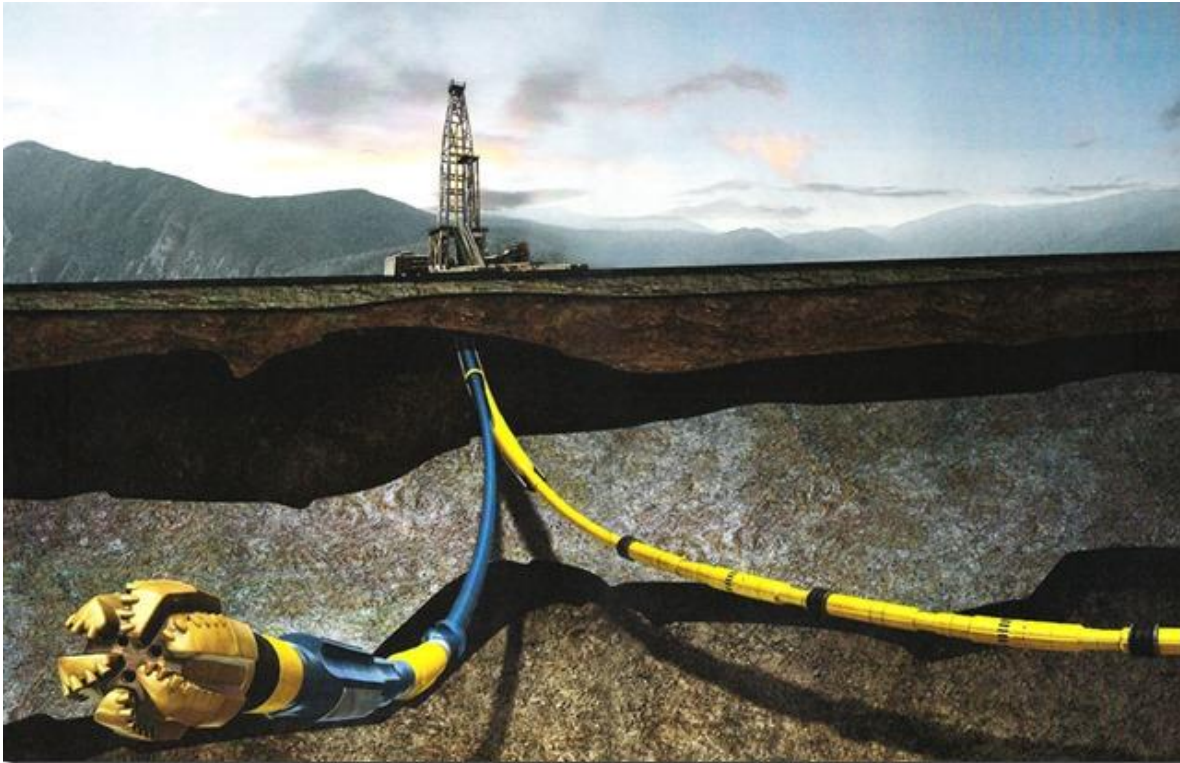


Perforación Direccional, Tipos de Perforación, Propósitos y Motor de Fondo



De acuerdo con la definición del glosario de términos de SLB, la **perforación direccional** se define como la desviación intencional de un pozo con respecto del trayecto que adoptaría naturalmente. Esta desviación se logra a través del uso de cuñas, configuraciones de arreglos de fondo de pozo (BHA), instrumentos para medir el trayecto del pozo a la superficie, motores de fondo, y componentes BHA y barrenas de perforación especiales, incluidos los sistemas rotativos direccionales, y las barrenas de perforación. El perforador de pozos también explora los parámetros de perforación, tales como el peso de la barrena y la velocidad rotativa, para desviar la barrena lejos del eje del pozo existente. En algunos casos, tales como en la perforación de formaciones de inclinación pronunciada o cuando existe una desviación impredecible en las operaciones de perforación convencionales, puede emplearse técnicas de perforación direccional para asegurar que el pozo se perfora verticalmente. Si bien este objetivo puede lograrse con muchas técnicas, el concepto en general es simple: direccionar la barrena de perforación en la dirección en la que se quiere perforar.

La forma más común es a través del uso de una sección acodada cerca de la barrena de perforación en un motor de fondo direccional en el fondo del pozo. La sección acodada dirige la barrena de perforación en una dirección diferente del eje de pozo cuando la sarta de perforación entera no esté rotando. Mediante el bombeo de lodo a través del motor de fondo, la barrena gira en tanto que la sarta de perforación no rota, lo que permite que la barrena perfora en la dirección que señala. Cuando se logra la dirección del pozo determinada, ésta se puede mantener mediante la rotación de la sarta de perforación entera (incluida la sección

acodada), de modo que la barrena no perfora en una sola dirección lejos del eje del pozo, sino que cubre una cierta área y su dirección neta coincide con el pozo existente. Las herramientas rotativas direccionales permiten el direccionamiento durante la rotación, generalmente con velocidades de penetración más altas, y en última instancia, pozos más parejos. La perforación direccional es común en yacimientos de lutitas porque permite que los perforadores logren que el pozo contacte la roca prospectiva más productiva.

1. Tipos de Perforación Direccional

Tipo I. El pozo se planea de modo que la desviación inicial se obtenga a poca profundidad. El ángulo de inclinación se mantiene constante hasta llegar al objetivo. Esta configuración se usa principalmente para pozos de profundidad moderada, en regiones en las que la producción está en un solo intervalo y en las que no se requieren sartas intermedias de revestimiento. Se usa también para perforar pozos más profundos en los que se requiere mucho desplazamiento lateral.

Tipo II. Es el pozo de configuración en “S”. La desviación se inicia también cerca de la superficie. La inclinación se mantiene, lo mismo que en el Tipo I. hasta que se logra casi todo el desplazamiento lateral. Seguidamente se reduce el ángulo de desviación hasta volver el pozo a la vertical para llevar al objetivo. Esta configuración, que puede traer consigo algunos problemas, se usa principalmente para perforar pozos con intervalos productores múltiples, o en los que hay limitaciones impuestas por el tamaño y la localización del objetivo.

Tipo III. La desviación se comienza bien debajo de la superficie y el ángulo promedio de inclinación se mantiene hasta llegar al objetivo. Esta configuración es especialmente apropiada para situaciones tales como las de perforación de fallas o de domos salinos, o en cualquier situación en las que se requiera reperforar o reubicar la sección inferior del pozo.

Tipo Horizontal, Multilateral, y de Alcance extendido. La productividad de los pozos horizontales llega a ser mayor que la de uno vertical. Comunican una mayor área de la formación productora, atraviesan fracturas naturales, reducen las caídas de presión y retrasan los avances de los contactos agua-petróleo o gas-petróleo. En la **Figura 1**, se puede observar un esquemático de los 4 tipos de perforaciones direccionales mencionadas anteriormente.

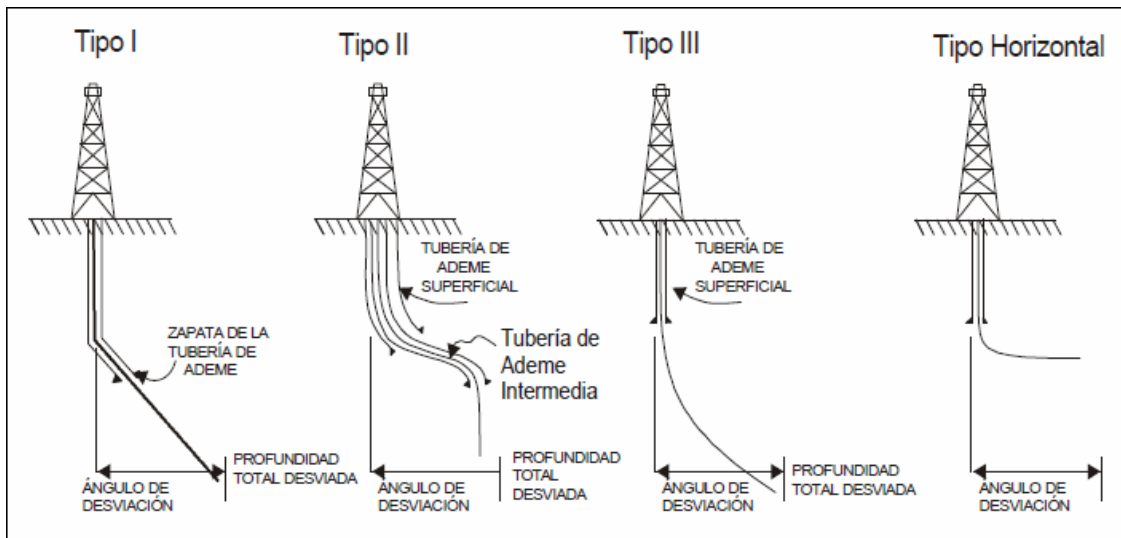


Fig. 1. Esquemático básico de los 4 tipos de perforación direccional

2. Aplicación de los Pozos Direccionales

2.1. Varios Pozos desde Estructuras Artificiales

La aplicación actual más común de los métodos de desviación es en la perforación costafuera, ya que permite perforar un número óptimo de pozos desde la misma plataforma o isla artificial. Esa operación simplifica notablemente las redes de recolección y los sistemas de producción, factores que gobiernan la viabilidad económica de la industria costafuera.

2.2. Perforación en Fallas Geológicas

Otra aplicación de la perforación direccional es en el control de fallas geológicas. El pozo se desvía a través de la falla o en paralelo con ella para obtener mayor producción. Se elimina así el riesgo de perforar pozos verticales a través de planos de fallas muy inclinados, lo que puede ocasionar el deslizamiento y el cizallamiento de las sartas revestidoras.

2.3. Localizaciones Inaccesibles

Los mismos métodos se aplican cuando la localización inaccesible de un intervalo productor dicta la necesidad de situar el equipo de perforación a distancia, como ocurre cuando se desea obtener producción de intervalos situados bajo ríos, montañas, ciudades, etc. Estos ejemplos son apenas algunos de los muchos usos de la perforación direccional. Los nuevos métodos de recuperación de petróleo actualmente en desarrollo ampliarán la escala de aplicaciones a corto plazo.

2.4. Desviación Lateral y Enderezamiento

Se usa primordialmente para solventar dos problemas: el de apartarse de una obstrucción desviando el pozo, o el de enderezar el pozo si éste se ha torcido.

2.5. Perforación de Domos Salinos

Los programas de perforación direccional también se usan para eludir los problemas de perforación de domos salinos. Para alcanzar los intervalos productores que frecuentemente están situados bajo el tope protuberante del domo, el pozo se perfora primero en paralelo con el domo y seguidamente se desvía para que penetre bajo la protuberancia.

2.6. Pozos de Alivio

Esta técnica se aplicó inicialmente para perforar pozos de alivio, a fin de poder bombear lodo y agua para controlar pozos desbocados. En la **Figura 2**, se puede observar las diferentes aplicaciones de la perforación direccional.

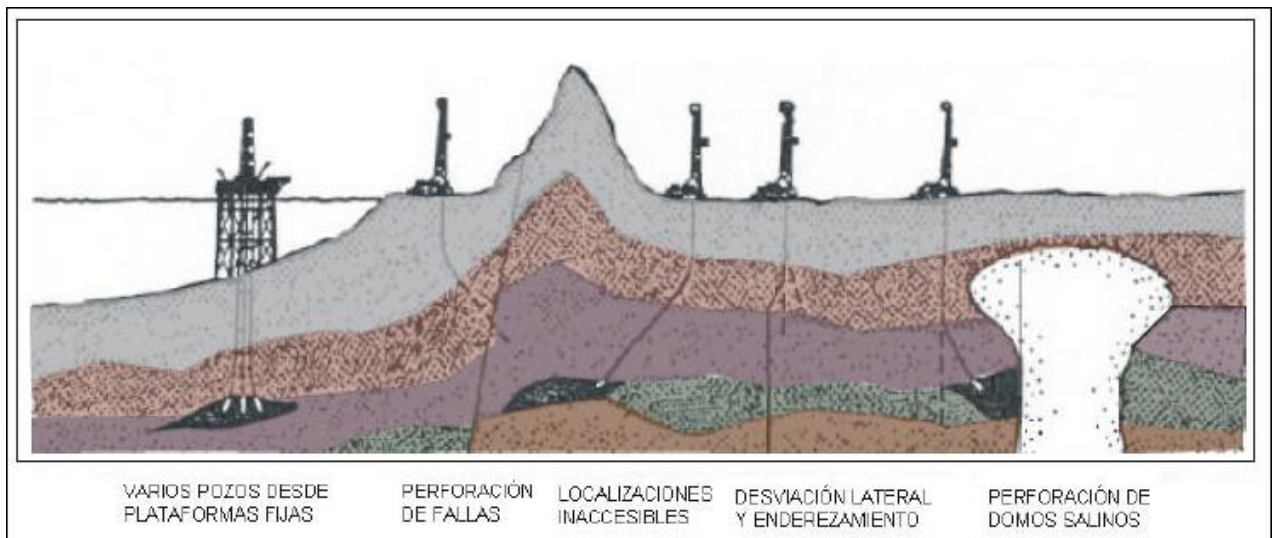


Fig. 2. Diferentes aplicaciones de la perforación direccional

3. Teoría del Péndulo, del Fulcro y Agujero Estabilizador

3.1. El principio del Péndulo

Este principio básico se aplica para disminuir el ángulo de inclinación cuando se perforan pozos de configuración Tipo II. El efecto pendular se produce removiendo el estabilizador puesto encima de la barrena, pero dejando el estabilizador superior. El resultado es que el estabilizador remanente, mantiene el lastrabarrenas del fondo apartado del lado bajo de la pared del pozo, la fuerza de gravedad actúa sobre la barrena y sobre el lastrabarrenas del fondo y tiende a hacerlos volver a la vertical. Pero, como quiera que la barrena está comprimida contra el lado bajo del hoyo por el peso del lastrabarrenas del fondo y puede perforar lateralmente o de frente el ángulo del pozo disminuye a medida que la barrena avanza el pozo por consiguiente se endereza.

Un conjunto que se usa comúnmente para reducir el ángulo es el de disminución gradual diseñado para mantener la dirección del pozo a tiempo que se reduce gradualmente el ángulo de inclinación. Otro conjunto es el de disminución estándar para reducir el ángulo a razón de 1° por cada centenar de pies. Finalmente, el conjunto Gilligan se usa para disminuir rápidamente el ángulo. En la **Figura 3**, se muestra el efecto del principio de Péndulo.

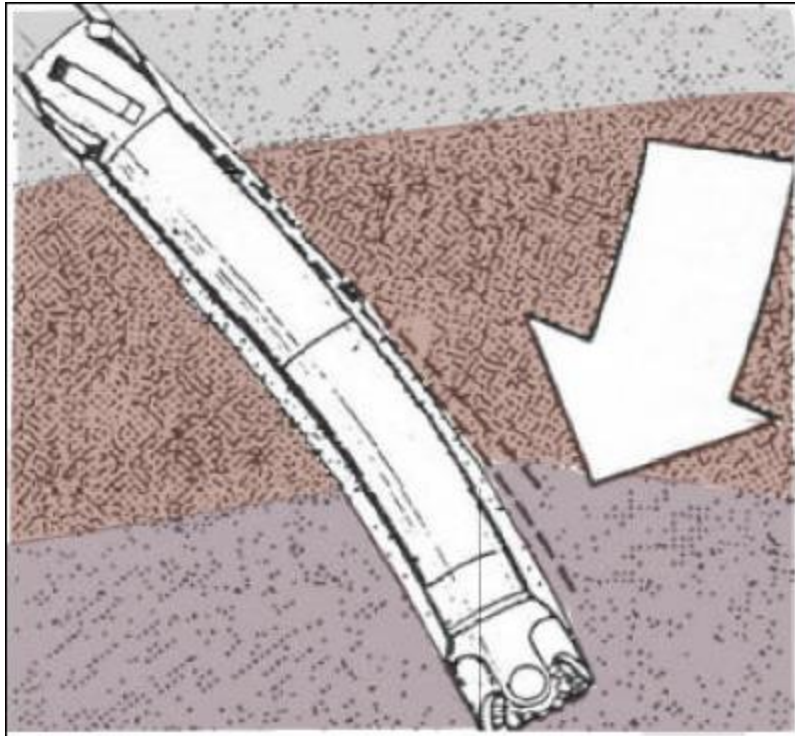


Fig. 3. Principio del Péndulo

3.2. Principio de Fulcro

El incremento subsiguiente de la curvatura para obtener el ángulo predeterminado de inclinación se obtiene aplicando el principio del fulcro. Este es escariador o un estabilizador que se inserta en la sarta de perforación inmediatamente arriba de la barrena. Cuando se aplica el peso debido al estabilizador ejerce efecto de palanca en la sarta y hace que aumente el ángulo del pozo. Para acción adicional de palanca arriba del punto de fulcro se puede usar un sub de extensión.

La experiencia ha indicado que mientras más flexible sea el conjunto situado inmediatamente arriba del fulcro, más rápido es el aumento de ángulo. Por consiguiente, la selección del conjunto más indicado la determina el régimen de aumento que se requiera para cada operación específica. El conjunto estándar de incremento es relativamente flexible. Se usa para regímenes normales de aumento y se saca del pozo una vez logrado el ángulo máximo. Para aumentos rápidos de ángulo se usan otros dos conjuntos: el Gilligan y el Corto. Pero

son de tal flexibilidad que requieren estrecha vigilancia y estudios direccionales a intervalos cortos. Otro dispositivo que se usa para aumentar el ángulo de inclinación es el motor pozo abajo, parecido al que se usa como herramienta deflectora. En la **Figura 4**, se muestra esquemáticamente el efecto de Fulcro.

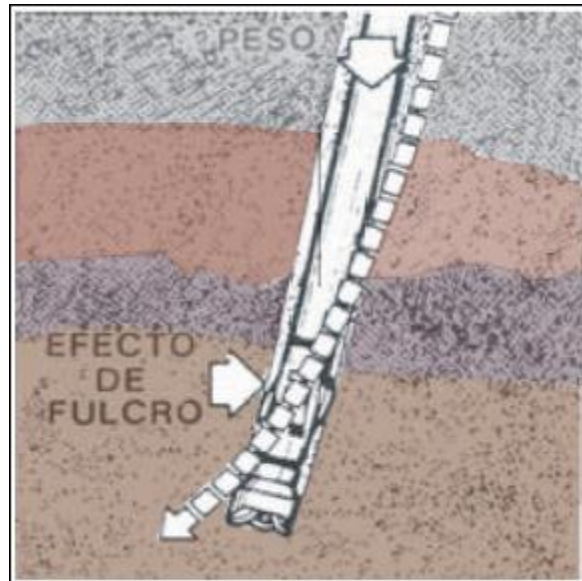


Fig. 4. Efecto de Fulcro

3.3. Principio de Estabilización

Cuando se logra el ángulo prescrito de inclinación, éste se debe mantener hasta la profundidad total, o hasta que el pozo deba retornarse a la vertical. La estabilización requiere conjuntos rígidos de fondo de pozo y estricta atención a la combinación de velocidad rotatoria y peso sobre la barrena. Un conjunto rígido de uso común es el conjunto empacado estándar que consta de escariador o estabilizador puesto justamente encima de la barrena y de otro escariador situado arriba del lastrabarrenas grande del fondo. Este conjunto es muy rígido. Los lastrabarrenas que se usan son lo suficientemente pequeños para pescarlos, pero lo bastante grandes para evitar que la barrena se desvíe a la derecha o a la izquierda del rumbo requerido.

Otro conjunto es el de empaque máximo, todavía más rígido que el anterior, y bien apropiado para regiones donde hay pronunciada tendencia a la deriva lateral. Tiene dos estabilizadores de calibre pleno o un lastrabarrenas cuadrado justamente arriba de la barrena, un lastrabarrenas grande de fondo y dos estabilizadores más, inmediatamente encima. La rigidez del lastrabarrenas de fondo hace que el conjunto resista la tendencia a perforar en curva. En la **Figura 5**, se muestra el principio de estabilización de la sarta de perforación.

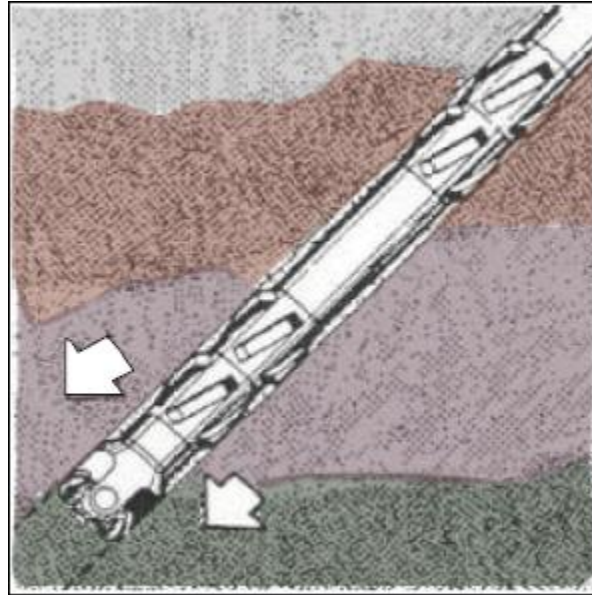


Fig. 5. Principio de Estabilización

4. Motores de Fondo

Los motores de fondo constituyen el último desarrollo en herramientas desviadoras. Son operados hidráulicamente por medio del lodo de perforación bombeado desde la superficie a través de la tubería de perforación. Pueden utilizarse para perforar tanto pozos verticales como direccionales. Entre las principales ventajas proporcionadas por el empleo de los motores de fondo podemos mencionar las siguientes:

1. Proporcionan un mejor control de la desviación.
2. Posibilidad de desviar en cualquier punto de la trayectoria de un pozo.
3. Ayudan a reducir la fatiga de la tubería de perforación.
4. Pueden proporcionar mayor velocidad de rotación en la barrena.
5. Generan arcos de curvatura suaves durante la perforación.
6. Se pueden obtener mejores ritmos de penetración.

Analizando las ventajas anteriores podemos concluir que el uso de motores de fondo, reduce los riesgos de pescados, hace óptima la perforación y en consecuencia disminuye los costos totales de perforación. Cabe aclarar que el motor de fondo no realiza la desviación por sí solo, requiere del empleo de un codo desviador (bent sub). El ángulo del codo es el que determina la severidad en el cambio del ángulo. Los motores de fondo pueden trabajar (en la mayoría de los casos) con cualquier tipo de fluido de perforación (base agua o aceite), lodos con aditivos e incluso con materiales obturantes. Aunque los fluidos con alto contenido de sólidos reducen en forma significativa la vida de la herramienta. El contenido de gas o aire en el fluido pueden provocar daños por cavitación en el hule del estator.

El tipo y diámetro del motor a utilizar depende de los siguientes factores:

1. Diámetro del agujero.
2. Programa hidráulico.
3. Ángulo del agujero al comenzar la operación de desviación.
4. Accesorios (estabilizadores, lastrabarrenas, codos, etc.).

La vida útil del motor depende en gran medida de las siguientes condiciones:

1. Tipo de fluido.
2. Altas temperaturas.
3. Caídas de presión del motor.
4. Peso sobre la barrena.
5. Tipo de formación.

Los motores de fondo pueden ser de turbina o helicoidales. En la **Figura 6**, se muestra un diagrama de un motor dirigitivo, el cual es la herramienta más utilizada para perforar pozos direccionales y se caracteriza por tener la versatilidad de poder perforar tanto en el modo rotatorio, como deslizando. Estos aparos evitan la necesidad que se tenía en el pasado de realizar viajes con la tubería para cambiar los aparos de fondo.

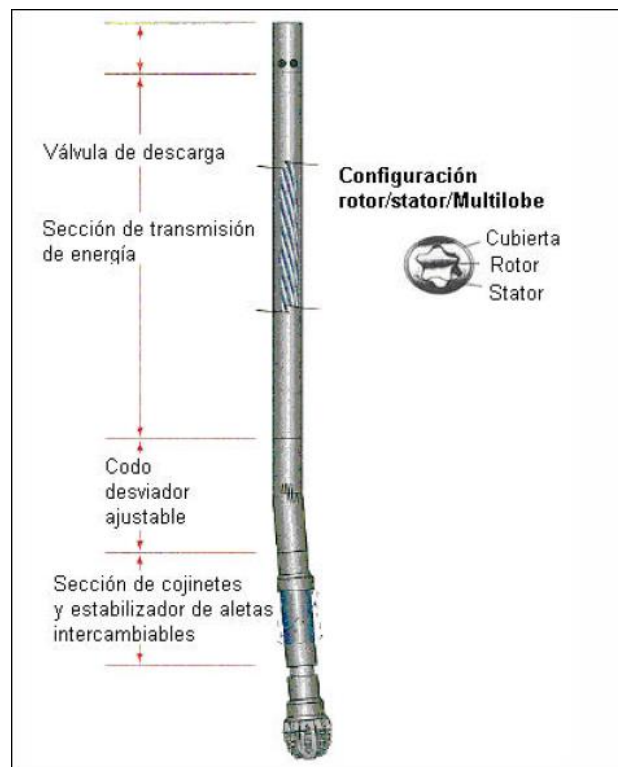


Fig. 6. Arreglo de un motor dirigitivo

En la **Figura 7**, se muestra una sección transversal de un motor de fondo. Ambos motores pueden dividirse en los siguientes componentes: conjunto de válvula de descarga o de paso, conjunto de etapas (rotor-estator, hélices parciales), conjunto de conexión, conjunto de cojinetes y flecha impulsora, unión sustituta de rotación para barrena.



Fig. 7. Sección transversal de un motor de fondo

4.1. Motores Hidráulicos Tipo Turbina

El motor pozo abajo es la herramienta deflectora que más se usa actualmente. Lo impulsa el lodo de perforación, que fluye por la sarta de perforación. El motor genera la fuerza de torsión pozo abajo lo que elimina la necesidad de dar rotación a la sarta. La primera variación del motor pozo abajo, que se conoce por el nombre de turbo barrena o motor tipo turbina es una recia unidad axial multietapa que ha demostrado ser muy eficiente y confiable, especialmente en formaciones semiduras a duras.

Consta de una sección multietapa de rotor y estator, una sección de cojinetes, un eje impulsor y un sub que hace girar la barrena. La primera etapa se compone de rotor y estator de configuración idéntica. El estator es fijo y desvía el flujo de lodo de perforación hacia el rotor, el cual va fijo en el eje impulsor. Lo importante es transmitir la acción rotatoria para

hacer girar la barrena. La segunda variación del motor pozo abajo es el motor de desplazamiento positivo o “helicoidal”. Consta de un motor helicoidal de dos etapas, una válvula de descarga, un conjunto de biela y otro de cojinetes y eje. El motor helicoidal tiene una cavidad en espiral forrada de caucho (hule), provista de sección transversal elíptica que aloja un rotor sinusoidal de acero. Por consiguiente, el flujo descendente presurizado del lodo, entra entre la cavidad espiral y el rotor, el cual se desplaza y gira. La rotación energiza el eje impulsor y el efecto es fuerza de torsión que hace girar la barrena. Ambos tipos de motores pozo abajo se pueden usar con conjunto compuesto de barrena de calibre pleno, el motor pozo abajo, un sub curvo corriente o hidráulico, un tubo lastrabarrenas antimagnético y el conjunto corriente de perforación. El sub curvo se usa para impartir deflexión constante al conjunto. Su rosca superior es concéntrica con el eje de su cuerpo, y su rosca inferior es concéntrica con un eje inclinado de 1 a 3° con relación al eje de la rosca superior.

Se ha desarrollado también un sub hidráulico curvo que se puede fijar en posición para perforación vertical o soltar y reajustar para perforación direccional. Por las razones arriba anotadas, los motores pozo abajo tienen muchas ventajas sobre el guiasondas. Cuando la perforación a chorro se vuelve impráctica, permiten perforar pozos de calibre pleno desde el punto inicial de desviación a fin de eliminar viajes redondos innecesarios de la sarta. La orientación es también más precisa, ya que los motores pozo abajo producen una curva más suave y gradual en los tramos de incremento y disminución de ángulo. Las correcciones, en caso de que se necesiten, se hacen pozo abajo sin tener que sacar la sarta. Finalmente, los motores eliminan la necesidad de tandas de rectificación para eliminar puentes, patéperros, etc. ya que con la herramienta se puede circular y perforar hasta el fondo. En la **Figura 8**, se muestra un esquemático de un motor hidráulico tipo turbina. En la **Figura 9**, se muestra un esquemático del ensamblaje con motor de fondo.

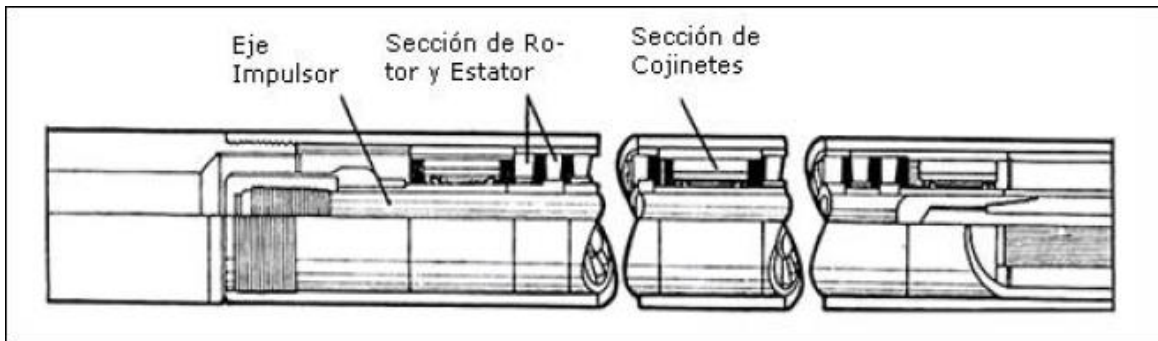


Fig. 8. Motores Hidráulicos tipo Turbina

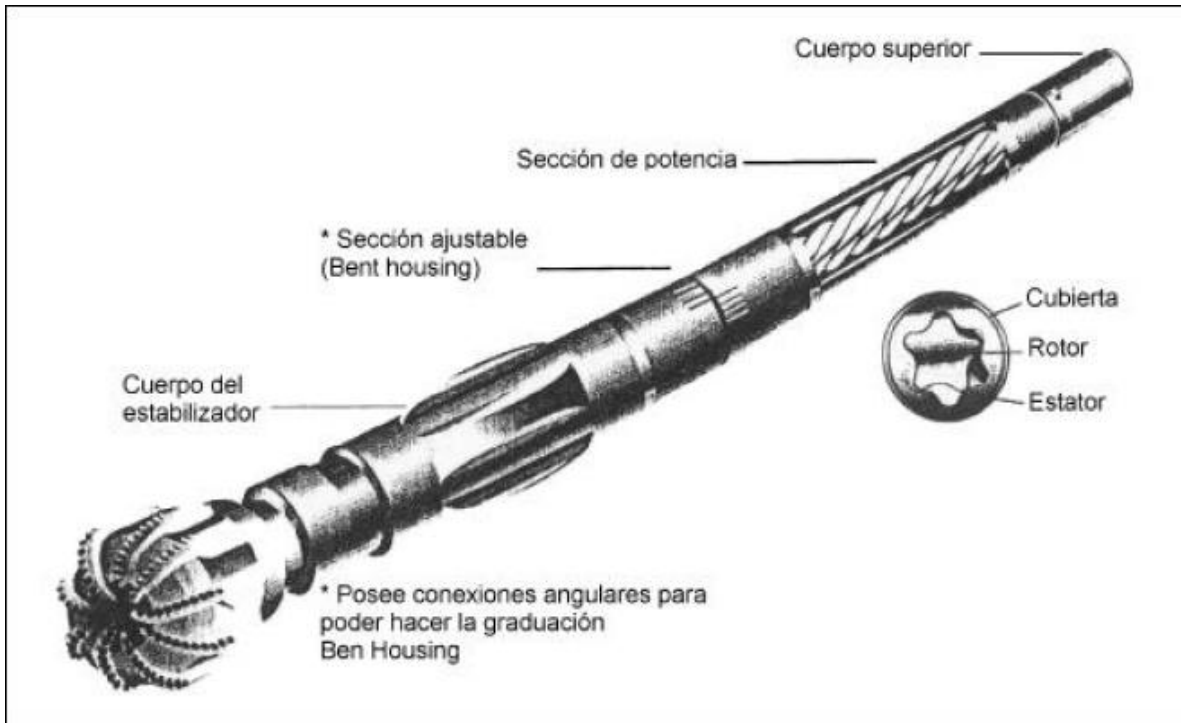


Fig. 9. Ensamblaje típico de BHA con Motor de Fondo