

perforaciones

de los grandes subterráneos y los métodos y máquinas modernos

G. VIÉ, ingeniero civil de minas

579 - 17

sinopsis

La perforación de los grandes subterráneos, bien sea para trabajos de minas o de obras públicas, debe acometerse bajo unos patrones característicos en todas estas grandes obras, como son: la seguridad, resistencia, economía, etc.

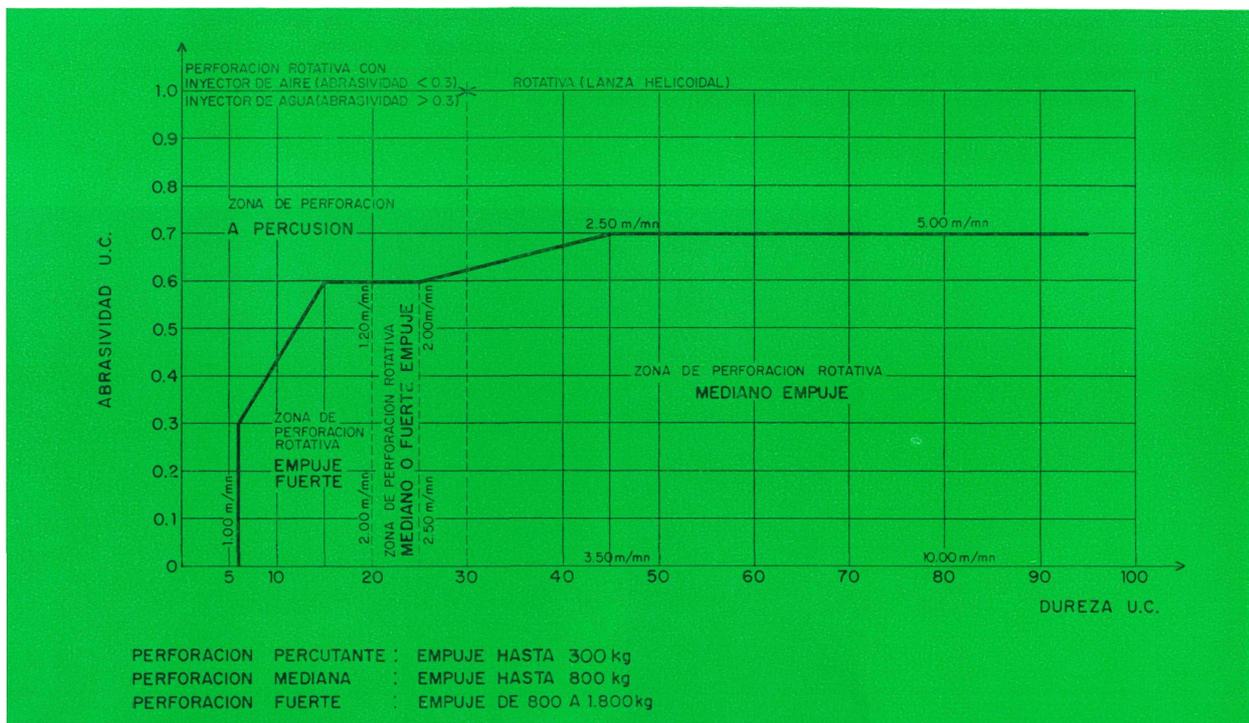
Debido a la diferente técnica y utilización de las diversas máquinas existentes para tal fin, deben elegirse las más ventajosas en cada caso.

La experiencia de varios años de trabajo y ensayos nos dice que cuando el terreno es blando los mejores resultados los obtenemos con la perforadora rotativa; en caso contrario, conviene utilizar la perforadora roto-percutiva.

Ultimamente se viene empleando, con éxito, el jumbo automático, el cual tiene una gran maniobrabilidad y elimina parte de los inconvenientes producidos por las perforadoras, tales como: ruido, elevado consumo de aire y bloqueos frecuentes. Puede alimentarse con energía eléctrica, diesel o diesel-eléctrica. Su utilización es frecuente, sobre todo en la construcción de autopistas.

La perforación de los subterráneos de gran longitud y sección importante, sobre todo para autopistas, ha alcanzado una acusada técnica de progresos netamente característicos.

La ejecución por el método clásico de las galerías, bien de minas o bien de obras públicas, necesita la perforación de agujeros de mina de un diámetro variable entre los 20 y 70 mm y de 2 a 7 m de longitud.

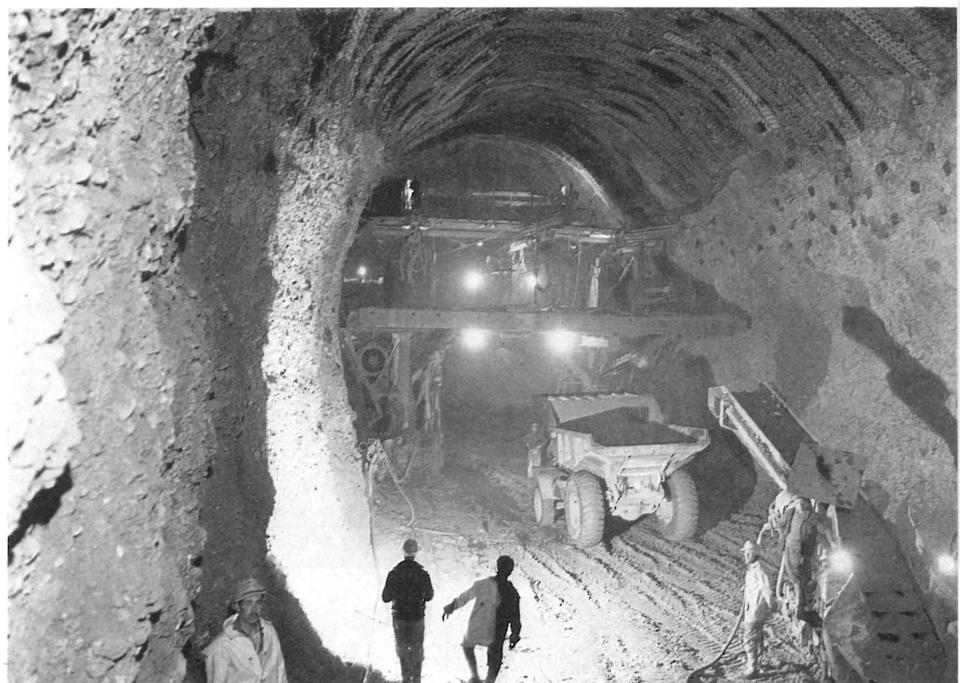




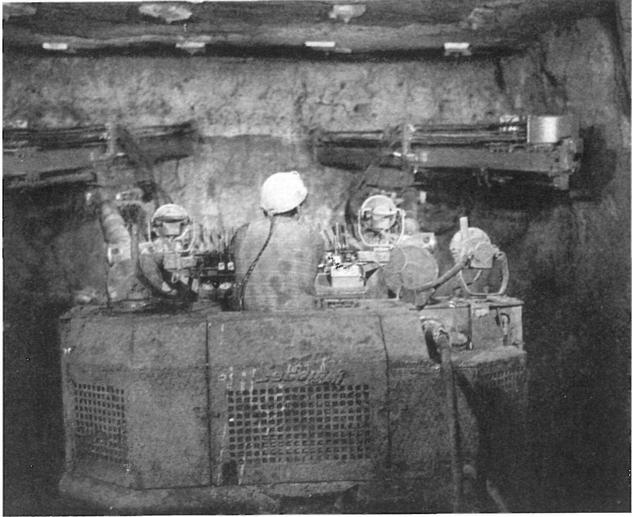
Jumbo tipo SECOMA, utilizado para la extracción de la bauxita según el método de cámaras y pilares, en sección mediana (serie Pechiney).

Estos agujeros se ejecutan con ayuda de perforadoras rotativas, sea con martillos y supermartillos de percusión rotatoria y, más recientemente, utilizando perforadoras roto-percutivas.

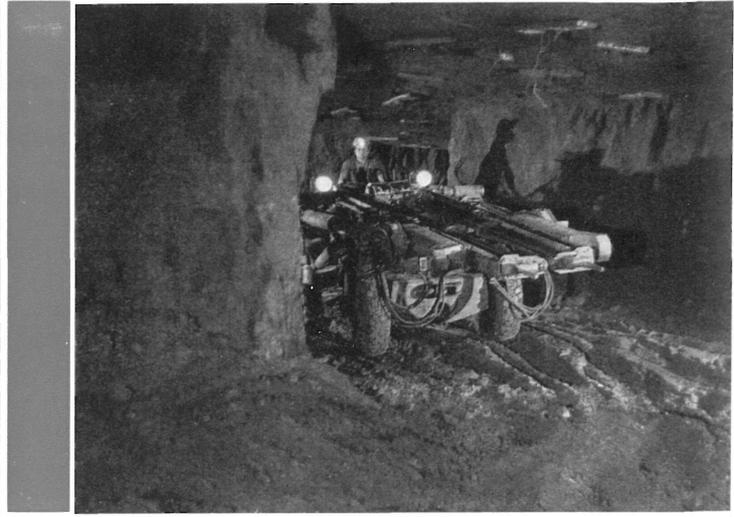
La elección de las herramientas de perforación se halla condicionada a las características de las rocas: dureza y abrasividad sobre todo. La perforación rotativa se aplica a las rocas relativamente suaves y poco abrasivas; las perforadoras de percusión rotativas y roto-percutivas se emplean cuando las rocas son más duras y abrasivas.



Perforación de la galería de las Méés (Alpes de Provenza) en 100 m² de sección por jumbo SECOMA.



Jumbo SECOMA, tipo PEC, trabajando en explotación «cámaras y pilares», sección mediana.



Jumbo SECOMA de la serie PEC, trabajando en sección mediana.

Las perforadoras rotativas son generalmente hidráulicas, desarrollando pares de 15 a 70 m · kp con una velocidad de rotación de 150 a 1.300 tr/min (giros/minuto) y un empuje de 500 a 1.800 kp.

Las máquinas roto-percutivas más recientes asocian muy a menudo dos fuentes de energía: hidráulica para asegurar el funcionamiento de la rotación; aire comprimido, que está reservado para impacto.

Es evidente que cada uno de estos diversos tipos de máquinas posee un campo de utilización bien determinado. También, si en un proyecto acometemos el problema de la perforación, el principal que se nos presenta es el de la elección del tipo de perforación a adoptar.

Cuando se trata de agujeros de mina, varias empresas sólo pensarán en la perforación percutiva, pero la rotativa es la que frecuentemente puede proporcionar resultados más rentables.

La perforación por percusión, en rocas suaves, debe dejar paso a la segunda (perforación rotativa) la cual puede obtener unas velocidades de avance del orden de los 12 m/min.

Un campo intermedio, para el caso de rocas de una resistencia a la compresión comprendida entre los 600 y 1.800 kp/cm² y de no mucha abrasividad, debe ser igualmente reservado a la perforación rotativa.

La elección viene impuesta por los resultados de una serie de «tests» de gran simplicidad, mediante los que son medidos el avance bajo una carga dada, y el desgaste de una barrena calibrada. En el esquema adjunto se resumen las posibilidades y métodos de perforación rotativa y roto-percutiva, en función de dos variables esenciales: dureza y abrasividad.

En un tiempo dado, la unidad de dureza se expresa en 1/10 de mm de avance; y la unidad de abrasividad, en décimas de mm de desgaste del borde de la barrena calibrada, girando a velocidad constante.

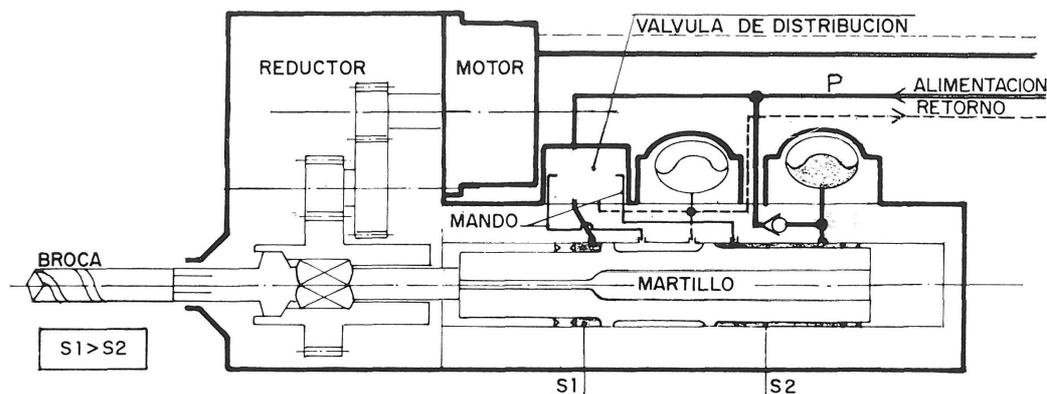
La perforación rotativa es la única que permite grandes velocidades de avance. Si se emplea con aire inyectado o aire húmedo, como es el caso de la sal gema, el potasio o el yeso, las

velocidades se hallan próximas a los 12 m/min para una velocidad de rotación de la barra (taladro) del orden de las 1.300 tr/min y un empuje de 1.000 kp aproximadamente. Cuando la dureza aumenta la velocidad se reduce, pero el empuje aumenta.

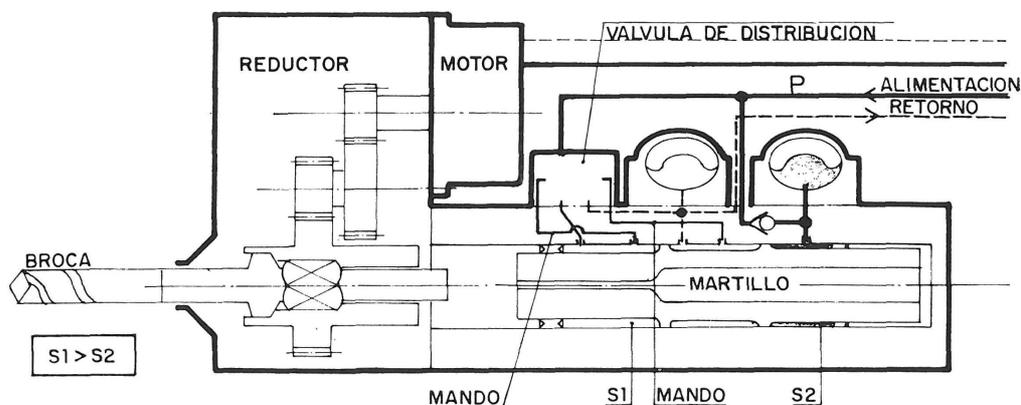
Para citar un ejemplo sobre las perforadoras SECOMA, llamadas de «gran empuje», el filo de 50 mm de diámetro está apoyado sobre el pedrusco con un esfuerzo que puede alcanzar 2 Mp, no excediendo la velocidad de rotación las 200 tr/min.

Es cierto que el límite de la perforación rotativa se encuentra así disminuido, ya que la presión ejercida por la roca sobre las pastillas de carburo de tungsteno sobrepasa los límites admisibles.

Roto - percutiva (esquema de principio)



Pistón final del recorrido: desplazamiento hacia atrás.
Presión en S1 = P. Presión en S2 = P.



Pistón principio del recorrido: desplazamiento hacia adelante.
Presión en S1 = 0. Presión en S2 = P.



BOOMER 131: máquina de perforación estándar de Atlas Copco para túneles y galerías; lleva tres brazos hidráulicos BUT 14 ó dos brazos y un brazo con plataforma HL para trabajos de regulación, carga y cosido.

Todo esto se traduce en un desgaste relativamente rápido, de modo que, cuando la vida del filo desciende por debajo de 20 m entre dos reafilados, es preferible elegir otro sistema de perforación.

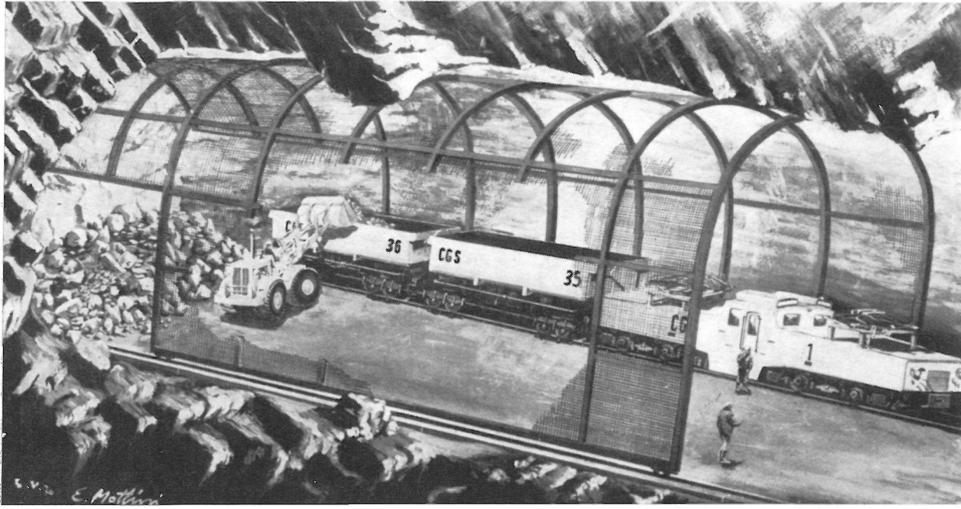
En general un filo puede soportar de 7 a 8 afilados, pero es frecuente, cuando las excavaciones llegan a ser excesivas, observar roturas de plaquitas que hacen el filo inutilizable.

De ahí la iniciativa de constructores, por ejemplo SECOMA, de tratar de buscar una máquina mixta que asocie los principios de la percusión y de la rotación, con esfuerzos totalizando varios años de trabajo, y puesta a punto.

Muchos de los agujeros de mina de pequeño diámetro se ejecutan mediante martillos de aire a percusión rotativa, en los cuales la concepción inicial se inspiraba en la actuación del minero, quien golpeaba su barra de mina con una maza, o su barrena con una maceta, haciendo girar con la mano, entre golpe y golpe, su barra o barrena.

El martillo neumático representa exactamente la mecanización de estos trabajos ancestrales. Desde hace mucho tiempo, el martillo neumático da buenos resultados, pero presenta inconvenientes. Citemos, entre éstos: un ruido considerable, blocajes frecuentes en terrenos difíciles, par de rotación muy endeble, desgaste relativamente rápido de las piezas maestras y elevado consumo de aire para los martillos más pesados.

En percusión rotativa, la herramienta trabaja por desgarramientos sucesivos de la roca. El par entre dos impactos sirve únicamente para limpiar la herramienta y el fondo del agujero de los polvos y restos que produce la trituración.



Cimbras en viguetas en H de la RATP, Metro Express Régional Paris.

Sostenimiento con cimbras Toussaint de tipo clásico, en galerías de sección mediana.

Si, por una razón cualquiera —fisura, plasticidad del terreno, etc.— la trituración se hace mal, el par de rotación llega a ser insuficiente, el martillo se bloquea y la barrena se enclava.

La roto-percutiva tiene por finalidad extender a las rocas duras el principio de «viruta» realizado en perforación rotativa.

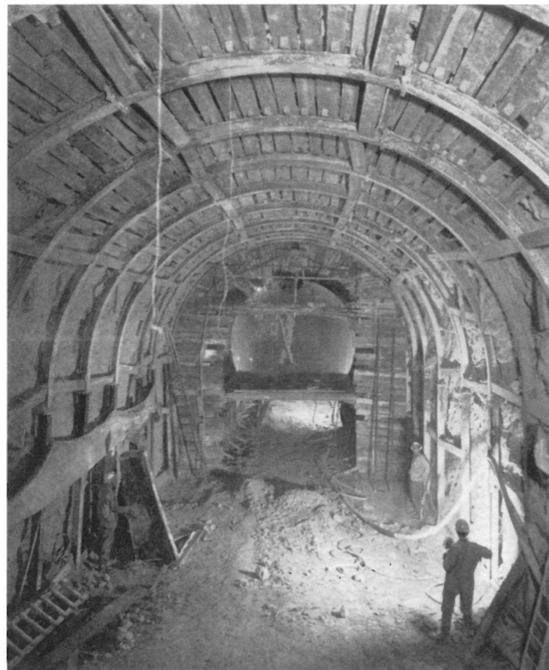
En realidad, se facilita y acelera la formación de esta última por un golpe, o impacto, que añade una acción de trituración al simple efecto de presión que es el principio de la perforación rotativa, donde es esencial poder comparar los parámetros principales, tales como velocidad de rotación, esfuerzo de erupción y energía de golpeo.

Si se llega a un cierto conocimiento de estos diversos efectos y de su repercusión, la perforadora roto-percutiva es, desde luego, susceptible de emplearse en toda clase de terrenos con los mejores resultados prácticos.

Desde hace unos diez años han sido llevadas a cabo numerosas experiencias, de las cuales se dedujo que las perforadoras roto-percutivas son preferidas en el mercado a las máquinas de rotación giratoria.

Las máquinas que hoy día existen utilizan siempre aire comprimido como fuente de energía para el golpeo, lo que corresponde a un exceso de consumo de energía y al ruido del compresor y del martillo, etc.

Vista esquemática de la organización de la evacuación de escombros resultantes de una voladura, utilizando el «sliding floor» (tabla deslizante).



La solución consiste en la puesta a punto de una perforadora roto-percutiva, enteramente hidráulica, que proporciona, para agujeros de 30 a 50 mm de diámetro, resultados por lo menos iguales al mejor martillo conocido, pero con la ventaja de un consumo de energía cinco veces más bajo.

En explotaciones mineras, y en el caso particular del material de perforación subterránea, los gastos relativos a las instalaciones fijas y los de extracción se reducen en grandes proporciones. La infraestructura de una mina que usa el aire comprimido es forzosamente pesada y costosa. El aire comprimido es un mal agente de transmisión de energía.

El bajo consumo de energía hace posible la introducción de jumbos diesel.

Un jumbo soportando dos perforadoras roto-percutivas puede ser arrastrado por un diesel de 100 CV, mientras que máquinas equivalentes equipadas con aire comprimido necesitarían unos 400 CV aproximadamente.

En muchos casos la estancia del personal en la galería llegaría a ser imposible, como consecuencia de una insuficiente ventilación.

La movilidad de los instrumentos de perforación en trabajos subterráneos representa un factor de productividad.

La perforadora roto-percutiva hidráulica R.P.H. 35, tipo SECOMA, que es la propuesta en lo sucesivo, comprende:

- Un grupo de rotación que reúne un motor hidráulico de engranaje y un reductor.

- Un martillo hidráulico.

- Accesorios de empuje y de alimentación, entre los cuales figuran: una válvula de avance, un sistema de tensión flexible, un dispositivo de control automático para el avance y retroceso.

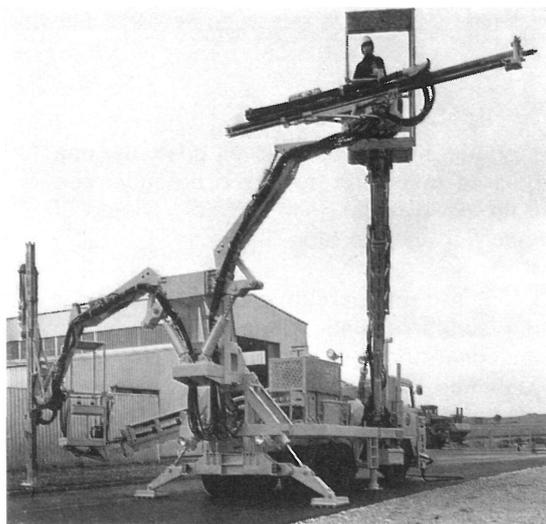
El grupo de rotación arrastrado por un motor de 52 cm³/tr permite hacer variar la velocidad de rotación entre 200 y 600 vueltas/min, posibilidad capital para la perforadora, pudiendo, según las cualidades de la roca, trabajar en perforación rotativa pura a velocidad media, o en perforación percutiva, donde las fisuraciones llegan a ser preponderantes.

El conjunto del golpeo lleva un pistón de recorrido variable y escogido en función del impacto deseado, teniendo en cuenta la energía que la barra de perforación y su filo pueden transmitir a la roca atacada.

El pistón conduce una válvula cuya misión consiste en asegurar la transmisión alternativa de aquél y es guiado tanto en su curso de golpeo como de vuelta.

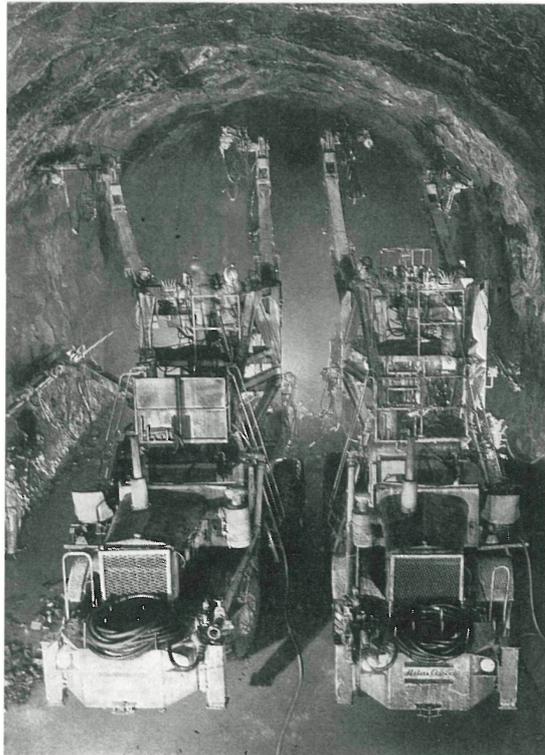
El circuito de alimentación, con objeto de alcanzar una velocidad de impacto importante, lleva, además de la válvula, un acumulador de membrana.

En el circuito de vuelta un acumulador, de las mismas características, reduce los fenómenos vibratorios.



Jumbo Montabert instalado sobre camión.

Equipo de perforación Atlas Copco, tipo Promec T-219, excavando el tramo sur del túnel de carretera del San Gotardo. Cada jumbo lleva cuatro brazos hidráulicos BUT-14.



El pistón hueco permite el paso de una aguja de inyección de aire o de agua, con el fin de evacuar las costras y dejar el fondo del agujero bien limpio.

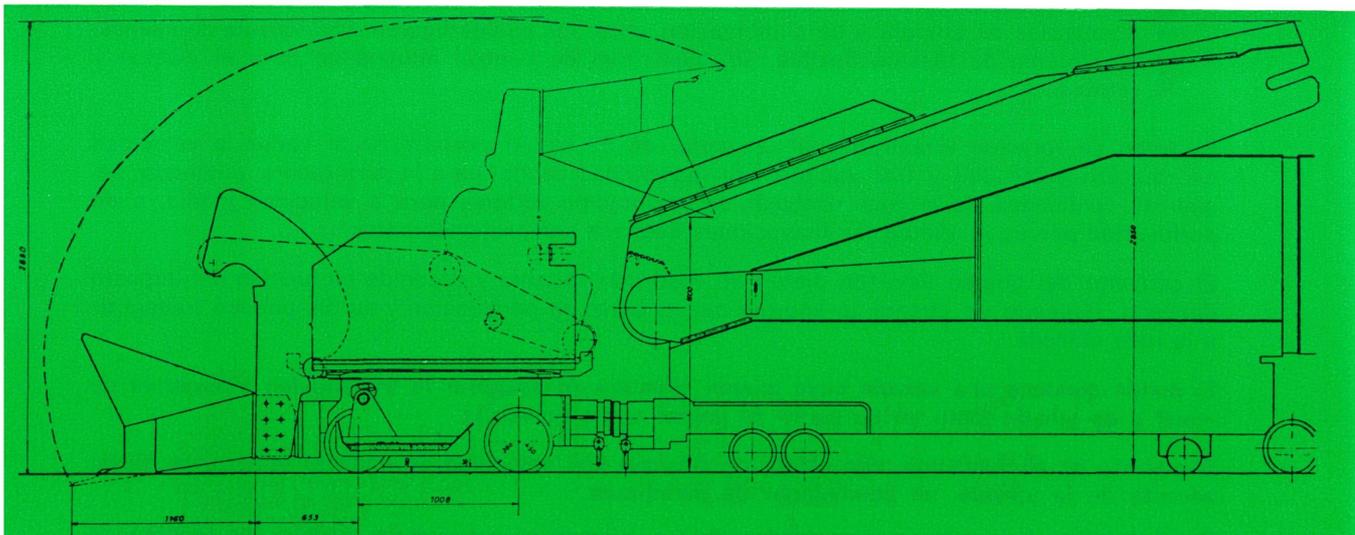
El conjunto roto-percutivo es arrastrado por una válvula regulada, generalmente de 2 a 5 m, constituida por perfiles metálicos en U y, además, por un tornillo de cuerpos hendidos que arrastra la perforadora propiamente dicha mediante una cadena de 32 milímetros de paso y de una polea.

Una vez que la perforadora llega al fin de su recorrido, se pone en marcha automáticamente la parada del golpeo y la vuelta rápida.

Esto se efectúa utilizando sólo la rotación, con el fin de evitar el bloqueo de la barrena en el agujero y, al mismo tiempo, el inconveniente del golpeo en vacío.

El par importante de la roto-percutiva facilita, sin embargo, esta maniobra.

Después de numerosos ensayos se ha podido precisar la división de las variaciones de los diferentes parámetros que hacen a la máquina susceptible de perforar, con el mejor rendimiento, agujeros de 30 a 50 mm de diámetro, utilizando los utensilios clásicos de 25 ó 32 mm.



Cargadora SALZGITTER HL-500, de pala basculante, con capacidad para 0,5 m³, destinada a secciones de galerías superiores a 8 m². La pala vierte en el transportador el contenido de las vagonetas.

He aquí las conclusiones:

· Frecuencia	2.000 a 3.000 golpes/min.
· Velocidad de rotación	200 a 500 tr/min.
· Energía por golpe	15 a 20 kp/m.
· Caudal de aceite necesario para la alimentación del golpe	50 litros/min bajo 50 a 150 bars.
· Caudal de aceite necesario para la rotación	60 litros/min bajo 50 a 150 bars.

O sea, teniendo en cuenta los rendimientos, una potencia media de 35 CV.

En perforación roto-percutiva las velocidades instantáneas van desde 1 m/min hasta 1,20 m/min en los granitos más duros.

Ha sido estudiada una máquina que pueda utilizar las herramientas corrientemente usadas en obras, con los materiales clásicos de perforación, puesto que ésta resulta muy interesante para la Empresa.

Uno de sus factores esenciales de rentabilidad es el bajo consumo de filos y barrenas o barras por metro perforado.

No debe buscarse únicamente la prueba de velocidad en la ejecución de un agujero de mina. Se trata sobre todo de obtener una velocidad media regular al precio más bajo posible.

La aplicación de la roto-percutiva resulta principalmente ventajosa con el jumbo, a la vez independiente y de débil potencia relativa.

Se puede escoger la solución de un montaje del dispositivo en roto-percusión sobre un camión portador, con una armadura capaz de soportar el peso y los esfuerzos. Es importante, en efecto, que la armadura-soporte sea compacta, móvil, y lleve la central de alimentación de la perforadora.

La fuerza puede ser eléctrica, o diesel; a veces diesel-eléctrica, si la Empresa desea una gran movilidad de desplazamiento y, con preferencia, una fuente de energía totalmente apropiada para la ejecución del trabajo de frente.

Tales montajes pueden realizarse con dos, tres o cuatro brazos.

Las condiciones de trabajo son netamente mejoradas por la reducción de ruido (nivel sonoro en plena perforación: 30 decibelios, debajo del supermartillo neumático de 80 a 100 kg).

Asimismo, en los trabajos, la visibilidad es casi perfecta debido a la desaparición de nieblas (montones de polvo) alrededor de la perforadora.

La simplificación de la conducción es tal, que un solo minero puede ocuparse simultáneamente de dos perforadoras.

SECOMA se interesa también por el desarrollo de técnicas de corte utilizando medios de localización, que la han llevado a estudiar un jumbo enteramente automático.

Con un dispositivo muy riguroso de puesta en marcha la precisión, no solamente de los agujeros de corte, sino también del conjunto de la voladura, resulta perfecta.

La perforación percusiva, sin aire comprimido, ha sido estudiada y puesta en práctica, con perforadores hidráulicos, por otra firma de Lyon (Montabert), la cual ha construido un jumbo concebido según esta técnica y capaz de ejecutar agujeros de 45 a 127 mm de diámetro; este último reservado al tapón canadiense o «burn-cut».

Con referencia al modelo más importante, empleado para perforar una de las porciones del túnel de la autopista de Seelisberg, en Suiza, diremos que el volquete EUCLID, tipo R.45, de 50 t de carga útil, con motor GM 650 CV, se ha provisto de una armadura especial soportando a su alrededor seis brazos periféricos de perforación, un brazo central, y dos navcillas con las cuales el minero tiene la posibilidad de acceder en cualquier punto de la galería gran sección. La sección de cada uno de los dos tubos paralelos de este túnel es de 110 m², con una altura de 10 m y un ancho de 12,5 m.

Cada voladura representa, para una longitud de perforación de 4,3 m, un abatimiento de rocas del orden de 500 m³, o sea, un mínimo de 1.000 t.

A partir de este momento se nos plantea el problema de la recogida del cargamento de los escombros y de su evacuación; para ello los medios clásicos son poco eficaces y, por lo tanto, deben ser reformados o totalmente modificados para que el frente sea rápidamente despedazado y el ciclo de perforación pueda reemprenderse en el más corto tiempo posible.

Las grandes secciones facilitan la circulación y el cruce de los grandes camiones.

Es necesario anotar que cuando crece la sección —y en la mayor parte de los terrenos— la tendencia es excavar en dos fases, lo cual trae como consecuencia inmediata limitar el embotellamiento de las máquinas de perforación, permitiendo así un control más riguroso del asiento del techo.

En caso de encontrarnos con terrenos muy malos, el techo queda siempre preparado para una intervención rápida: acoplamiento de tornillos, colocación de cintas metálicas, proyección de hormigón siguiendo la técnica Bernold y sus chapas perforadas.

El abatimiento de los restos se hace en segunda fase con una facilidad elemental, puesto que la bóveda ofrece todas las garantías de seguridad.

La mayoría de los fabricantes de jumbos de gran sección adoptan la solución del camión-volquete tipo EUCLID, el cual permite un desplazamiento rápido de la máquina de perforar.

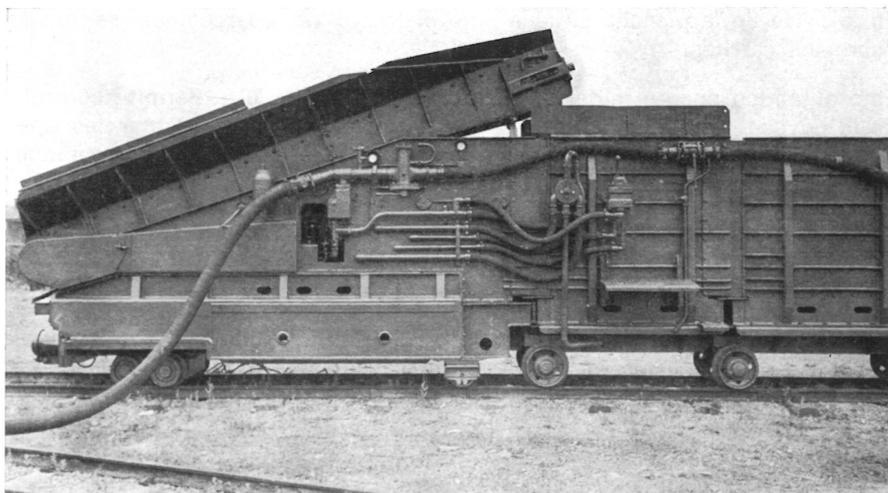
ATLAS COPCO ha seguido el mismo sistema para el montaje de sus equipos PROMEC T.219 trabajando en la excavación de una de las partes del túnel de la carretera de San Gotardo. Han sido elegidos, a tal efecto, los camiones EUCLID 20 t 46 T.D.

La longitud del túnel de carretera de San Gotardo, que unirá la vertiente de Göschenen (Cantón de Uri), al norte, con la de Airolo, en el sur (Cantón de Tessin), será de 16.300 m, a una altitud media de 1.100 m.

El ancho total de las dos calzadas en el túnel ha sido proyectado en 7,8 m.

Por la parte norte la sección excavada del túnel será susceptible de variar entre los 83 y 96 m²; y por la parte sur, entre los 69 y 86 m². Para el conjunto del túnel (no comprendida la galería auxiliar de seguridad y todos sus recodos transversales), el volumen aproximado de la roca abatida totalizará 1.300.000 m³ en granito, gneis y esquistos (pizarras).

Elevador y vagón-tolva, colocado inmediatamente detrás de la pala mecánica. Equipo de un Bunkertrain BZ-40 (Salzgitter).



La terminación de la obra se prevé para 1975, en lo que concierne a excavación, y será abierta al tráfico hacia 1978 ó 1979.

La altura correcta del túnel y su trazado se calculan, al comienzo de cada ciclo de perforación, con la ayuda de cuatro haces laser. Una marca de pintura roja señala el contorno de la pared y los 108 agujeros a realizar.

Una hora después de iniciarse la perforación, y mientras ésta continúa, se comienzan a rellenar de explosivos aquellos agujeros a los que es posible el acceso.

Una vez terminada la perforación es cuando se rellenan de explosivos los últimos agujeros. Antes de la explosión se retiran los jumbos unos 250 m y se colocan detrás del «sliding floor» o tablero deslizante.

La perforación y puesta a punto de los explosivos tienen una duración de 210 min, aproximadamente.

La ventilación se consigue por aspiración. La evacuación completa de los gases se realiza en el plazo de 20 min. Pero tanto la carga de los escombros como la puesta en marcha del sistema de sostenimiento comienzan antes de finalizar la ventilación.

Con el fin de evitar tener que colocar continuamente carriles para el avance, todo el sistema de doble vía y manipulación de agujas de una vía a otra va montado sobre un «sliding floor» que se desliza directamente sobre el suelo. Este dispositivo, usado por primera vez en Europa, tiene una longitud de 241 m y es el más largo concebido hasta la fecha.

A los 125 m más cercanos al frente, el ancho de este tablero deslizante es de 9 m, y se reduce a 4,9 m en la parte de atrás.

El «sliding floor» consta de cinco secciones.

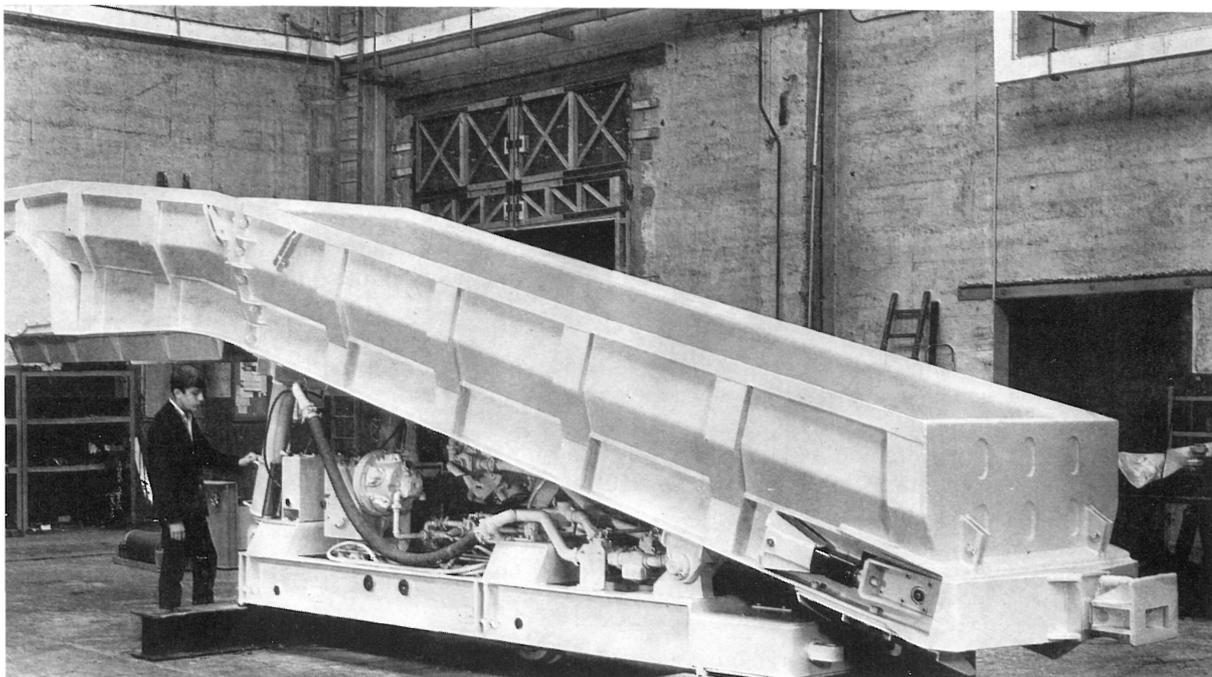
Con la ayuda de gatos hidráulicos incorporados, estas secciones son ripadas 1 m en las proximidades del frente.

En la parte de la plancha situada ante el frente de operaciones se monta el «cover bridge» sobre los carriles.

Este auténtico puente mide 39 m de longitud y pesa 70 t. Permite controlar el comportamiento de la bóveda inmediatamente después de la explosión y efectuar las operaciones de sostenimiento sin perturbar la recogida y evacuación de los escombros, operación que se desarrolla por debajo.

La bóveda es reforzada con pernos de anclaje, colocación de mallas metálicas y hormigón proyectado.

La retirada de escombros cerca del frente se efectúa con la protección del «cover bridge», valiéndose de los cargadoras Caterpillar 960 articuladas sobre neumáticos. Estas cargadoras trabajan una al lado de la otra y retroceden, una después de otra, hasta los vagones donde se vacían los escombros.



Acumulador SOTIM-CAR que sirve de tolva-tapón entre la pala cargadora y las vagonetas sobre vía estrecha, con enganche automático. (Construcción STEPHANOISE).

Fotos: ATLAS COPCO, H. BA ANGER et Cia. y J. C. BOLLIER

Cada uno de los trenes está constituido por tres vagones de 30 m³, arrastrados por locomotoras diesel de 230 CV.

Otros trenes están formados por ocho o diez vagones y son arrastrados por una locomotora diesel-eléctrica 100 CV, de 75 t.

Gracias a este equipo, un ciclo completo —perforación y evacuación de los escombros— requiere un tiempo del orden de las 7 horas.

Se pueden verificar, por tanto, tres ciclos en 20 horas, es decir, un avance de la sección total de unos 10,5 m/día.

Un progreso ha sido alcanzado y podrá ser generalizado con un avance de 14 m diarios a sección plena.

En excavaciones de media sección los jumbos SECOMA, tipo PEC, se caracterizan por su reducida dimensión y por un dispositivo de traslación hidrostática que les proporciona gran flexibilidad, al mismo tiempo que gran seguridad en la maniobra.

Pueden ser utilizados diversos tipos de energía: eléctrica, diesel o diesel-eléctrica.

Estos jumbos, con dos brazos, van generalmente equipados por perforadoras rotativas hidráulicas, y se les puede acoplar perforadoras roto-percutivas hidráulicas si el terreno es demasiado duro.

Abrimos aquí un paréntesis: Este es un equipo bien adaptado, con vistas a las explotaciones mineras subterráneas por el método de las «galerías y pilares», como ocurre con las minas de hierro, sal, yeso e, incluso, plomo-cinc.

En el caso de secciones medias, donde se plantea el problema del cruce de máquinas, recurrimos a la solución del jumbo-cargador.

résumé

Le percement des grands souterrains et les méthodes et engins modernes

Georges Vié, ingénieur civil des Mines

Le percement des grands souterrains, soit pour les galeries de mines, soit pour les travaux publics, doit s'effectuer sur des modèles caractéristiques dans tous ces grands ouvrages, tels que la sécurité, la résistance, l'économie, etc.

Etant donné la différente technique et utilisation des divers engins existants à cette fin, les engins les plus avantageux doivent être choisis dans chaque cas.

L'expérience de plusieurs années de travail et les essais indiquent que, lorsque les roches sont relativement tendres, les meilleurs résultats sont obtenus par la foreuse rotative; en cas contraire, il convient d'utiliser la foreuse roto-percutante.

Dernièrement, on utilise avec succès le jumbo automatique, qui a une grande manoeuvrabilité et qui élimine une partie des inconvénients produits par les foreuses, tels que le bruit, la consommation élevée d'air et les blocages fréquents. Sa force peut être électrique ou Diesel, parfois Diesel-électrique. Son utilisation est fréquente, surtout dans la construction d'autoroutes.

summary

Drilling large underground Tunnels and the modern methods and machines

Georges Vié, mining engineer

The drilling of large underground tunnels, either for mines or public works, should be approached according to patterns characteristic in all these large projects, which are: safety, strength, economy, etc.

Because of the differing techniques and use of the various machines in existence for such an end, the one most advantageous in each case should be chosen.

Experience obtained in several years of work and testing teaches us that when the ground is soft, we obtain the best results with the rotary drill; otherwise, it is advisable to use the rotary-percussion drill.

Finally, the automatic jumbo has been successfully used, which is very maneuverable and eliminates many of the inconveniences produced by drills, such as: noise, high air consumption and frequent jam-ups. It can be fed with electricity, diesel or diesel-electrical power. It is frequently used, especially in turnpikes.

zusammenfassung

Unterirdische Tunnelbohrungen, die Methoden und Modernen Maschinen

Georges Vié, Tiefbauingenieur

Die Bohrungen unterirdischer Tunnel, sowohl für Bergbau- als auch für Strassenbauarbeiten, müssen nach den diesen grossen Bauten eigenen Normen vorgenommen werden. Diese sind: Sicherheit, Haltbarkeit, Wirtschaftlichkeit, usw.

Da es verschiedene Methoden und Maschinen für diesen Zweck gibt, muss für jeden Fall die günstigste ausgesucht werden.

Die Erfahrung, die wir in mehreren Jahren gesammelt haben, sagt uns, dass in weichem Gelände mit dem Umdrehungsbohrer die besten Ergebnisse erzielt werden, während im gegensätzlichen Fall der Gebrauch der Stossbohrmaschinen ratsam ist.

In der letzten Zeit benutzt man mit viel Erfolg den automatischen Jumbo. Dieser ist leicht zu handhaben und schliesst zum Teil die von den Bohrmaschinen hervorgerufenen Nachteile aus: Lärm, hoher Luftverbrauch, häufige Sperrungen. Er wird mit elektrischer, Diesel-elektrischer Energie gespeist. Man benutzt ihn häufig, besonders im Autobahnbau.