

Comparación entre los distintos sistemas de perforación (*)

Por JOSE BERNAOLA ALONSO

Doctor Ingeniero de Minas
Compair Holman Ibérica, S. A.

En la perforación de rocas se han intentado sistemas muy diversos de tipo mecánico, térmico o químico, siendo los del primer grupo los más frecuentes y a cuyo estudio se dedica el artículo, tanto a los de percusión, neumática e hidráulica, como a los de rotación, por corte o con tricono, analizándose el campo de aplicación de los distintos sistemas.

1. INTRODUCCION

Tanto la ingeniería minera como la de obra civil, han necesitado continuamente disponer de taladros en roca para muy diversas finalidades (exploración, drenajes, sostenimiento, colocación de explosivos, etc.).

Debido a ello, la técnica de la perforación, ha sido ampliamente investigada, aunque, a veces, por la complejidad del fenómeno, tengamos la sensación de estar hablando de un «arte» basado en la intuición más que de una ciencia con base experimental.

Como éste es un punto no demasiado divulgado, quizá sea útil empezar, a modo de introducción, mencionando aunque sea someramente los muchos sistemas de perforación que se han ensayado, para, a continuación, separando aquéllos que están aún a escala de laboratorio ó a escala industrial reducida, centrarnos con detalle en los que son de aplicación cotidiana.

Puede decirse con fundamento que la perforación en roca se ha intentado por todos los medios imaginables. Todo tipo de energía (mecánica, térmica, química, atómica) ha tratado de aplicarse a la roca para conseguir su perforación. Así, a nivel experimental, existen sistemas de perforación mecánicos, térmicos y químicos. Si sólo unos pocos han alcanzado el nivel industrial es debido a que las altas «ener-

gías específicas de fragmentación» (energías por unidad de volumen de roca perforada), hacen los demás antieconómicos.

Entre los sistemas mecánicos se incluyen no sólo los más comunes y por todos conocidos, sino también otros tan curiosos como el bombardeo con pequeñas cápsulas explosivas, los impactos con esferas huecas o pellets de acero, las ondas de presión creadas por descargas eléctricas, el efecto de cavitación creado por ultrasonidos o el chorreo con sólidos o líquidos a presión. Las limitaciones de potencia de estos sistemas o las dificultades para trasladar estas energías al fondo del taladro, han relegado la mayoría de estas técnicas al plano de laboratorio.

Los sistemas térmicos tratan de conseguir la degradación de la roca en lascas, como consecuencia de los esfuerzos producidos por las diferentes dilataciones de los granos y cristales que la componen. La eficacia de estos sistemas depende enormemente del tipo de roca y de sus características tales como la conductividad térmica, el calor específico, el tamaño de grano, el coeficiente de dilatación, etc. No obstante, aunque limitados a determinado tipo de rocas, algunos de estos sistemas como el jet-piercing, conocido como soplete o lanza térmica, se han introducido industrialmente para perforar o cortar ciertas rocas como las taconitas y el granito, puesto que la energía específica de fragmentación en ciertos casos (1500 jul/cm^3), se aproxima algo a la de los métodos mecánicos convencionales.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de octubre de 1988.

Otros sistemas térmicos, basados en el rayo láser, el arco eléctrico o la fisión nuclear consiguen la desintegración de la roca por medio aún más drásticos como con su fusión o vaporización. Pero la energía específica con estos métodos se eleva por encima de los 5.000-10.000 julios/cm³.

Por último, existen sistemas químicos que utilizan flúor u otros halógenos para provocar reacciones químicas rápidas que disuelven la roca, pero el costo y complejidad de manejo de los reactivos hacen estos sistemas inviables industrialmente.

Descartados a nivel industrial por una u otra razón los métodos mencionados anteriormente nos quedan los métodos mecánicos convencionales (percusión y rotación) cuya eficiencia se enmarca en energías específicas por debajo de los 1000 julios/cm³ y de los que nos ocuparemos a continuación.

2. SISTEMAS DE PERFORACION A PERCUSION

Esta denominación engloba todas aquellas formas de perforación en las que la fragmentación de la roca se produce básicamente por impacto de un útil de filo más o menos aguzado sobre la misma.

Puede decirse con una gran aproximación que la velocidad de perforación es proporcional a la potencia de percusión (producto de la energía de impacto por la frecuencia de golpes). En cambio la rotación y el empuje son meras acciones auxiliares, que, siempre y cuando se superen unos valores mínimos necesarios para espaciar convenientemente los puntos de incidencia de los impactos y mantener el útil de perforación en contacto con la roca, influyen relativamente poco en la velocidad de perforación.

El martillo es el elemento que proporciona la percusión mediante el movimiento alternativo de una pieza de choque, el pistón, que sucesivamente golpea sobre el utillaje de perforación.

El pistón puede ser accionado por aire comprimido (perforación neumática) ó por aceite hidráulico (perforación hidráulica).

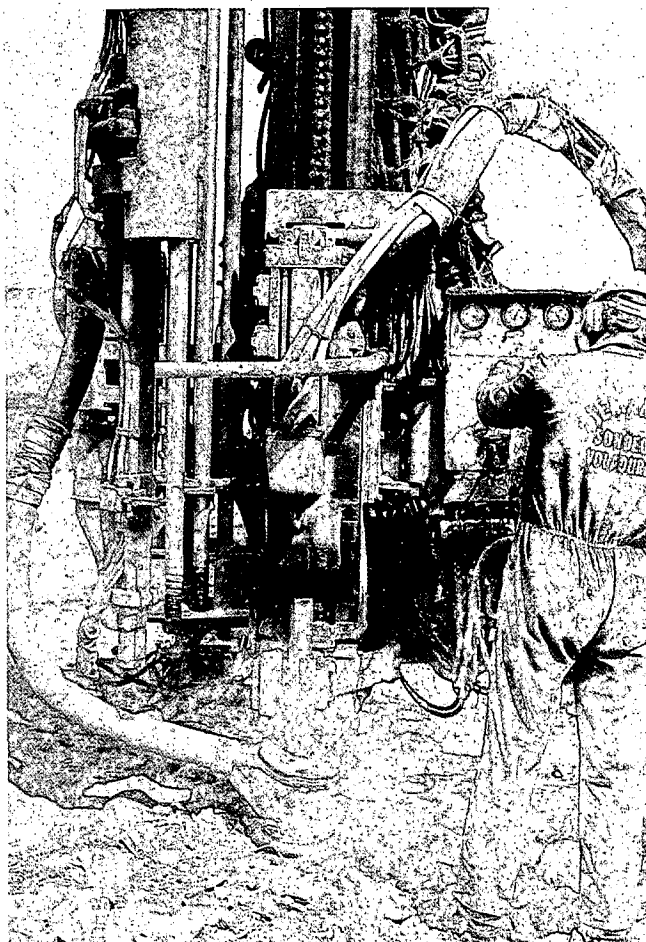
2.1. Perforación neumática

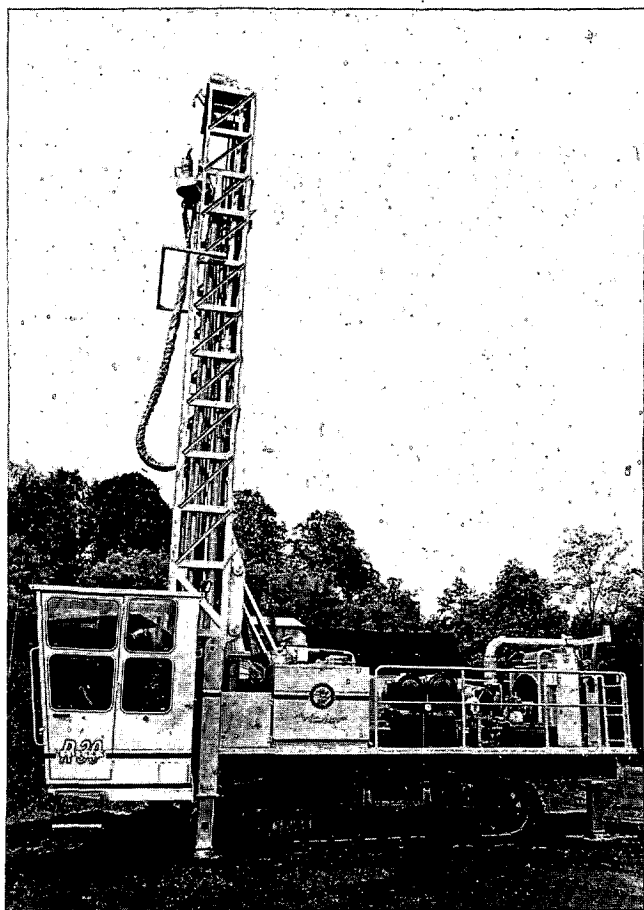
Como se indicaba anteriormente el fluido de accionamiento es aire a una determinada presión normalmente comprendida entre 7 y 25 bars.

Existen dos alternativas: que la percusión se produzca fuera del taladro y se transmita a la broca a través de la sarta de varillaje (martillo en cabeza) ó que el martillo se sitúe en el fondo del taladro, golpeando así el pistón directamente sobre la broca (martillo en fondo).

2.1.1. Martillo en cabeza

Son perforadoras diseñadas para trabajar mediante aire a 7/8 bar de presión máxima. Como consecuencia y al objeto de disponer de una energía de impacto suficiente, el área de trabajo del pistón ha de ser grande. (Téngase en cuenta que la energía de impacto viene dada por el producto de tres factores: presión efectiva, área y carrera del pistón). El perfil lon-





gitudinal del pistón tiene por tanto forma de T. El martillo en cabeza incorpora también el mecanismo de rotación que según tamaños y diseños puede ser independiente o no del de percusión.

2.1.2. Martillo en fondo

Son perforadoras que, a diferencia de los martillos en cabeza van situadas en el interior del taladro e incorporan únicamente el mecanismo de percusión (los elementos que proporcionan la rotación y el empuje son del todo independientes y están situados en superficie). El hecho de situar el martillo en el fondo del taladro impone una serie de limitaciones geométricas, de las cuales quizá la más significativa es la importante reducción del área de trabajo del pistón. Si, por ejemplo, para un diámetro de perforación de 104 mm., el martillo en cabeza adecuado tiene 150-200 mm de diámetro de pistón y un área de trabajo de 175-300 cm², el martillo en fondo correspondiente a ese diámetro de perforación apenas podría te-

ner un pistón de 70 mm. de diámetro y un área de trabajo 5-6 veces menor que la mencionada anteriormente.

Esto significa que la energía de impacto y como consecuencia la potencia de percusión de un martillo en fondo es en general inferior a la disponible con un martillo en cabeza para igual diámetro de perforación. De esta forma, la única manera de compensar ésta desventaja que supone la pequeña área de trabajo del martillo en fondo, es diseñar estos martillos de modo que sean capaces de utilizar aire a media (10-14 bar) o alta presión (17-25 bar).

Las restricciones que impone el martillo en fondo en cuanto al diámetro de pistón, son mayores en los pequeños diámetros de perforación, de manera que puede afirmarse que los martillos en fondo de mayor diámetro son más efectivos que los de pequeño diámetro. Igualmente puede decirse que para diámetros de taladro inferiores a 80mm., no existen martillos en fondo con rendimiento aceptable.

Sin embargo, no todo son desventajas para el martillo en fondo, que tiene también ventajas importantes comparado con el martillo en cabeza neumático. Tales son:

- Velocidad de perforación prácticamente constante e independiente de la profundidad. Con el martillo en cabeza, en cambio, se pierde aproximadamente el 10 por 100 de la energía disponible en cada varilla, de forma que la velocidad de perforación va disminuyendo con la profundidad en igual proporción.
- Mejor aprovechamiento de la energía neumática al aprovechar el escape del martillo como aire de barrido para la evacuación del detritus.
- Menor nivel de ruido.
- Menor fatiga de la sarta de barras de perforación.

2.2. Perforación hidráulica

Los martillos en cabeza hidráulicos (no existen en la actualidad martillos en fondo hidráulicos) funcionan con aceite hidráulico a 100-250 bars de presión. Esta alta presión, 15 a 35 veces superior a la del aire en los martillos neu-

máticos, permite un área de trabajo del pistón muy pequeña, prácticamente reducida a un insignificante resalte del pistón, que adquiere así un perfil longitudinal casi rectangular y muy estilizado.

Este pistón, por su forma geométrica, distinta de la de un pistón de martillo neumático, genera una onda de tensión sobre el varillaje también diferente. Se trata de una onda de forma casi rectangular, sin el pico que la parte más ancha del pistón originaba en los martillos neumáticos.

De esta manera puede aplicarse de un 50 a un 100 por 100 más de potencia de percusión sobre el varillaje sin incrementar la fatiga del mismo. Este aumento de potencia permite perforar más rápido o, lo que es más interesante aún, incrementar el diámetro de perforación con una sustancial mejora de la producción.

La perforación hidráulica presenta además otras ventajas sobre la neumática, como son:

- Menor consumo energético. Una perforadora de exterior hidráulica, por ejemplo, con doble potencia que una neumática, puede tener aún hasta un 25 por 100 menos de potencia instalada, debido al mejor rendimiento que los equipos hidráulicos tienen en comparación con los neumáticos.
- Mejora de las condiciones ambientales al reducirse el nivel de ruido, especialmente en las bandas de baja frecuencia, que son las menos amortiguadas por los protectores auditivos.

3. SISTEMAS DE PERFORACION A ROTACION

Bajo esta denominación se agrupan todas aquellas formas de perforación en las que la fragmentación de la roca se produce básicamente por compresión, corte ó por la acción combinada de ambos. Un empuje sobre el útil de perforación, que supere la resistencia a la compresión de la roca y un par de giro que origine su corte por cizalladura son las dos acciones básicas que definen la perforación rotativa.

Dependiendo del tipo de útil que se emplee,

existen dos variantes distintas de perforación rotativa: perforación rotativa por corte (con trialeta, boca de tenedor, etc.) y perforación rotativa con tricono.

Cabría aún mencionar una tercera variante, que es la perforación con corona de diamante basada en la conminución de la roca por la acción combinada de compresión y abrasión. Sin embargo, por tratarse de una modalidad que únicamente se aplica a los sondeos con obtención de testigo, la consideraremos fuera del ámbito de este estudio, que trata sólo de comparar aquellos métodos enfocados al arranque por voladura.

3.1. Perforación por corte

Incluye todas las formas de perforación rotativa mediante útiles, cuya estructura de corte está formada por elementos de carburo de tungsteno, convenientemente dispuestos en la herramienta de perforación, en la cual ocupan unas posiciones fijas. Este útil dependiendo de su forma y tipo de aplicación, recibe distintas denominaciones (trialeta, broca de tenedor, etc.).

La fragmentación de la roca en este tipo de perforación parece originarse principalmente como consecuencia de los esfuerzos de cizalladura generados. Consecuentemente la velocidad de perforación varía de forma proporcional con la velocidad de giro. También es proporcional a la fuerza de empuje, pero siempre y cuando ésta no supere un cierto valor límite que haga a la broca hundirse tanto dentro de la formación, que quede virtualmente atascada.

En cualquier caso, cabe mencionar aquí, que las velocidades de perforación obtenidas con este sistema, en las contadas aplicaciones en que es viable, son muy superiores a las que se obtendrían con un sistema a percusión.

La razón hay que buscarla en el hecho de que este tipo de perforación rotativa es un proceso de corte de la roca casi continuo, mientras que, en la perforación percusiva, la fragmentación de la roca ocupa escasamente el 15 por 100 del ciclo del martillo.

La principal limitación de este tipo de perforación radica en el fuerte incremento que ex-

perimentan tanto el par de giro como el desgaste del útil a medida que aumenta el diámetro de perforación ó la dureza de la roca.

3.2. Perforación rotativa con tricono

Su desarrollo se inició en los pozos de petróleo. La necesidad de que fueran cada vez más profundos, con el incremento en cuanto a diámetro inicial de perforación y dureza de las formaciones a atravesar que ello conlleva, indujo a pensar en la conveniencia de disponer de unos elementos de corte móviles que permitieran a la vez perforar con menos par y reducir los desgastes. Esta nueva herramienta era el tricono.

El tricono, fragmenta la roca por compresión y cizalladura. La velocidad de perforación que con él puede obtenerse es prácticamente proporcional al producto de la fuerza de empuje por la velocidad de rotación.

Sin embargo, para conseguir una perforación efectiva es necesario que el empuje aplicado sobre el tricono sea suficiente para vencer la resistencia a la compresión de la roca. En este punto radica precisamente la mayor limitación de este tipo de perforación, ya que los rodamientos de los conos han de resistir durante un tiempo prudencial (al menos 50 horas de trabajo), los fuertes empujes que impone la perforación de las rocas más duras. En un tricono de gran diámetro se dispone normalmente de espacio suficiente para dimensionar estos rodamientos, pero en tamaños más pequeños la cuestión es más problemática.

4. CAMPO DE APLICACION DE LOS DISTINTOS SISTEMAS DE PERFORACION

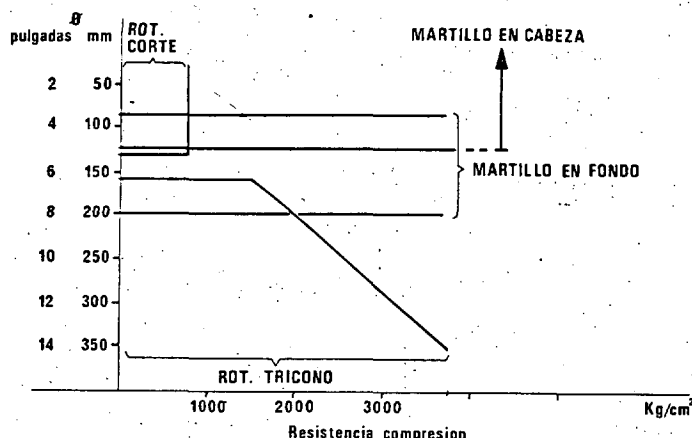
Empezaremos por el sistema de rotación por corte, que como apuntábamos, es el más rápido de todos cuando puede aplicarse. Sin embargo, está limitado a rocas muy blandas (siempre por debajo de 600 kg/cm² de resistencia a la compresión), nada abrasivas (menos del 8 por 100 de contenido en sílice) y en diámetros pequeños (inferiores a 150 mm.). En estas condiciones cabe señalar que estaríamos también

dentro del campo de competitividad de los sistemas de arranque mecánicos (ripado y rozado), lo que reduce aún más el campo de aplicación de esta técnica de rotación por corte.

La perforación con tricono, en máquinas de producción, rara vez se utiliza en diámetros inferiores a 6" (150 mm), debido al problema de dimensionado de los rodamientos que antes señalábamos. A partir de ahí, tal y como se indica en el cuadro adjunto será necesario ir incrementando el diámetro de perforación a medida que aumente la dureza de la roca. En grandes diámetros puede decirse que el tricono no tiene hoy por hoy competencia.

El martillo en fondo se utiliza básicamente en la gama de 80-200 mm. de diámetro. En diámetros inferiores serían muy poco eficientes y en diámetros superiores requerirían compresores excesivamente grandes. En principio puede utilizarse en cualquier tipo de roca sin más limitaciones que las que cualquier sistema de perforación tendría en el caso de una formación fracturada que dificultase ó imposibilitase el barrido. No obstante, su utilización en rocas duras suele ser problemática por su menor velocidad de perforación a baja y media presión y porque, debido a la abrasión, el martillo puede convertirse en un elemento de desgaste de alto costo.

El martillo en cabeza se utiliza generalmente en diámetros menores de 125 mm., debido principalmente a que, con los pequeños diámetros de varillaje de que se dispone, sería difícil el barrido de taladros mayores. No obstante, se han desarrollado ya tubos capaces de resistir los esfuerzos de los martillos en cabeza hidráulicos,



que sustituyen a las varillas tradicionales y permiten ampliar el campo de aplicación de estos equipos a diámetros mayores. Al igual que el martillo en fondo el martillo en cabeza puede utilizarse en cualquier tipo de roca, si bien su mayor potencia de percusión le hace más interesante en las rocas más duras. Sus limitaciones se circunscriben a los taladros largos donde se hacen más patentes las mayores desviaciones y la pérdida progresiva de velocidad que son consustanciales a este tipo de perforación.

5. COMENTARIO FINAL

En el presente artículo se ha tratado de delimitar de una forma razonable los distintos campos de aplicación de todos los sistemas de perforación utilizados en la actualidad.

De forma gráfica, se han representado en función del diámetro y de la resistencia a la compresión de la roca, como indicativo de su dureza o perforabilidad. Sin embargo, dicho gráfico ha de tomarse sólo a título orientativo, pues la resistencia a la compresión, siendo quizá el índice de caracterización de las rocas de uso más común, correlaciona mal con su perforabilidad.

No obstante, puede apreciarse que existen bastantes áreas de solape donde hay dos y hasta tres sistemas posibles.

En tales circunstancias, la elección del sistema óptimo, requiere un estudio más profundo del problema a la luz de una serie de variables que en este artículo no han sido consideradas.

Unos ensayos de perforabilidad y abrasividad de la roca en cuestión, por ejemplo, permitirían evaluar aspectos tan importantes como son:

La velocidad de perforación y consiguiente capacidad de producción con cada tipo de máquina.

Los desgastes y duración media que puede esperarse de los accesorios de perforación empleados.

A partir de estos datos y teniendo en cuenta la magnitud y otras peculiaridades del proyecto, podría determinarse con rigor cuál sería el sistema óptimo.

BIBLIOGRAFIA

1. «New Drilling Techniques» Dr. WILLIAM C. MAURER. (Pergamon Press).
2. «TAMROCK handbook on Surface drilling and blasting». (1984).

José Bernaola Alonso



Doctor Ingeniero de Minas. Desarrolla actualmente su actividad profesional en el ámbito de la Minería y Obras públicas a través de Compair Holman Ibérica, S. A.

Es también profesor del Departamento de Explotación de Minas de la E.T.S. de Ingenieros de Minas de Madrid.