# "EVALUACIÓN DE LOS DISEÑOS DE BHA EN PERFORACIONES HORIZONTALES (APLICADO EN EL POZO AMO B-10 DEL BLOQUE 16 DEL ORIENTE ECUATORIANO)"

Hilda Raquel Meza Aldas[1], Ricardo Gallegos Orta[2]

[1]Ingeniero en Petróleo 1999

[2]Director de Tesis, Ingeniero en Petróleo, De la Universidad de Zulia, 1973, Escuela Superior Politécnica del Litoral, revalidación de título 1980. Postgrado EEUU, Universidad de Wyoming, 1979. Profesor de ESPOL desde 1973.

## RESUMEN

La perforación horizontal es una técnica de gran aplicabilidad, la cual tiene como fin incrementar el recobro y drenaje de los fluidos subterraneos. Dichos pozos se caracterizan por ser perforados con altos angulos de inclinación (generalmente superiores a 85º), en caso de querer minimizar el problema de conificacion de agua estos pozos deben ser paralelos al tope del estrato productor de hidrocarburos, si se requiere reducir el efecto de conificacion de gas deben ser paralelos a la base y si se presentan ambos problemas (conificacion de gas y agua) deben ser perforados paralelamente en la sección intermedia. Para el logro de este objetivo se emplean herramientas de dirección y angulo mientras se perfora (MWD) las cuales permiten navegar a traves de las formaciones objetivo; adicionalmente se utilizan herramientas de registro mientras se perfora (LWD) las cuales sirven de referencia para mantener el pozo en el objetivo predeterminado.

La parte mas critica del trabajo de un perforador direccional es el diseño y la orientación del BHA (Ensamblaje De Fondo); por otro lado el objetivo de toda Empresa Operadora es Minimizar viajes por cambios de BHA. En resumen tanto la empresa operadora como la empresa de prestacion de servicios que se encarga del direccionamiento del pozo quieren perforar un pozo hasta la Profundidad Total lo antes posible; la reputación de un Perforador Direccional depende, en gran parte, del juicio y “sentir” que tenga para elegir el BHA apropiado para una situación dada.

Es importante mantener una mentalidad abierta acerca del diseño del BHA. Se puede creer que se tiene el BHA calculado, hasta que se muda a una nueva locación. Y darse cuenta que pocos o ninguno de sus BHAs anteriores trabajan como lo esperaba. Esto es entendible al comienzo ya que diseñar BHA no es una ciencia, sino un arte. Mantener récords precisos y extensos de rendimientos de BHAs es vital. Cuando un Perforador Direccional “nuevo” llega a un área, la única ayuda que posee en seleccionar los BHAs es el conocimiento del comportamiento de pozos perforados anteriormente.

## INTRODUCCIÓN

Las tasas de ganancia o de incremento de ángulo y las condiciones locales dictaran la selección de equipos, para perforar las diferentes secciones del pozo: sección de ganancia del ángulo, la sección tangente y la sección horizontal. Algunos equipos son estándares como los BHA’s convencionales (BHA.s sin motor) o bent sub (sustituto de inclinación) con straight motors (motores rectos) o sterable motors (motores de navegación). Para perforar la parte horizontal del pozo existen equipos específicos como ser motores de doble inclinación (double bend motors). No obstante se aplican las mismas reglas, manteniendo esto lo más sencillo posible. Minimizando la cantidad de componentes, en las sartas de perforación ya se trate de sartas normales o sartas de motor de fondo. Por encima del motor de navegación es suficiente el utilizar un estabilizador (de menos diámetro que el hueco) a menos que se tenga la posibilidad de tener un pegamiento por diferencial, tres o cuatro estabilizadores, incluyendo el near bit (cerca de la broca), son suficiente para diseñar un ensamblaje convencional para perforar manteniendo la inclinación en la sección horizontal.

La tecnologia de medida al momento con poder direccional subterraneo sistema integrado de perforacion. Abre una ventana al momento eso permite al perforador y geólogo ver virtualmente las formaciones y fluidos de la formación cuando sé esta perforando. Como resultado, los pozos pueden ser perforados más eficazmente y con mayor precisión

Guiar la tubería de perforacion direccionalmente, rápidamente y seguramente a través de la corteza de la tierra al objetivo, depende de la actuación del hardware e instrumentación de la navegación, la especialización del perforador direccional, y la planificación cuidadosa.

El perforador direccional formula un plan de perforacion antes de perforar el pozo pero debe prepararse a modificar ese plan, cuando él guía la broca al objetivo de la formación y recibe más información geológica. Hasta ahora, el perforador direccional tenía que manipular la tubería de perforacion basado en medidas mientras perforaba (MWD) de hecho esto tenia su dificultad debido a la distancia entre la broca y el dispositivo de medida, usualmente de 60 a 100 pies, dependiendo del ensamblaje de fondo. En muchos casos, los pozos tubieron que perforarse a través del fondo o tope del yacimiento debido a que estos datos no estaban disponibles en la broca.

La perforación horizontal es una técnica que ha venido desarrollando YPF Ecuador desde el año de 1996, cuando se realizaron los primeros estudios, para su aplicación en el bloque 16 del Oriente Ecuatoriano. Se hace realidad a través del proyecto de radio medio, el cual va a coronar con éxito en 1997 con la perforación del pozo horizontal Amo B-7 de radio medio en el campo Amo B. Hasta la fecha se han perforado tres (3) pozos horizontales y un pozo multilateral pertenecientes a las áreas de crudo pesado.

## <u>CONTENIDO</u>

### Resumen del Pozo Horizontal AMO B-10 (H M-1)

El pozo Amo B-10 fue el quinto pozo horizontal perforado por YPF Ecuador Inc. En la Cuenca del Oriente ecuatoriano (el tercero en el campo de Amo). Hasta el presente, este a sido el pozo horizontal perforado en el Campo Amo B más exitoso en cuanto a control geológico y la producción estimada esperada.

El pozo se comenzó a perforar el 14 de febrero de 1998 y alcanzó una profundidad total de 10,000 pies (7666.5' TVD) en 37 días. El costo final por la fase de perforación fue de $2,363,447.

El pozo esta localizado en la parte del sur-este del anticlinal de Amo sur. El tope de la formación Napo se detecto a 8,692 pies MD (-6,828.5'), 6 pies más alto que lo pronosticado. El tope del reservorio (Napo / "M-1"; unidad "C") se detecto a 8,904 pies (-6,872'), 3.5 pies más alto que lo pronosticado. El punto de navegación más bajo se alcanzó a 9,508 pies (-6896') 87.5º; 54 pies sobre el campo OWC (-6950').

El zapato del casing de 9 5/8" que corresponde al punto de aterrizaje del pozo, fue de 8,905 pies (-6872'), con un ángulo de 82.1º al tope de "M-1", unidad "C". Desde este punto se perforo un total de 1,100 pies de sección horizontal (99% de arena neta) se perforo en un hueco de 8 ½".

Herramientas LWD (CDR/GR) se usaron para la correlación estratigrafica y evaluación de la formación. La a arenisca es elemento a tosco formó grano, y se interpreta para ser una serie de cauces apilados fluviales. La calidad del depósito es buena a excelente (porosidad 20.3%).

Una prueba de Bomba Jet fue realizada, y el índice de productividad inicial se estimó en 18.68 BFPD/psi (5,279 BFPD). Con la instalación de un sistema bomba triple electrosubmersible (nueva tecnología) se estima un volumen de la producción de 30,000 BFPD con 4% de corte de agua.

**Intervalo 0'-128' (Hueco de 26", Conductor de 20")**

Este tramo se perforó en forma vertical utilizando una broca tricónica de diente largo sin BHA direccional.

**Intervalo 128'- 5894' MD / 5753' TVD (Hueco de 17 ½", Casing de 13 3/8")**

Para la perforación de este intervalo se usó dos ensamblajes direccionales, el primero con motor y un Ben Housing de 0,78° y MWD, mas dos moneles largos para evitar la interferencias magnética en el MWD. El procedimiento para calibrar el Ben Housing es el siguiente: En primer lugar se hace coincidir la marca de 0,78° en el Ben Housing del motor con el MWD con una marca, luego se mide la diferencia de ángulo que existe, se anota este valor para ingresar en la computadora.

Con este ensamblaje se perforó verticalmente con rotaria hasta 800' para realizar el levantamiento de ángulo hasta 2,8° para evitar la colisión con el pozo Amo B-4, que se acercaba al Amo B-10 a +/-1800', posteriormente se regresó a la vertical hasta 3840' en donde se realizó el KOP.

Para corregir los levantamientos de ángulo y la dirección (azimut), se realizaron surveys (mediciones), con el siguiente procedimiento:

Se deja de perforar, se sube la sarta dos o tres pies, se apagan las bombas por 15 segundos con lo cual se apaga el MWD, se prenden las bombas y el MWD y se realiza la medición en el MWD, la misma que es enviada y registrada en la computadora de Anadrill y reportada en el monitor.

**Intervalo 5894' MD / 5753' TVD - 8905' MD / 7652' MD (Hueco de $12^1/_4$", Liner de $9^5/_8$")**

Para continuar con la perforación dereccional del siguiente intervalo se utilizó un BHA consistente en broca 12 ¼" con motor, bent housing, MWD, moneles, estabilizadores y martillo con la finalidad de ir contruyendo la curva rotando y deslizando hasta llegar a la profundidad total.

En este intervalo se perforo desde 5894' hasta 8905', y se levantó el ángulo desde 29,1° hasta 82,1°

**Intervalo 7652 TVD/8905' MD-7666' TVD/10000' MD (Hueco de 8 ½" Liner 7",colgador a 8300' TVD/8728' MD)**

Para continuar con la perforación horizontal del siguiente intervalo se utilizo un BHA consistente en broca de 8 ½" con motor, ben housing, MWD, CDR, moneles, estabilizadores y martillo con la finalidad de ir construyendo la curva rotando y deslizando hasta llegar al siguiente punto de casing.

En este intervalo se perforo desde 8905' hasta 10.000' (Profundidad Total) y se levanto el ángulo desde 84,5° hasta 91,3°.

**Registros Eléctricos.**

**GR-MWD**

El registro de rayos gamma (GR) se bajó con la herramienta MWD y se activó a partir de 7900' MD hasta 8863'MD, mientras se perforaba el hueco de 12 1/4".

El GR de la herramienta MWD se registró en tiempo real mientras se perforaba. Esta característica, junto con las muestras de ripios recolectadas por los geólogos, nos permitieron determinar los diferentes topes formacionales que a continuación se describen:

**Tabla I Topes Formacionales**

| | **Formación Tena** | **Arenisca Basal Tena** | **Formacion Napo, "M-1", Unidad "A"** |
|---|---|---|---|
| **TOPE (pies) Prof. medida** | No medido | 8620 | 8692 |
| **TOPE (pies) Prof. vertical** | No medido | 7589,5 | 7608,5 |
| **TOPE (pies) Prof. vertical (NM)** | No medido | -6809,5 | -6828,5 |
| **BASE (pies) Prof. medida** | | 8692 | No medido |
| **BASE (pies) Prof. vertical** | | 7608,5 | No medido |
| **BASE (pies) Prof. vertical (NM)** | | -6828,5 | No medido |

**CDR-GR**

Luego de poner la tubería de revestimiento de 9 5/8” a 8900’ MD, con el ensamblaje para perforar el hueco de 8 ½”, se bajo la herramienta CDR (Compensated Dual Resistiviy) que registra las curvas de GR y de resitividad media PSR (Phase Shift Resistivity) y profunda ATR (Attenuation Deep Resistivity) (equivalentes a las curvas ILM y ILD del registro de inducción corrido con cable eléctrico).

A partir de 8900’ MD se obtuvo en tiempo real durante la perforacion GR, PSR y ATR. Paralelamente la herramienta grababa la informacion en el fondo, para ser recuperada despues de sacar la herramienta.

El registro en tiempo real nos permitió, junto con las muestras de ripios recolectadas por los geólogos, determinar el siguiente tope:

**Tabla II Topes de la formación Napo**

| | **Formacion Napo, “M-1”, Unidad “C”** |
|---|---|
| **TOPE (pies) Prof. Medida** | 8904 |
| **TOPE (pies) Prof. vertical** | 7652 |
| **TOPE (pies) Prof. vertical(NM)** | -6872 |
| **BASE (pies) Prof. medida** | No medido |
| **BASE (pies) Prof. vertical** | No medido |
| **BASE (pies) Prof. vertical(NM)** | No medido |

Además, permitió durante la perforación de la parte horizontal del pozo controlar la navegación, manteniéndonos dentro de la arena “M-1” “C”, la cual en este caso tuvo excelentes propiedades petrofisicas desde el punto de vista de ripios, GR y resistividad.

Se utilizó el programa de evaluación petrofísica PETCOM, el mismo que permitió transformar los registros de profundidad medida (MD) a profundidad vertical verdadera (TVD) y a profundidad vertical verdadera a nivel del mar (SSTVD), esto permitió correlacionar los registros del pozo Amo-B-10 con los registros de los pozos vecinos Amo-B-5, Amo- B-1 y Amo-2. Este programa también permitió graficar la trayectoria proyectada, que ayuda a la navegación y a la vez la trayectoria real a medida que se va perforando el pozo.

**Conclusiones**

- Las perforaciones horizontales han demostrado ser efectivas en el aumento de las tasas de producción.

- La integración de un equipo multidisciplinario, incluyendo a las empresas de servicios, constituyen factor importante en la aplicación y ejecución de esta tecnología.

- La perforación del pozo Amo B-10 fue un éxito puesto que fue perforado de acuerdo con lo planificado y dentro de los costos presupuestados. La sección Horizontal navego 1100 pies dentro de la Arenisca “M-1 C” de la formación Napo, dentro de la cual se coloco un liner ranurado el mismo que presenta un área en la boca del pozo abierta al flujo de aproximadamente 19,885 $pulg^2$ que corresponden a 138.1 $pies^2$, lo que redunda en beneficio del índice de productividad que de acuerdo a las pruebas de producción esta entre 16 y 19 BPPD/lppc, lo que le da a este pozo una gran capacidad de producción.

- En las pruebas de producción con bomba jet el pozo produjo en doce horas un promedio de 5175 BPPD con una presión de fondo estática a la altura de la bomba de 2424 lppc y una presión de fondo fluyente promedio de 2220 lppc, con una caída de presión de 233 lppc que nos da un IP de 19 BPPD/lppc. Este pozo tiene una mayor capacidad de producción dependiendo del tipo de bomba a utilizarse en el levantamiento artificial.

- Mientras más flexible sea el DC inferior, mayor será el rango B'UP alcanzable
- Un BHA rígido que mantiene la inclinación con un estabilizador fuera de calibre ubicado sobre el SDC comenzara a bajar la inclinación si dicho estabilizador es de calibre completo.
- Para un BHA normalmente tres estabilizadores son suficientes. Para BHA tipo péndulo dos son suficientes.
- El PD debe estar en el piso del taladro cuando sé este lavando/trabajando el BHA rotatorio a través de la sección punto de inicio en formaciones suaves, para evitar que el pozo se desvíe (side track)
- Un BHA que trabaja perfectamente en un área puede actuar muy diferentemente en otra. Experiencia local es esencial en afinar los BHA
- Decidir cuando sacar para cambiar un BHA es una de las principales responsabilidades del PD. Idealmente, esto debiera coincidir con un viaje para cambiar la broca.
- En la sección tangencial del pozo el cambio del BHA puede simplemente ser el cambio de la camisa el estabilizador ubicado directamente sobre el Drill collar corto (SCD) . El truco es en cuanto debe el PD cambiar el calibre. A veces el cambio de calibre en 1/16" puede conducir a un cambio significativo en el comportamiento del BHA.
- Altos rpm hacen más rígido el BHA ayuda a frenar desvíos debidos a tendencias de la formación.
- Es usualmente más fácil construir la inclinación con bajos rpm. Sin embargo, el PD pueda querer usar rpm altos durante la fase B'UP(para control direccional). El Peso sobre la broca es el mayor parámetro de perforación que influye en el rango B'UP.

- Rimar es efectivo para controlar el rango B'UP en formaciones suaves. Se hace menos efectivo para formaciones más duras. Aun así hasta en formaciones duras, rimar antes de cada conexión ayuda a mantener bajo el arrastre del hueco.

## REFERENCIAS

**a) Libro**

1. Neal J. Adams, Penn Well Books ( Tulsa, 1985)
2. Eastman Christensen, Directional drilling (Houston, 1990)

**b) Manual**

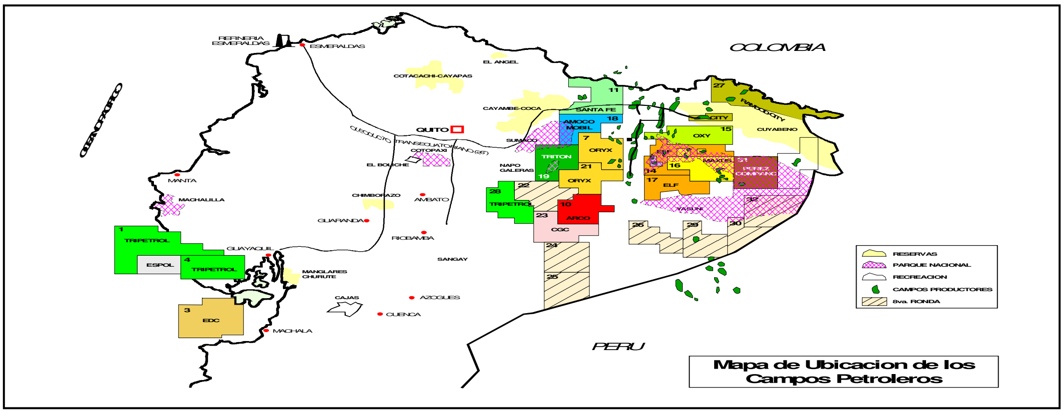
3. Anadrill Schulumberger, Horizontal Drilling Training Manual (Diciembre 1991)
4. Mike Smith, Directional Drilling Training Manual (Diciembre 1996)
5. Anadrill, PowerPack Steerable Motor Handbook (Sugar Land,Texas 1997)
6. Anadrill, Integrated Drilling Evaluation and Logging (Sugar Land, Texas 1995)

**c) Tesis**

7. R.Meza, "Evaluación De Los Diseños De Bha En Perforaciones Horizontales (Aplicado En El Pozo Amo B-10 Del Bloque 16 Del Oriente Ecuatoriano)" (Tesis, Facultad de Ingenieria de Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politecnica del Litoral, 1999)

**UBICACIÓN DEL BLOQUE 16**

**Figura 1**




**POZO HORIZONTAL AMO B-10**
**ESQUEMA DE TRAYECTORIA 3D**

**Figura 2**