

EXPLORACIÓN: MÉTODOS DE PERFORACIÓN

La perforación o sondajes constituyen la culminación del proceso de exploración de minerales mediante el cual se define la tercera dimensión de un prospecto y su geometría en el subsuelo. La perforación proporciona la mayor parte de la información para la evaluación final de un prospecto y en última instancia, determinará si el prospecto es explotable económicamente. Los análisis químicos de las muestras de testigos sondajes son la base para determinar la ley media del depósito mineral. El cuidadoso registro de las muestras de testigos de sondajes ayuda a delinear la geometría y el cálculo del volumen de mineral y proporciona importantes datos estructurales. Los dos principales tipos de perforación son de diamantina (DDH) y los de aire reverso o circulación inversa (RC).

Perforación diamantina.

La perforación diamantina utiliza un cabezal o broca diamantada, que rota en el extremo de las barras de perforación (o tubos) (Fig. 1). La abertura en el extremo de la broca diamantada permite cortar un testigo sólido de roca que se desplaza hacia arriba en la tubería de perforación y se recupera luego en la superficie. Los tamaños estándares básicos son 7/8 pulgadas (EX), 13/16 pulgada (AX), 1 5/8 pulgadas (BX) y 2 1/8 pulgadas (NX). La mayoría de barras de perforación son de 10 pies de largo (3,048 m). Después de los primeros 10 pies de perforación, se atornilla una nueva sección de tubo en el extremo superior y así sucesivamente. El cabezal diamantado gira lentamente con suave presión mientras se lubrica con agua para evitar el sobrecalentamiento. La profundidad de perforación se estima manteniendo la cuenta del número de barras de perforación que se han insertado en la perforación.



Fig. 1. Cabezal de perforación de diamantina.

El perforador escucha la máquina de sondaje con mucho cuidado para evaluar la condición de la perforación abajo. Ajustará la velocidad de rotación, la presión y la circulación de

agua para diferentes tipos de roca y las condiciones de perforación con el fin de evitar problemas, tales como que quede la broca atascada o recalentamiento del cabezal diamantado. Las rocas muy fracturadas (a menudo encontradas cerca de la superficie), además del riesgo que las barras se atasquen, pueden dejar escapar el agua, con el consiguiente recalentamiento de la broca. El problema se reduce al mínimo mediante la inyección de "lodo de perforación" (o aserrín u otros materiales) en la perforación para "tapar" las fracturas y evitar la fuga de los fluidos.

Dentro de la tubería de perforación hay otro tubo interno, que tiene un mecanismo de cierre conectado a un cable de acero. Al final de cada serie de 10 pies, el cable se utiliza para izar el tubo que contiene el testigo de roca a la superficie donde se puede recuperar. El testigo se almacena en cajas especialmente diseñadas que contienen compartimentos para mantener secciones del testigo. Las cajas estándar son de 2,5 pies de largo (0,762 m) y contienen cuatro compartimentos, así que permiten almacenar tres metros de testigo en cada caja, pero también hay cajas de 3,3 pies de largo (1,02 m) con 3 compartimientos.

El testigo de perforación primero se lava y se registra ("loguea") por un geólogo calificado, y luego se divide por la mitad para obtener una muestras para los análisis geoquímicos. Para obtener un testigo de sondaje se requiere gastar mucho tiempo, esfuerzo y dinero, por lo que su estudio y registro debe hacerse con mucho cuidado. Se utiliza un formulario de "logueo" (registro) normalizado para mapear el testigo. El formulario tiene columnas para cada uno de los tipos de información que se registra, con marcas de graduación indicando el metraje. La información generalmente incluye el % de recuperación, litología, alteración, mineralización, los datos de calidad de la roca (RQD), y detalles estructurales. A pesar que el rumbo y manto de estructuras planas, como estratos, foliación, fallas y vetas respecto al eje del sondaje no se conocen, el ángulo de estas estructuras con respecto al eje del sondaje se registra, ya que proporciona información valiosa acerca de la geometría de las estructuras en sub-superficie. También se pueden realizar pruebas de minerales, incluyendo prueba de fluorescencia (para scheelita), pruebas de efervescencia con HCl diluido (carbonato de alteración), o tinción de minerales (feldespatos o carbonatos). A menudo, el sondaje también se fotografía para un registro gráfico. El % de recuperación es el cociente entre la longitud del testigo real comparado con el intervalo de perforación indicado. Los

huecos y zonas de fractura pueden causar una pobre recuperación. Por ejemplo, si una perforación de 3 m obtiene 2,4 m de testigo, la recuperación es del 80%. Los logueos de sondajes se utilizan para construir las secciones de perforación (secciones que muestran los sondajes), las que ilustran la geometría del subsuelo del yacimiento. La tendencia actual es la creación de registros de perforación en formato digital o de hoja de cálculo, lo que facilita la construcción de tramos de perforación mediante computador. En algunos casos el registro se realiza directamente en un “Tablet PC” y es transferido directamente a una base de datos central evitando errores de transcripción de los datos de logueo.

El testigo se divide mediante una sierra diamantada o por un partididor (“splitter”) de impacto. Siempre existe el problema de obtener una fracción representativa del testigo y debe tenerse gran cuidado para evitar este problema. A veces el testigo se analiza en su totalidad para evitar este problema, pero por lo general se conserva la mitad en una testigoteca como evidencia. En algunos casos, una serie de pequeños chips o fragmentos se recogen a lo largo de la longitud del testigo para formar un "esqueleto" con fines de archivo.

Perforación con aire reverso (RC)

La perforación con aire reverso es fundamentalmente diferente de la de diamantina, tanto en términos de equipo y toma de muestras. La principal diferencia es que la perforación de aire reverso crea pequeñas astillas de roca en lugar de un testigo sólido. Otras diferencias importantes son en la tasa de penetración y el costo por metro perforado. El aire reverso es mucho más rápido que la perforación diamantina, y también mucho menos costosa.

La perforación con aire reverso requiere de un equipo mucho más grande, incluyendo un compresor de aire de alta capacidad, usualmente montado en un camión. El aire comprimido es inyectado hacia una cámara exterior de un tubo o barra de perforación de doble pared (Fig. 2). El aire comprimido regresa por el interior del conducto central de las barras de doble pared y arrastra hasta la superficie los fragmentos de roca (“cuttings”) donde se recuperan. Las astillas o fragmentos de rocas viajan a una velocidad tan alta que es preciso disminuirla utilizando un ciclón. La tubería de retorno dirige el flujo de fragmentos de roca a deslizarse por la pared interior de la cámara del ciclón y luego hacia

abajo en espiral hasta la parte inferior del ciclón, perdiendo velocidad en el proceso. La roca molida (cuttings) se recoge continuamente a medida que avanza la perforación y constituyen la muestra del subsuelo. Las barras de perforación para aire reverso son por lo general ya sea de 6" (15,2 cm) y 8" (20,3 cm) de diámetro y 20 pies de largo (6,096 m). Cada barra es muy pesada y requiere el uso de una grúa o "winche" para levantarla y colocarla sobre el agujero de perforación.

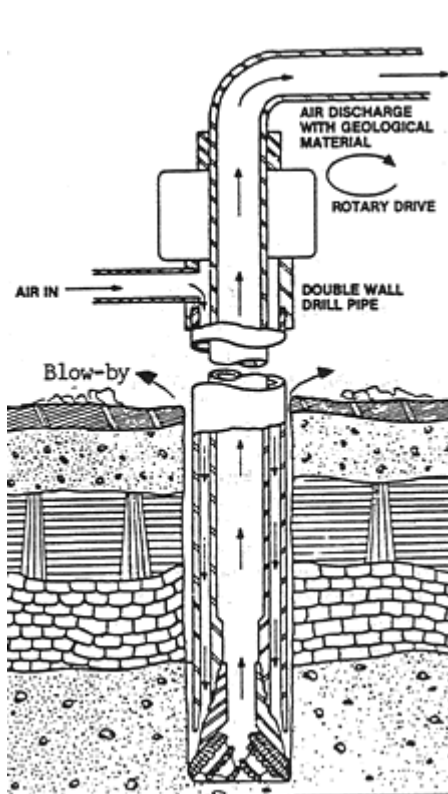


Fig. 2. Esquema de sondaje de aire reverso con cabezal de tricono, mostrando el flujo de aire comprimido a través de las barras de doble cámara.

Los cabezales de perforación de aire reverso también son totalmente diferentes a las brocas diamantadas. Un tipo de cabezal se llama martillo que pulveriza las rocas golpeándolas repetitivamente. Este tipo de cabezal que funciona bien en condiciones de perforación en seco (es decir, por encima del nivel freático) y en las formaciones rocosas que son densas y duras. Por debajo del nivel freático, el agua subterránea actúa como amortiguador y hace mucho menos eficaz la fragmentación de las rocas mediante este cabezal. Otro tipo de cabezal, llamado tricono, cuenta con tres conos dentados rotatorios que giran juntos, como

el diferencial de los engranajes en una transmisión de los automóviles. Los triconos son más lentos para perforación en formaciones duras, pero son muy eficaces en formaciones blandas y en condiciones de perforación húmeda.

Las muestras de roca molida proveniente de la perforación se recogen generalmente en intervalos de 1,5 o 2 m. El gran diámetro de la perforación se crea un gran volumen de material para cada muestra, que suele ser dividida en terreno para obtener un volumen razonable de manejar y enviarla al laboratorio para su análisis. En condiciones de perforación en seco (por encima del nivel freático) se utiliza un cuarteador para dividir la muestra en terreno (Fig. 3).

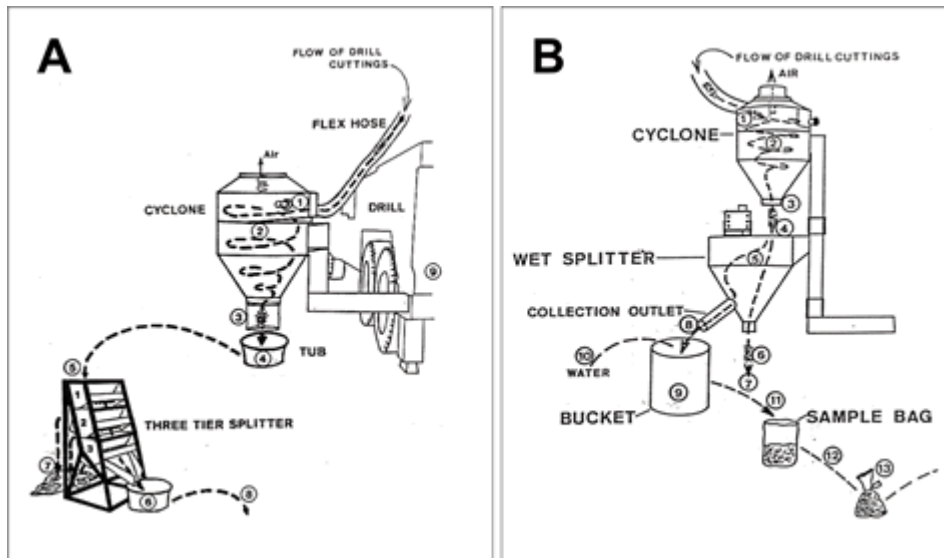


Fig. 3. Extracción de muestras y cuarteo de muestras en perforación de aire reverso; (A) en condiciones secas y (B) con agua.

Por lo general, se recoge $1/8$ del total recogido. El cuarteador se compone de niveles, cada uno de los que divide la muestra a la mitad. Después de la división tercer nivel $1/8$ de la muestra total original permanece, que se recoge en un recipiente o un cubo. Cuando la perforación llega a la profundidad del nivel freático, se puede utilizar un cuarteador rotativo "húmedo" (Fig. 3). El separador húmedo gira y divide la muestra utilizando una serie de aletas, de forma similar a las aletas de una turbina. Estas dirigen los materiales a una tubería que los canaliza hacia un balde.

Pequeñas muestras representativas de los cuttings se recogen de forma continua durante el proceso de muestreo, se lavan en un colador y se colocan en cajas de plástico con compartimientos llamados "bandejas de cuttings". Los cuttings son cuidadosamente observados y registrados por un geólogo competente. Por supuesto, algunos tipos de información, como detalles estructurales, no son posibles de obtener en ausencia de roca sólida. A pesar de esta desventaja, todavía se puede obtener una gran cantidad de información valiosa de los fragmentos de roca o cuttings. Por ejemplo, los cuttings son mucho más fáciles de examinar con una lupa binocular y pruebas de la fluorescencia o efervescencia se logran fácilmente.

Secciones de sondajes

Los datos de sondajes se interpretan mediante la construcción de secciones, que muestran los sondajes en un perfil vertical análogo a secciones geológicas. La construcción de la sección comienza de la misma manera como un perfil geológico, mediante la creación de un perfil topográfico. Entonces las ubicaciones de los "collares" (lugares donde el taladro penetra en el suelo) se plotean a lo largo del perfil topográfico. Una perforación vertical (descenso = -90 grados) se trazará como una línea vertical y los sondajes inclinados en ángulo que muestra la inclinación adecuada. La longitud de la línea(s) que ilustran los sondajes están determinadas por la escala de la sección. Por ejemplo, si la escala de la sección es de $1 \text{ cm} = 10 \text{ m}$, un sondaje con una profundidad total de 100 m será representado por una línea de 10 cm de largo.

Los sondajes que no están situados exactamente a lo largo de la línea de la sección pueden ser "proyectados" sobre el plano de la sección (a una distancia razonable) (Fig. 4). La proyección se realiza a lo largo de una línea perpendicular a la línea de la sección de perforación. Si un sondaje inclinado no se hunde directamente en el plano vertical de la sección de perforación su inclinación en la sección aparecerá como un manto o buzamiento aparente. El ángulo de inclinación aparente es siempre menor que la inclinación verdadera. El buzamiento aparente es función de la inclinación verdadera del sondaje y el ángulo entre la línea de la sección y el azimuth del sondaje en planta (Cuadro 16 - 1).

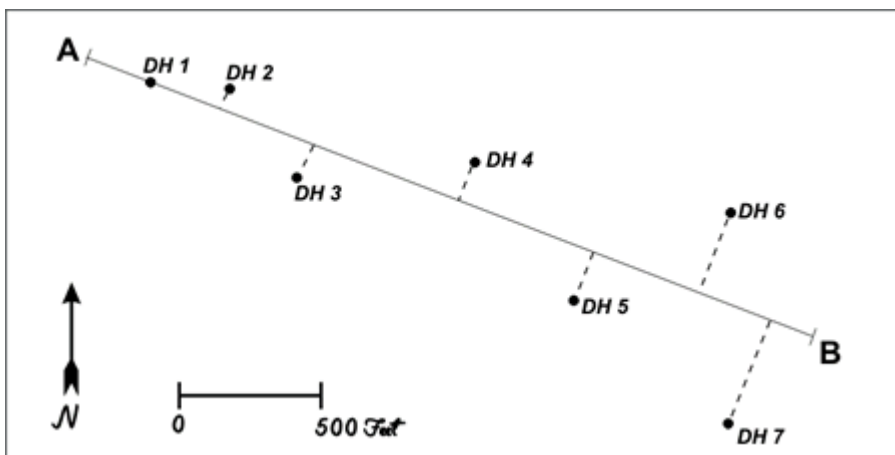


Fig. 4. Mapa mostrando la ubicación de los collares y la proyección de varios sondajes en una línea de una sección de sondajes.

Si un sondaje cruza una zona mineralizada tabular o de la capa de roca en un ángulo de 90 grados, entonces el espesor de la zona o capa medido en el sondaje o registrados en el logueo del sondaje representa el espesor "verdadero". Si la perforación cruza la zona o capa en cualquier ángulo inferior a 90 grados, entonces el espesor observado es llamado "el espesor aparente". El espesor real de la zona mineralizada debe ser conocida a fin de calcular el volumen de la zona (volumen = largo x ancho x grosor). Si se conocen la inclinación de la zona mineralizada y la inclinación de la perforación, entonces el espesor real se puede calcular utilizando la trigonometría simple.

Angle of Fall Dip	Angle Between Drill Section Line and Drill Hole Trace																
	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	89°
10°	9° 51'	9° 40'	9° 24'	9° 5'	8° 41'	8° 13'	7° 41'	7° 6'	6° 28'	5° 46'	5° 2'	4° 15'	3° 27'	2° 37'	1° 45'	0° 53'	0° 16'
15°	14° 45'	14° 31'	14° 8'	13° 39'	12° 34'	12° 28'	11° 56'	10° 4'	9° 46'	8° 44'	7° 28'	6° 28'	5° 14'	4° 33'	3° 40'	2° 40'	1° 16'
20°	19° 43'	19° 25'	18° 53'	18° 15'	17° 30'	16° 36'	15° 35'	14° 25'	13° 10'	11° 48'	10° 19'	8° 45'	7° 6'	5° 23'	3° 37'	1° 49'	0° 22'
25°	24° 48'	24° 15'	23° 59'	22° 53'	22° 0'	20° 54'	19° 39'	18° 15'	16° 41'	14° 58'	13° 7'	11° 9'	9° 3'	6° 53'	4° 37'	2° 20'	0° 28'
30°	29° 37'	29° 9'	28° 29'	27° 32'	26° 34'	25° 18'	23° 51'	22° 12'	20° 21'	18° 19'	16° 6'	13° 43'	11° 10'	8° 30'	5° 44'	2° 53'	0° 33'
35°	34° 36'	34° 4'	33° 21'	32° 24'	31° 13'	29° 50'	28° 12'	26° 20'	24° 14'	21° 53'	19° 15'	16° 29'	13° 28'	10° 16'	6° 56'	3° 50'	0° 42'
40°	39° 34'	39° 2'	38° 15'	37° 15'	36° 0'	34° 30'	32° 44'	30° 41'	28° 20'	25° 42'	22° 45'	19° 31'	16° 0'	12° 15'	8° 13'	4° 11'	0° 50'
45°	44° 34'	44° 1'	43° 13'	42° 11'	40° 54'	39° 19'	37° 23'	35° 16'	32° 44'	29° 50'	26° 33'	22° 53'	19° 13'	14° 30'	9° 51'	4° 50'	1° 8'
50°	49° 34'	48° 14'	47° 12'	45° 54'	44° 17'	42° 23'	40° 7'	37° 29'	34° 28'	30° 47'	26° 44'	22° 11'	17° 9'	11° 41'	5° 56'	1° 11'	
55°	54° 35'	54° 4'	53° 19'	52° 18'	51° 3'	49° 29'	47° 35'	45° 17'	42° 33'	39° 20'	35° 32'	31° 7'	26° 2'	20° 12'	13° 55'	7° 6'	1° 26'
60°	59° 37'	59° 8'	58° 28'	57° 30'	56° 19'	54° 49'	53° 0'	50° 40'	48° 4'	44° 47'	40° 34'	36° 14'	30° 29'	24° 8'	16° 44'	8° 35'	1° 44'
65°	64° 40'	64° 14'	63° 36'	62° 46'	61° 42'	60° 21'	58° 40'	56° 36'	54° 2'	50° 33'	46° 59'	42° 11'	36° 15'	29° 2'	20° 25'	10° 35'	2° 9'
70°	69° 43'	69° 21'	68° 49'	68° 7'	67° 12'	66° 8'	64° 35'	62° 46'	60° 29'	57° 36'	53° 57'	49° 16'	43° 13'	35° 25'	25° 36'	13° 28'	2° 45'
75°	74° 45'	74° 30'	74° 5'	73° 52'	72° 48'	71° 53'	70° 43'	69° 14'	67° 22'	64° 58'	61° 49'	57° 37'	51° 45'	44° 4'	32° 52'	18° 1'	3° 44'
80°	79° 51'	79° 39'	79° 32'	78° 59'	77° 20'	75° 51'	73° 2'	70° 0'	74° 40'	72° 75'	70° 34'	67° 21'	62° 43'	55° 44'	44° 13'	26° 18'	5° 31'
85°	84° 36'	84° 50'	84° 41'	84° 29'	84° 14'	83° 54'	83° 29'	82° 52'	82° 15'	81° 20'	80° 5'	78° 19'	75° 39'	71° 20'	63° 15'	44° 54'	11° 17'
89°	88° 59'	88° 58'	88° 56'	88° 54'	88° 51'	88° 47'	88° 42'	88° 35'	88° 27'	88° 15'	88° 0'	87° 38'	87° 5'	86° 9'	84° 15'	78° 41'	44° 15'

Tabla 1. Ángulos de buzamiento aparente en función del buzamiento real y el rumbo de la sección.

Cada sondaje en la sección debe tener su nombre y la profundidad total (Fig. 5). En este punto, hay que tomar la decisión en cuanto a qué información se mostrará en la sección.

Normalmente, cada sondaje muestra los interceptos significativos o que contengan mineral con leyes económicas. A menudo esto se hace destacando estos intervalos. Ahora, el geólogo puede interpretar la geometría de la zona mineralizada mediante la extrapolación entre los agujeros de perforación, que es una cuestión de conectar la parte superior e inferior de la zona mineralizada de un sondaje a otro. La geología se puede interpretar de diferentes maneras por diferentes geólogos. Para ayudar en la interpretación, se construyen secciones adicionales, que muestran diferentes aspectos de los datos de perforación. Por ejemplo, otra sección de perforación puede mostrar una alteración específica o tipo de mineralización.

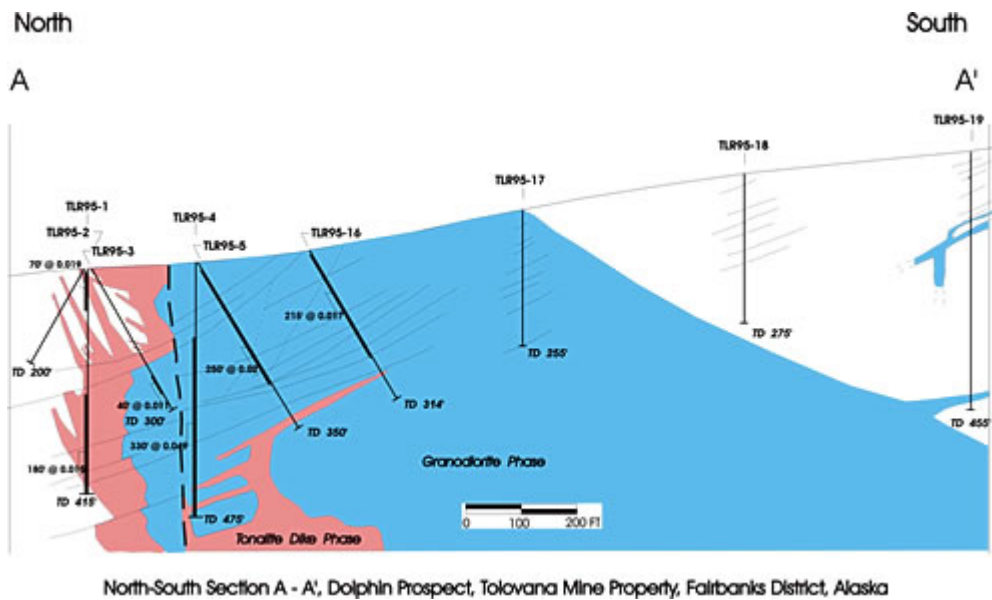


Fig. 5. Sección de sondajes mostrando interceptos de mena y geología.