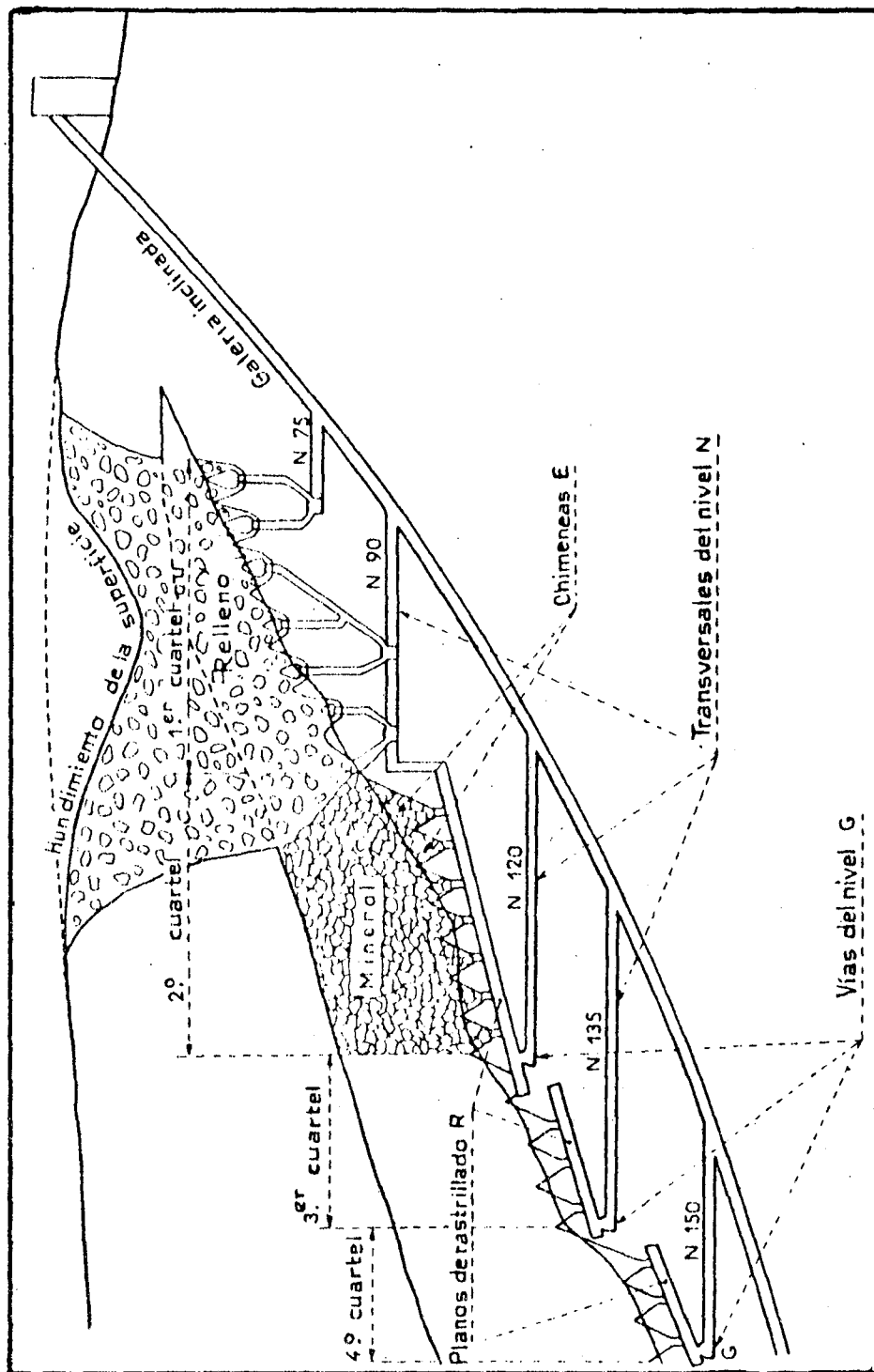


FIG.20

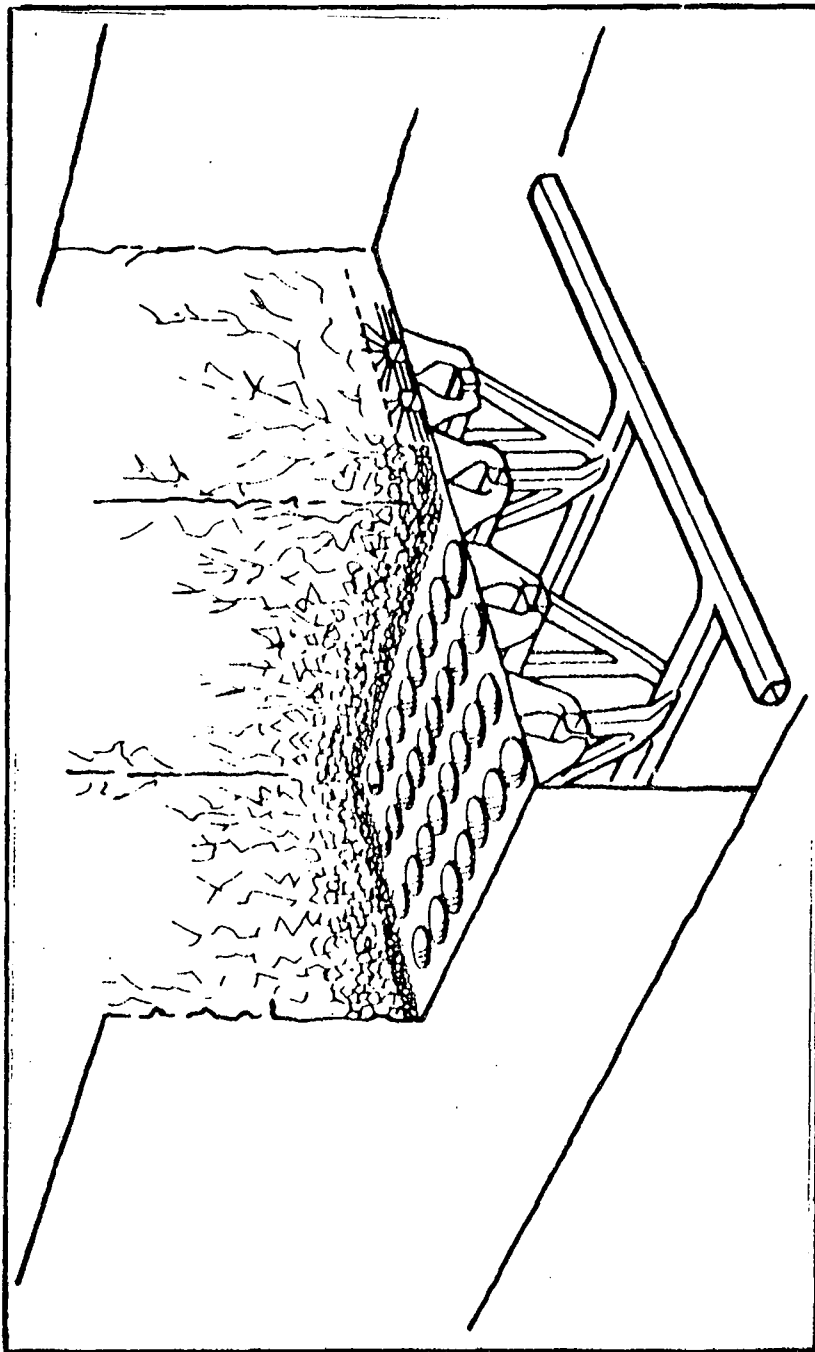


FIG. 21

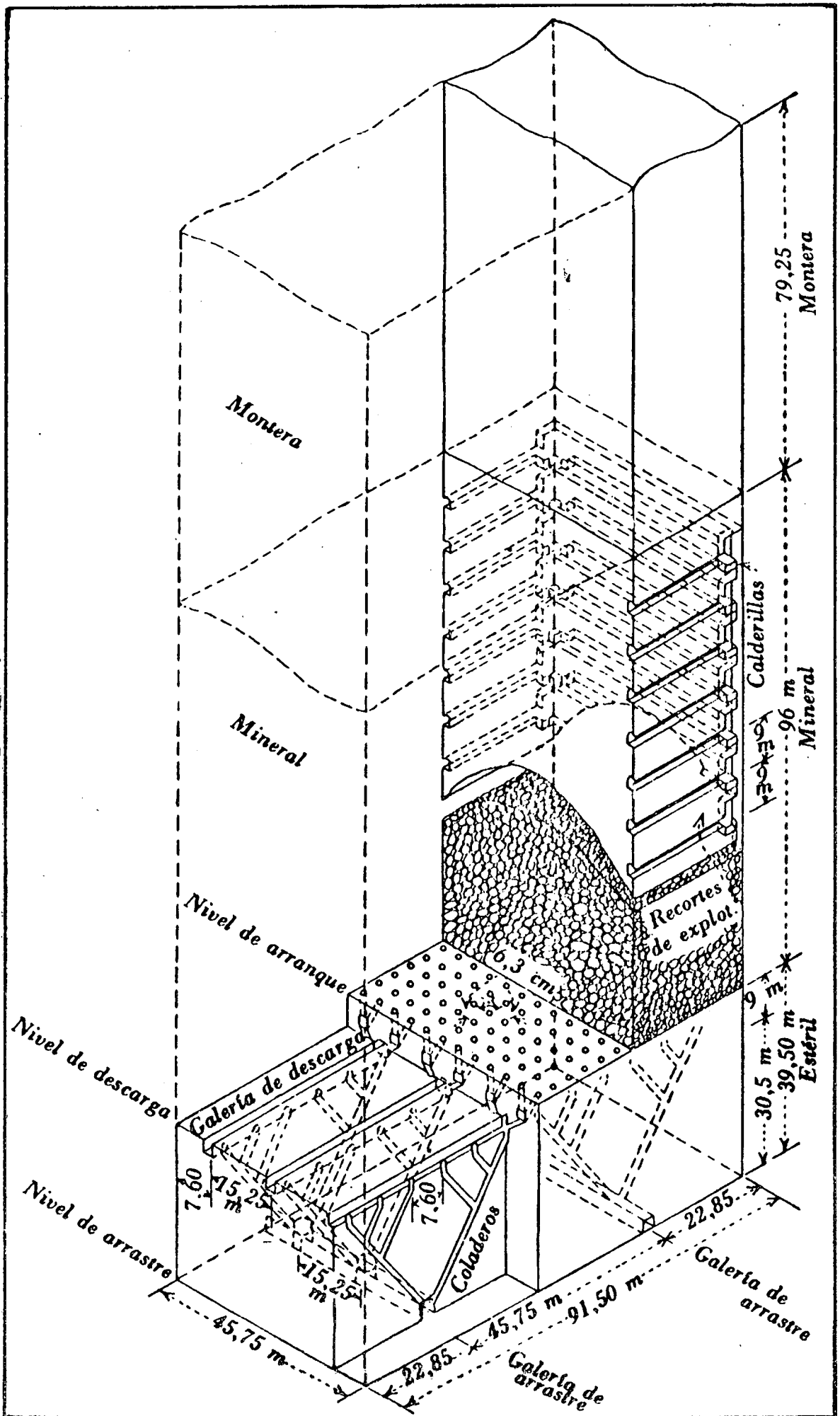


FIG.22

