

Perforación Direccional: Componentes de Trayectoria, Planificación de Propuesta y Métodos de Cálculo



1. Componentes de Trayectoria

Entre los factores que se deben tomar en consideración cuando se quiere planificar una perforación de tipo direccional tenemos:

1.1. Tamaño y forma del objetivo

El primer paso para planificar la perforación direccional consiste en especificar el objetivo (la zona que debe penetrar el pozo a una profundidad dada). Su tamaño y forma dependen generalmente de las características geológicas y de la localización de la zona productora con relación a los límites de propiedad del yacimiento y al espaciado de los pozos. El objetivo, por consiguiente, deben discutirlo todas las partes interesadas a fin de no reducirlo a un tamaño reñido con la realidad, cosa que aumenta considerablemente el costo de la operación.

1.2. Selección de la localización óptima para el Equipo de Perforación

Es esencial escoger un sitio óptimo para situar el equipo de perforación, a fin de aprovechar las tendencias naturales de desviación que tienen las formaciones. Tales tendencias ejercen un marcado efecto sobre el grado de inclinación del pozo. Por ejemplo, cuando se perfora en intercalaciones alternas de formaciones blandas y duras con una barrena bien estabilizada, el

rumbo del pozo suele ser perpendicular al plano de estratificación. Sin embargo, cuando el buzamiento de la formación laminada es de más de 45° , la barrena tiende a perforar en paralelo con el plano de estratificación. Por lo mismo, las tendencias de las formaciones afectan también las tendencias de la perforación direccional. Si se desea perforar buzamiento arriba, nada obstaculiza las tendencias de la barrena y la inclinación se puede aumentar rápidamente. Pero si se desea perforar a la izquierda del buzamiento arriba, la barrena tenderá a perforar hacia la derecha; y si se perfora a la derecha del buzamiento arriba, la barrena se desvía a la izquierda. Por consiguiente, la elección de una localización óptima para el equipo de perforación se debe basar en toda la información conocida del subsuelo para poder aprovechar las tendencias de las formaciones y minimizar la posibilidad de que el pozo se desvíe en dirección contraria a la deseada. En la **Figura 1**, se observa un esquemático de la ubicación óptima de la localización.

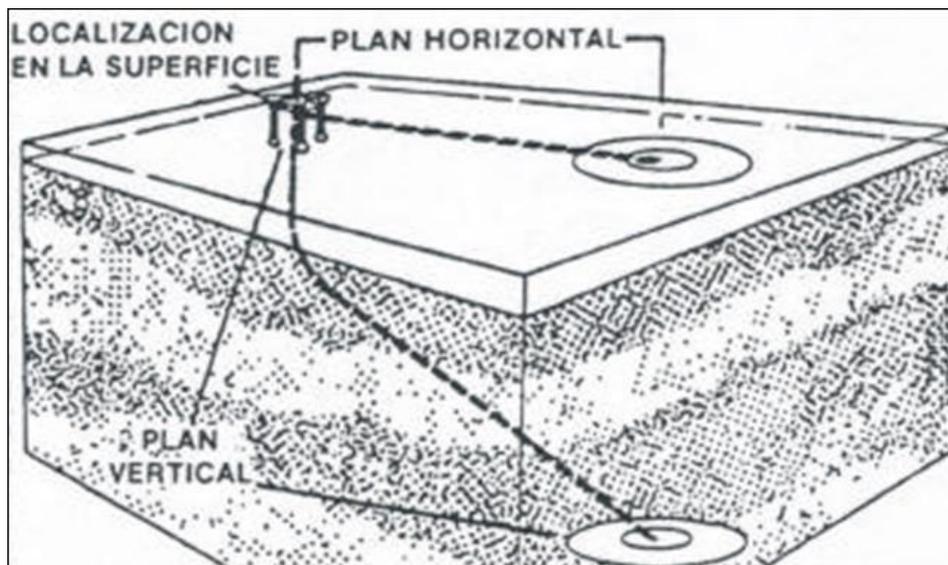


Fig. 1. Localización óptima en superficie

1.3. Tamaño del pozo

Los pozos de diámetro más grande son más fáciles de controlar que los de diámetro pequeño porque en éstos últimos se usan conjuntos de tubos lastrarbarrenas y tubos más flexibles y más pequeños. Por consiguiente, en pozos de diámetro reducido las características de las formaciones ejercen un efecto más pronunciado en la pérdida de rumbo del pozo. Tales problemas, afortunadamente, no son insolubles y puede obviarlos el personal competente de perforación

1.4. Programas de revestidores y de lodo

En casi todos los programas de perforación direccional se pueden usar los mismos programas de tubería revestidora que se usan en perforación vertical. La única excepción es en pozos profundos o muy inclinados, en los que es necesario instalar protectores de caucho (hule) en la sarta de perforación a fin de evitar el desgaste de ésta y de la tubería revestidora. El control

de lodo es también muy importante para reducir el arrastre en pozos direccionales. Al lodo se le debe añadir aditivos reductores de fricción y su densidad, así como su viscosidad, se deben mantener bajo control en todo momento.

1.5. Efecto del magnetismo de la Sarta de Perforación y de los Pozos Vecinos sobre los instrumentos direccionales

La experiencia ha demostrado que la sarta de perforación en rotación a veces se magnetiza. Sin embargo, ese efecto conocido se puede compensar usando tubos lastrarbarrenas no magnéticos que evitan las inconsistencias de los registros. Además los estudios direccionales pozo abajo que se toman cerca de pozo existentes pueden afectarse por el magnetismo residual de las sartas revestidoras de dichos pozos. El magnetismo, sin embargo, es de pequeña magnitud pero debe tenerse en cuenta durante la planificación inicial.

2. Planificación de la Propuesta

2.1. Selección del punto inicial de desviación

La desviación y el rumbo iniciales adecuados son indispensables para ejecutar un trabajo de perforación direccional. Por consiguiente, un factor determinante en el éxito de la operación es la elección del punto inicial más apropiado; es decir la profundidad a la cual debe comenzar la perforación del tramo desviado. Debe prestarse especial atención a la intensidad del ángulo de inclinación necesaria para lograr la desviación deseada. En muchos casos deben usarse ángulos grandes, de 15 a 45 grados, ya que con ellos hay más “flexibilidad” para escoger el punto inicial más indicado. Con ellos, además, se logra más estabilidad del rumbo que con ángulos pequeños, tales como los de 5 a 10 grados.

2.2. Cantidades aceptables y límites de desplazamiento lateral

El desplazamiento lateral o “avance” es la proyección del desplazamiento angular de la barrena, ya sea la derecha o a la izquierda del rumbo propuesto. Por consiguiente, y como quiera que la barrena tiende naturalmente a perforar una curva, el plan direccional debe concebirse cuidadosamente a fin de poder tolerar un desplazamiento de unos pocos grados a uno u otro lado de la línea horizontal imaginaria que conecta la localización de la superficie con la ubicación del objetivo. Tratar de contrarrestar la tendencia natural de la barrena sólo trae como consecuencia más tiempo de perforación y rendimiento inadecuado.

Hay un límite, sin embargo, en lo que toca a la cantidad aceptable de desplazamiento lateral. En sitios donde los pozos están poco espaciados, por ejemplo, el pozo se debe perforar y mantener dentro de un cilindro imaginario alrededor del eje propuesto, para evitar la interferencia de los pozos vecinos. A causa de las características específicas de los reservorios o de las formaciones geológicas, tal vez existan restricciones similares en lo que respecta al objetivo.

3. Intensidad de las Patas de Perro

Inevitablemente, todos los pozos direccionales tienen patas de perro que es la curvatura total del recinto del pozo. Pero las patas de perro también pueden significar que la curvatura total del pozo se afecta por cambios de dirección y de inclinación.

Este tipo de patas de perro se puede detectar tempranamente, efectuando estudios direccionales a intervalos periódicos, para evitar que se vuelvan muy pronunciados, lo cual puede causar [muchos problemas](#) y grandes pérdidas de dinero. Estas patas de perro no causan problemas inmediatos porque los tubos lastrabarrenas trabajan en compresión y pueden adaptarse fácilmente a las variaciones del rumbo del pozo. Los efectos perjudiciales, tales como el daño de la sarta de perforación, la formación de chaveteros y el desgaste de las sartas revestidoras no aparecen sino mucho más tarde. Por consiguiente, las patas de perro deben detectarse y corregirse tan pronto como sea posible. Las patas de perro poco pronunciadas se deben eliminar escariando el tramo correspondiente, después de lo cual se deben efectuar nuevamente estudios direccionales. Si no se pueden eliminar, el pozo se debe retrotaponear y desviar.

Hay, por consiguiente, un cierto límite que, una vez sobrepasado, redundará en daños de la sarta de perforación o de revestimiento. El límite se denomina “pata de perro permisible” y lo determinan las dimensiones del aparejo tubular a la profundidad en que ocurre. Generalmente se expresa en grados por cada 30 metros ó grados por cada 100 pies.

4. Métodos de cálculo de estudios direccionales

Puesto que los instrumentos actuales no permiten definir exactamente el rumbo del pozo entre cada punto de estudio, para calcular la localización tridimensional de cada punto o estación se han desarrollado varios métodos.

4.1. Método tangencial (también denominado de “ángulo terminal”)

Este antiguo método se basa en la suposición de que el pozo mantiene la misma inclinación y el mismo rumbo entre estaciones, y es muy fácil de calcular. Sin embargo, es muy impreciso, especialmente en pozos de configuración Tipo I y III en los que indica menos desplazamiento vertical y más horizontal de los que hay en la realidad, y también en los de Tipo II. En los que indica más desplazamiento vertical y menos horizontal de los que realmente hay en el pozo. La falta de precisión de este método ha servido de estímulo para desarrollar medios más exactos.

4.2. Método de ángulo promedio

Se basa en la suposición de que el recinto del pozo es paralelo al promedio sencillo de los ángulos de inclinación y dirección entre dos estaciones. Este método que es mucho más difícil de justificar teóricamente es, sin embargo, lo suficientemente sencillo para usarlo en el campo, ya que los cálculos se pueden efectuar en una calculadora no programable.

4.3. Método de radio de curvatura

Este método se basa en la suposición de que el recinto del pozo es un arco parejo y esférico entre estaciones o puntos de estudio. Es teóricamente sensato y es muy preciso. Sin embargo, no es de fácil aplicación en el campo porque requiere el uso de una calculadora o computadora programable.

4.4. Método de curvatura mínima

Presupone que el pozo es un arco esférico con mínimo de curvatura: en otras palabras, que hay máximo radio de curvatura entre puntos o estaciones de observación. Aunque este método también comprende muchos cálculos complejos que requieren computadora programable, es el de mejor justificación teórica y por consiguiente el más aplicable a casi cualquier pozo.

En la **Figura 2**, se puede observar las vistas de una trayectoria direccional (horizontal y vertical).

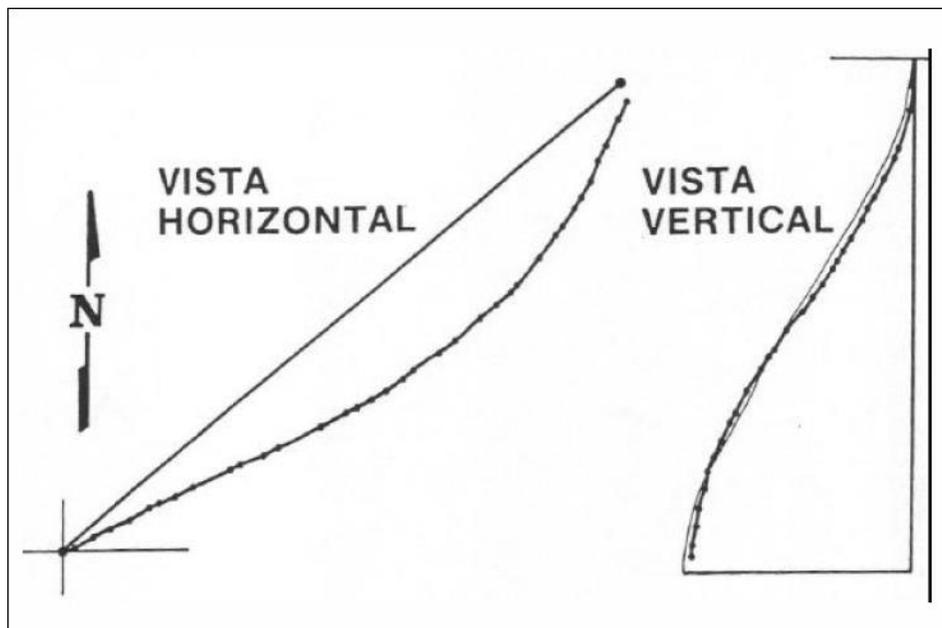


Fig. 2. Vistas de la trayectoria direccional

5. Sistema de registro durante la perforación (MWD)

Lo más práctico para el control direccional de un pozo, es tener de una manera directa en la superficie información continua, el ángulo alcanzado y el rumbo al que está orientada la herramienta deflectora, el sistema que se utiliza en la zona marina, es el equipo MWD (Medición Mientras Perfora). Por medio de una probeta alojada dentro de la sarta de

perforación (MWD), se transmiten pulsos a través de el lodo hasta la superficie, para ser exactos en el stand pipe donde está colocado un primer receptor de señales llamado translucer, esta a su vez manda la señal a un equipo de cómputo, donde se decodifica la señal, dándonos información usual (ángulo, rumbo, temperatura, presión y orientación). El equipo MWD consta de cuatro componentes importantes, las cuales se mencionan a continuación:

1. Conjunto del generador de pulsos con sustituto
2. Sensor / elementos electrónicos de la sonda
3. Unidad con largueros de arrastre
4. Sistema de cómputo

Se hace mención que anteriormente para tomar un registro direccional, nos requería aproximadamente un tiempo de hasta tres horas por cada toma (dependiendo de la profundidad y estado del pozo), sin embargo ahora nos toma de tres a cuatro minutos así como también, el tiempo para un inicio era de tres días promedio solo para levantar +/- 10 grados, sin embargo ahora nos lleva toda la sección de incremento de ángulo (dependiendo del ángulo máximo) el mismo o menor tiempo, todo esto debido a que se cuenta con motores navegables y equipos MWD. En la siguiente **Figura 3**, se puede observar todos los componentes del sistema del MWD.

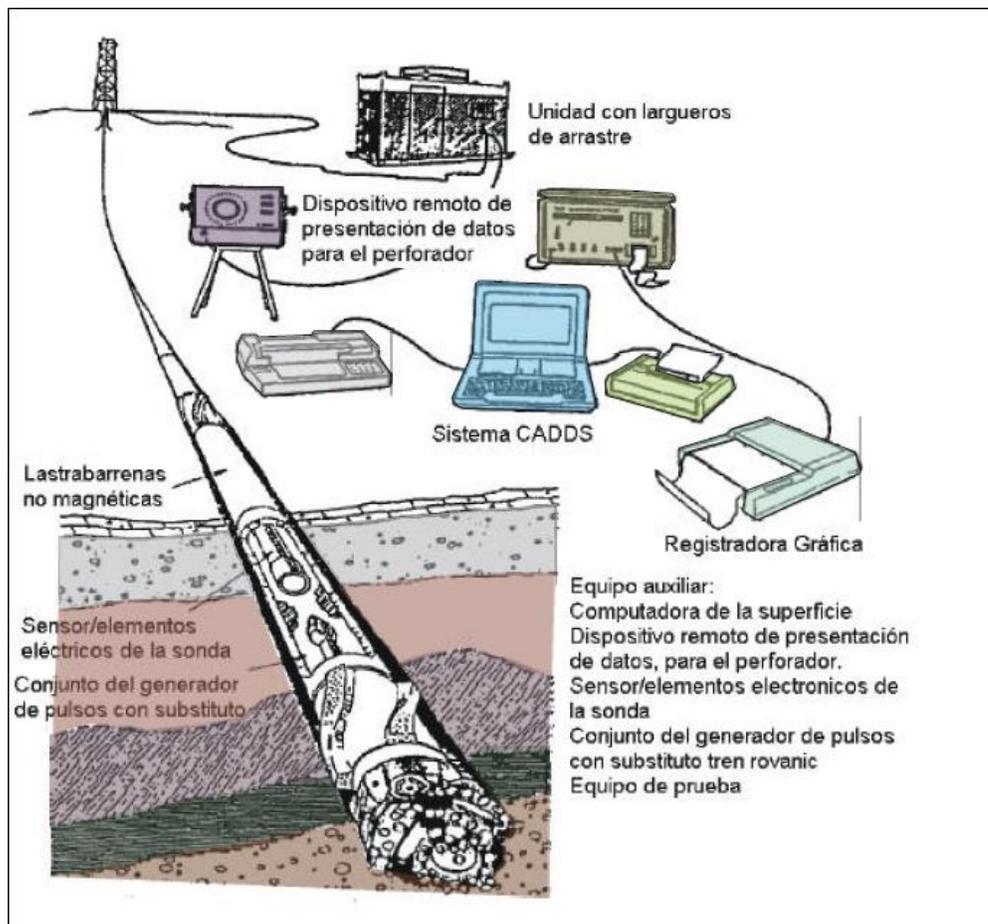


Fig. 3.

Componentes del sistema MWD

6. Rumbo y Azimut

La posición o la dirección de la trayectoria de un pozo direccional se proporciona en una medida de “Rumbo o Azimut”. Se puede definir el rumbo magnético de un objeto como el ángulo que forma con la dirección Norte-Sur magnética (este ángulo se mide a partir de dicha dirección). El rumbo corregido o verdadero, se deduce del anterior y corresponde al ángulo formado por el objeto con el meridiano geográfico. El ángulo para el rumbo se mide de cero a noventa grados, dando su denominación a partir de la línea Norte-Sur, como se muestra en el siguiente ejemplo. El azimut (o acimut) es el ángulo medido a partir de la línea Norte-Sur en dirección al movimiento de las manecillas del reloj, variando de cero a 360 grados solamente. En la **Figura 4**, se puede observar un ejemplo de lectura de Azimut.

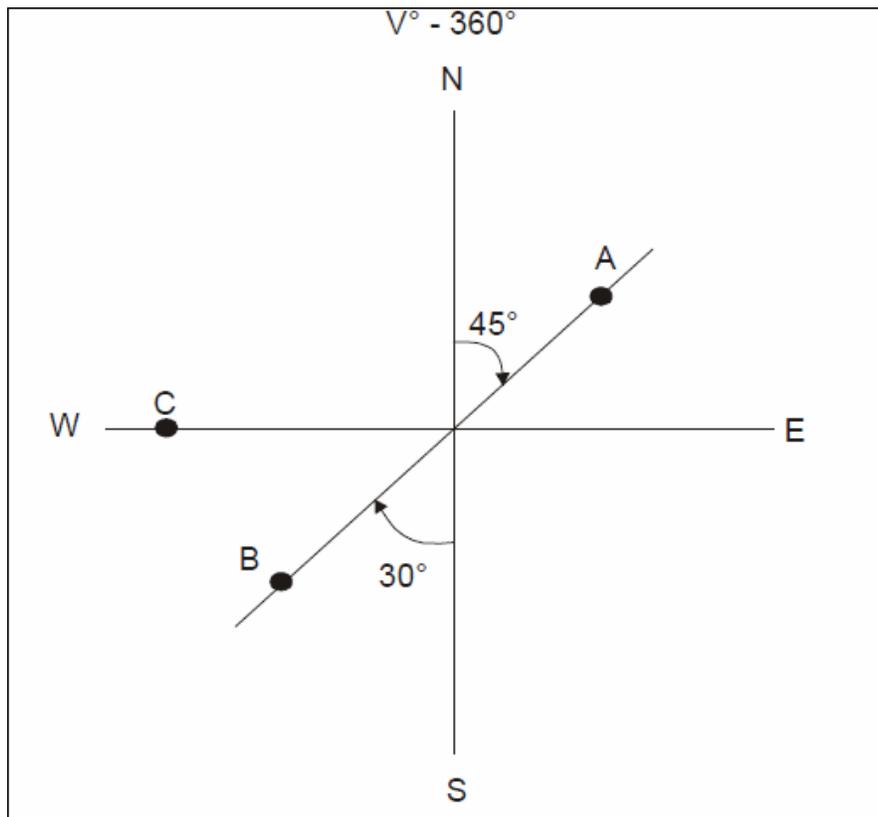


Fig. 4. Ejemplo de lectura del Azimut

Dirección de los siguientes puntos:

	Rumbo	Azimut
A	N - 45° - E	45°
B	S - 30° - W	210°
C	W - franco	270°

