

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO,
GAS NATURAL Y PETROQUIMICA



**MEJORAMIENTO DE LA PERFORACION EN ZONAS DE
BAJA PRESION**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL**

ELABORADO POR:

HUMBERTO CROSSI VILLAFANI LUYO

PROMOCION: 2011-1

LIMA-PERÚ

2014

DEDICATORIA

A todas las personas que me brindaron su apoyo y su confianza especialmente a mis padres por haberme regalado la vida y a mis hermanos que son pilares importante en mí y en el desarrollo de mi vida.

A Dios; por ser mi guía espiritual y la luz que siempre ilumina mi camino.

A todos los trabajadores de perforación de pozos que día a día sacrifican su vida por el desarrollo de la industria y por sus familias.

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento especial a mis compañeros y profesores por contribuir continuamente con mi desarrollo profesional.

A mi alma mater la prestigiosa UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA por haberme acogido en sus aulas y darme los conocimientos básicos y teóricos para ponerlos en práctica en el campo profesional.

SUMARIO

En esta tesis se hace hincapié sobre la importancia de la técnica del lodo aireado en el mejoramiento de la perforación de las zonas con baja presión del campo de desarrollo el cual llamaremos FRANTTY.

El campo FRANTTY se encuentra a 430 Kms al Este de Lima, ubicado en la cuenca de Ucayali Sur, área de Camisea, su estructura geológica está representada por un anticlinal orientado en la dirección Este – Oeste, la parte superior de la estructura está caracterizada por ser una zona de alta densidad de fracturas naturales que durante la perforación convencional generan pérdidas parciales y totales de circulación en los primeros 700 mts medidos en TVD (TRUE VERTICAL SECTION) de la estructura.

Durante la campaña de perforación de los pozos de desarrollo llevado en el campo FRANTTY Bloque 88 - Perú, se perforan pozos direccionales del cual en las prognosis de los pozos se tienen puntos de inicio (KOP - KICK OFF POINT) dentro del intervalo de pérdida total de circulación, el cual es identificado como el intervalo entre los 30 - 700 mts TVD del hoyo de superficie en la Formación Upper Red Bed.

Las tecnologías que son empleadas para mejorar la perforación de la sección direccional, aumentar la velocidad de penetración, disminuir costos, disminuir tiempos no productivos y tener una buena limpieza de hoyo mitigando las pérdidas totales de circulación son la Técnica de Fluidos Aireados o AIR DRILLING, el MWD de pulso electromagnético; APWD (Annular Pressure while drilling) y Fluido de perforación Tixotrópico base agua.

INDICE

Dedicatoria.....	I
Agradecimiento.....	II
Sumario.....	III
Índice.....	IV
CAPITULO I.- Introducción.....	1
CAPITULO II.- Planteamiento del problema.....	2
➤ 2.1 Objetivo general.....	3
➤ 2.2 Hipótesis.....	3
➤ 2.3 Variables.....	3
CAPITULO III.- Marco teórico.....	4
➤ 3.1 Perforación bajo balance.....	4
➤ 3.2 Objetivo de la perforación bajo balance.....	6
• 3.2.1 Maximizar la recuperación de hidrocarburos.....	7
• 3.2.2 Disminuir los problemas de perforación.....	8
➤ 3.3 Técnica de selección de pozos para perforación bajo balance.....	11
• 3.3.1 Requisitos de presión de fondo en el pozo.....	11
• 3.3.2 Sistema de fluidos de perforación.....	11
• 3.3.3 Estudios de yacimiento.....	20
• 3.3.4 Equipos de superficie.....	22
➤ 3.4 Cuestiones de salud, seguridad y medio ambiente.....	36
• 3.4.1 Aspecto de medio ambiente.....	36
• 3.4.2 Aspecto de seguridad.....	36
• 3.4.3 Enfoque paso a paso.....	38
➤ 3.5 Limitaciones.....	38
• 3.5.1 Limitaciones técnicas.....	39

CAPITULO IV.- Resultados de la investigación.....	42
➤ 4.1 Población y muestra.....	42
➤ 4.2 Instrumentos y técnicas para la recolección de la información.....	42
➤ 4.3 Procedimiento metodológico.....	43
➤ 4.4 Data obtenida y análisis de resultados.....	44
CAPITULO V.- Análisis económico.....	60
➤ 5.1 Análisis económico.....	60
CAPITULO VI.- Conclusiones y recomendaciones.....	65
➤ 6.1 Conclusiones.....	65
➤ 6.2 Recomendaciones.....	66
CAPITULO VII.- Bibliografía.....	67

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene como objetivo mostrar una alternativa de solución en la perforación de zonas con baja presión, utilizando la técnica de lodo aireado. Esta técnica se desarrolla con un sistema de equipos y herramientas el cual nos permite tener una presión de fondo poco menor a la presión poral de la formación, estas herramientas y equipos los describiremos en el transcurso de la tesis.

El grupo IPURURO contiene a la formación UPPER RED BEDS el cual está compuesto predominantemente por areniscas de color castaño claro, arcillas y con algunas intercalaciones de capas de conglomerados, limolitas, calizas y margas, esta formación se puede encontrar en diferentes lotes de la selva sur como en Petrobras (lote 58), Repsol (lote 57), Plus Petrol (lote 56). Estas características fueron demostradas al perforarse por primera vez de manera convencional mostrándose que es una zona con pérdidas masivas y a su vez refleja una marcada inestabilidad en las paredes de pozo.

Para enfrentar estos problemas y tratar de minimizar su impacto se presenta una solución aplicando la tecnología del lodo aireado o también llamada perforación bajo balance en el cual se ve una mejora en la velocidad de penetración, disminución en las pérdidas de lodo, mejora en la limpieza de hoyo, eliminación de los costosos programas de fluidos de perforación, reducción del daño a la formación y reducción de la probabilidad de que exista una pega diferencial.

Resumiendo todo lo expuesto esta tesis permite demostrar que se puede mejorar la perforación en zonas con baja presión, donde podemos encontrar muchos problemas perforando de la forma convencional.

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En nuestra condición de ingenieros de perforación, es de suma importancia para nosotros tratar de reducir los problemas presentados en la perforación esto viene asociado a una optimización en las operaciones y una disminución de costos asociados a la perforación.

Cuando perforamos convencionalmente las zonas superficiales con baja presión estamos expuestos a distintos acontecimientos que nos pueden encarecer la perforación entre ellas tenemos:

- Perdida de circulación
- Pegas diferenciales
- Baja velocidad de penetración
- Costosos programas de fluidos de perforación
- Limpieza no efectiva del pozo

En el campo FRANTTY, específicamente en el lote 88, un campo que en su columna geológica estratigráfica cuentan con la formación UPPER RED BEDS el cual es una formación predominantemente arenisca con alta inestabilidad en las paredes de pozo, susceptible a los derrumbes y con pérdidas masivas de lodo, todas estas características atribuidas y comprobadas por la ingeniería de perforación. Ante estos problemas, y dadas las condiciones no favorables que se presentan cuando perforamos convencionalmente esta formación, necesitamos de la aplicación de una tecnología el cual nos garantice la disminución y en el mejor de los casos la eliminación total de todos estos problemas encontrados en la perforación convencional. Esta solución es la "PERFORACION CON LODO AIREADO", técnica en cual consiste en trabajar con la presión de fondo menor a las presiones porales de formación, esta condición es posible debido a las continuas inyecciones de aire aplicada al

fluido de perforación que en el desarrollo del presente proyecto se explicara con mayor precisión.

2.1 Objetivo general

Mejorar la tasa de penetración, disminuir los tiempos no productivos y eliminación de los costosos programas de fluidos de perforación - caso estudio lote 88-campo FRANTTY.

2.2 Hipótesis

La técnica del lodo aireado mejorara la perforación en zonas superficiales con baja presión, aumentando la tasa de penetración y disminuyendo el tiempo no productivo.

2.4 Variables

Variables de estudio:

- Densidad equivalente de circulación.
- Presión de cabeza
- Presión de poro
- Profundidad
- Rate de penetración

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Perforación bajo balance

Perforación Bajo balance es cuando la presión efectiva de circulación en el fondo del pozo, la cual es igual a la presión hidrostática de la columna de fluido mas las perdidas por fricción en el anular es menor que la presión de poro de la formación. Convencionalmente, los pozos son perforados sobre balance lo cual provee la primera barrera de control sobre el yacimiento. La presión ejercida sobre el yacimiento se origina de tres diferentes mecanismos

- Presión Hidrostática (pasiva) debido al peso de la columna de fluido y al peso de los cortes de perforación.
- Presión Dinámica (Dinámica) debido a la fricción por la circulación del fluido de perforación dentro del pozo
- Presión Impuesta (confinada o activa) se origina cuando se ejerce una contrapresión en la cabeza del pozo o simplemente cuando se aísla parcial o totalmente el pozo en superficie creando áreas con presiones diferenciales (por ejemplo mediante cabezas rotativas o gomas sellantes).

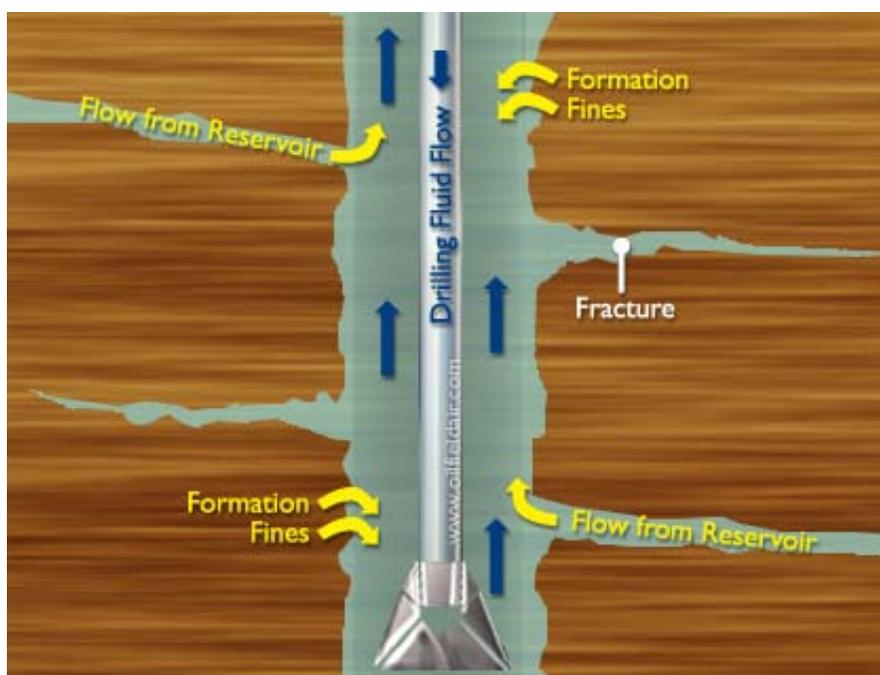
La perforación bajo balance es definida como la operación de perforación donde la presión hidrostática del fluido es intencionalmente diseñada para ser menor que la presión del yacimiento que está siendo perforado. La presión hidrostática del fluido de perforación puede ser por sí sola menor que la presión de la formación, o puede ser inducida por medio de la inyección de aire, gas natural o Nitrógeno dentro de la fase líquida del fluido de perforación. En cualquiera de los dos casos en que se alcance la condición bajo balance, el resultado es un influjo de fluidos de formación los cuales deben ser circulados desde el fondo del pozo y controlados en superficie.

La condición bajo balance en términos prácticos resultará en un flujo desde una o más zonas hacia el pozo (sin embargo, esto es más probable que se presente únicamente desde una zona con flujo cruzado) o donde el potencial de flujo exista.

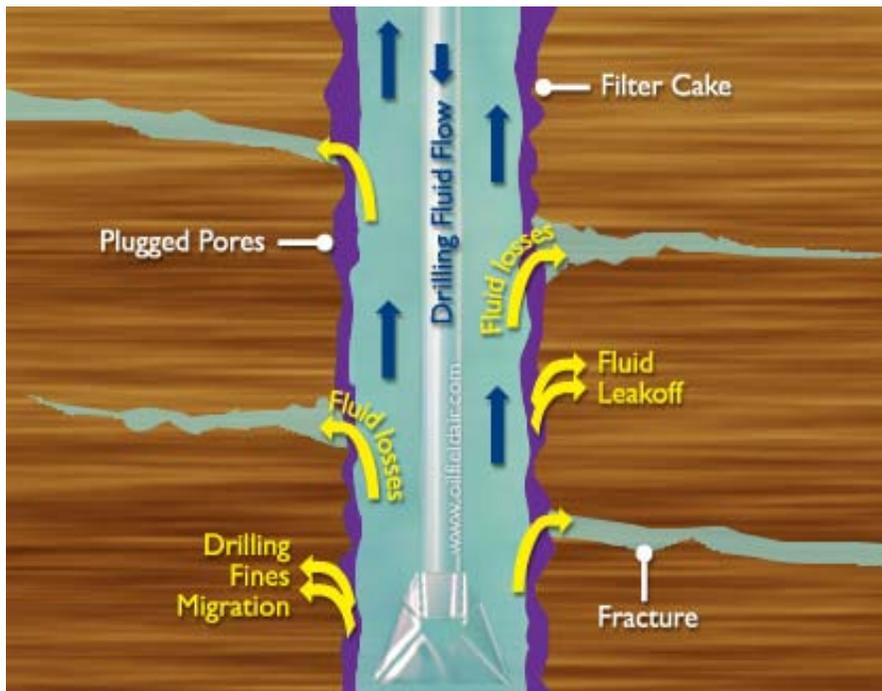
Una menor cabeza hidrostática evita la aparición del filtrado del lodo (torta de lodo) sobre las paredes del pozo, así como también la invasión de lodo y sólidos dentro de la formación, lo cual ayuda a mejorar la productividad del yacimiento y reduce los problemas de perforación.

Al comparar la perforación bajo balance con la perforación convencional, se puede establecer que un influjo de fluidos de formación hacia el pozo debe ser controlado para evitar problemas de control del pozo. En la perforación bajo balance, los fluidos del pozo son llevados a un sistema cerrado en superficie donde se controlan y separan, evitando descontrol en la operación. Con el pozo fluyendo, el sistema de preventoras se mantiene cerrado durante la perforación, en oposición a la perforación convencional donde los fluidos son devueltos a un sistema abierto con el pozo expuesto a la presión atmosférica.

PERFORACION BAJOBALANCE



PERFORACION CONVENCIONAL



3.2 Objetivo de la perforación bajo balance

Los objetivos de la perforación bajo balance se pueden dividir en dos grandes categorías:

- Maximizar la recuperación de hidrocarburos
- Minimizar los problemas de perforación

Estas dos categorías son las principales razones por las que se desarrollan las operaciones de bajo balance.

Existen también ventajas y desventajas específicas de la perforación bajo balance las cuales pueden ser resumidas como sigue:

Ventajas:

- Aumento de la tasa de penetración
- Disminución del daño de formación

- Elimina el riesgo de pegas diferenciales
- Reduce el riesgo de pérdidas de circulación
- Disminuye el peso requerido sobre la broca
- Aumenta la vida útil de la broca
- Problemas de huecos apretados pueden ser reducidos
- Reduce el tamaño de los cortes aumentando la capacidad de limpieza.

Desventajas:

- Inestabilidad de las paredes del pozo
- Incrementa costos dependiendo del sistema utilizado
- Incompatibilidad con herramientas de MWD convencionales
- Efectos espontáneos de flujos en contracorriente.
- Drenaje gravitacional en pozos horizontales.
- Posible daño mecánico cerca a las paredes del pozo.
- Discontinuidad en la condición bajo balance.
- Generalmente más altos riesgos con más problemas inherentes.
- Aumento del peso de la sarta debido a la disminución de la boyanza.
- Posible exceso de erosión en las paredes del pozo.
- Incremento del torque y arrastre.

Los dos principales objetivos de la perforación bajo balance se pueden subdividir como se enumeran a continuación:

3.2.1 Maximizar la recuperación de hidrocarburos

➤ Disminución del daño a la formación:

No se presenta invasión de sólidos de perforación o filtrado del lodo dentro de la formación productora.

➤ **Producción Temprana:**

El pozo empieza a producir tan pronto como el yacimiento es perforado con la broca. Esto puede ser una desventaja si la producción de hidrocarburos no puede ser manejada o almacenada en superficie o si no están disponibles líneas de transferencia hacia tanques de almacenamiento.

➤ **Reduce trabajos de estimulación:**

Como no hay ninguna invasión de filtrado o sólidos en la formación productora en un pozo perforado bajo balance, se elimina la necesidad de trabajos de estimulación posteriores a la perforación. Se ha visto en pozos perforados bajo balance que la estimulación puede reducir de manera significativa la productividad del yacimiento. Una acidificación fue llevada a cabo en un pozo perforado bajo balance y éste redujo la producción de gas de 20 MMSCFD a 2MMSCFD. Los beneficios totales que se obtuvieron en la perforación de este pozo en condiciones de bajo balance nunca se recuperaron.

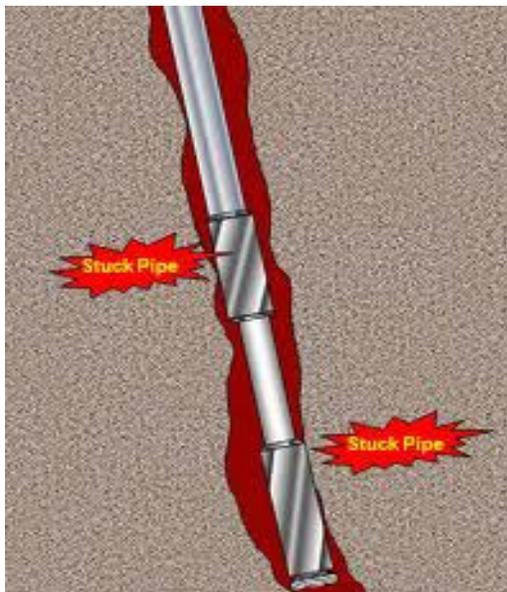
➤ **Recuperación Mejorada:**

Debido al incremento en la productividad de un pozo perforado bajo balance combinado con la habilidad de perforar pozos agotados en campos depletados, la recuperación mejorada de hidrocarburos remanentes en el yacimiento es posible. Esto puede alargar la vida de un campo de forma significativa. Una alta productividad también produce una menor caída de presión en el pozo, lo cual puede sucesivamente evitar o reducir la bonificación del agua de formación.

3.2.2 Disminuir los problemas de perforación

➤ **Pega diferencial de tubería:**

La ausencia de sobrecarga sobre la formación combinada con la ausencia de torta de lodo en las paredes del pozo previene la pega diferencial de la sarta de perforación. Esto es especialmente útil cuando se está perforando con tubería continua debido a la ausencia de uniones, lo cual incrementa la distancia entre la tubería y las paredes del pozo.



➤ **Pérdidas de Circulación:**

En general, la reducción de la presión hidrostática en el anular reduce las pérdidas de fluido dentro de la formación productora. En la perforación bajo balance, la presión hidrostática es reducida a un nivel en donde no se presentan pérdidas de circulación.

➤ **Aumento de la Tasa de Penetración:**

La presión en la cara de formación es ejercida por la suma de las pérdidas de fricción en el anular y la columna hidrostática del lodo, por medio de la perforación de bajo balance se puede disminuir considerablemente el peso de la columna hidrostática, incrementando de 2 a 5 veces la velocidad de penetración ya que la presión diferencial entre la presión de la cara de formación y la presión de poro disminuye y a su vez las pérdidas de fricción en el sistema disminuyen.

En la perforación de bajo balance se puede reducir considerablemente el peso de la columna de fluido utilizando fluidos livianos o fluidos aireados (nitrogenado o gasificado), esto también se ve reflejado en unas menores perdidas por

fricción en el sistema, debido a que estas están directamente en función de la densidad.

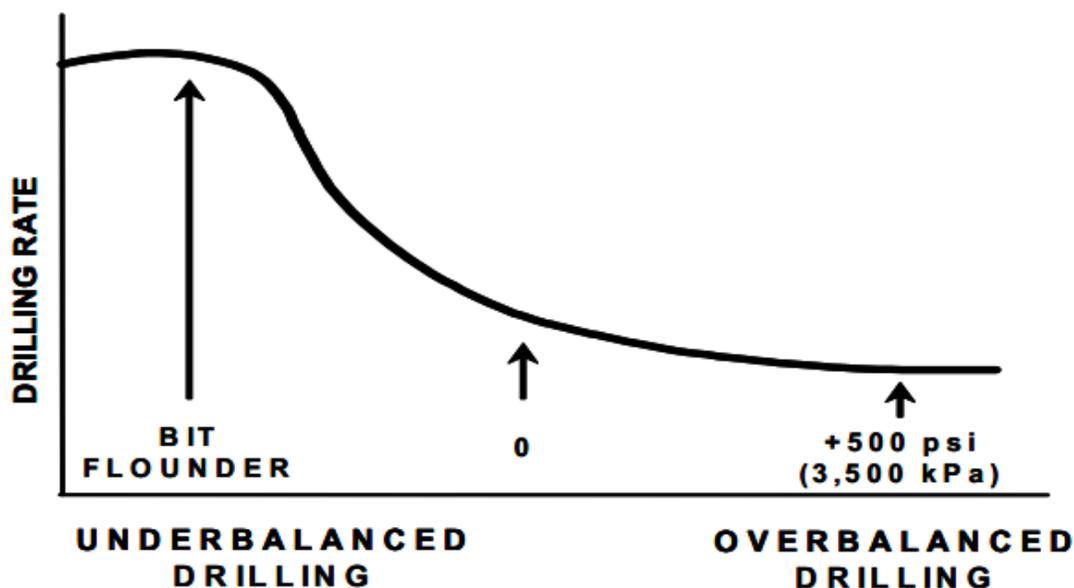


Fig. 7–ROP decreases as BHP increases (after Rehem²).

➤ **Reducción del ECD (Densidad Equivalente de Circulación) en pozos de radio extendido:**

La perforación de secciones horizontales o direccionales de radio extendido crea a medida que se profundiza unas mayores pérdidas por fricción en el anular. Esta presión de fricción actúa sobre el fondo del pozo y aumenta lentamente la sobrepresión sobre la formación. Esto tiene como resultado una reducción de la tasa de penetración y aumenta el potencial de pérdidas de circulación. La perforación bajo balance reduce las pérdidas de fricción en el anular al permitir que la energía del yacimiento empuje los fluidos fuera del pozo.

3.3 Técnica de Selección de pozos para perforación bajo balance

Se puede aplicar un proceso básico de cuatro etapas y así determinar las opciones y requisitos para que un pozo sea perforado bajo balance:

1. Determinar los requisitos de presión en el fondo del pozo (BHP)
2. Identificar las opciones del fluido de perforación
3. Establecer el diseño del pozo y correr modelos de flujo en simulador.
4. Seleccionar el equipo de superficie

3.3.1 Requisitos de presión de fondo del pozo

En la perforación convencional se selecciona un peso de lodo que proporcione una presión hidrostática de 200 a 1000 psi por encima de la presión del yacimiento. En la perforación bajo balance seleccionamos un fluido que proporcione una presión hidrostática de 200 psi por debajo de la presión inicial del yacimiento. Esto es un punto de partida para la selección del sistema de fluido. En el estudio de viabilidad, esto es más detallado dependiendo del influjo esperado del yacimiento con una caída de presión de 200 psi. Al evaluar todas las simulaciones hidráulicas de la perforación, estas pueden indicar que 200 psi de caída de presión no son suficientes para alcanzar la condición bajo balance y el pozo estará sobre balance cuando se circule. Si este es el caso el fluido de circulación tendrá que ser reevaluado.

3.3.2 Sistemas fluidos de perforación

La correcta selección del sistema de fluido es la clave para un resultado exitoso en una operación de perforación bajo balance. Por esta razón examinaremos con más detenimiento los sistemas de fluidos utilizados en la perforación bajo balance.

➤ **Sistemas de fluidos aireados o Gasificados (dos fases)**

Un Fluido de perforación compresible es básicamente una técnica de perforación en la cual los sistemas más comunes de fluidos de circulación, agua, lodo o diesel, son inyectados o reemplazados por gases altamente compresibles. Estos gases realizan las mismas funciones del fluido de perforación, lubricar la broca y limpiar el fondo del pozo. La aplicabilidad de los sistemas de fluidos compresibles está limitada a las condiciones de litología, presión de poro de la formación y donde se logren ahorros en tiempo del taladro y dinero, a pesar de la necesidad de equipo adicional para aplicar la tecnología bajo balance. La perforación con fluidos compresibles incluye: aire o gas seco, niebla, espuma estable/pesada, y lodo gasificado.

➤ **Perforación con Aire – Gas seco**

Son básicamente sistemas de gas. En las primeras operaciones de perforación bajo balance se utilizaba aire para perforar. Hoy, la perforación con aire seco todavía se aplica en la perforación de roca dura (Basamento), y en la perforación de pozos de agua. No se recomienda la utilización de aire en yacimientos de hidrocarburos, puesto que la combinación de oxígeno y gas natural puede causar una mezcla explosiva. Se conocen varios casos donde fuegos en el fondo del pozo han destruido la tubería de perforación, con la posibilidad de incendiarse el taladro de perforación si el fuego alcanza la superficie. Para evitar el uso de aire, se introdujo el Nitrógeno. La experiencia con nitrógeno en operaciones de reacondicionamiento de pozos lo convirtió en la primera elección para operaciones de perforación bajo balance, ya que es un gas inerte que entre otras ventajas disminuye la corrosión y evita las explosiones o fuegos en el fondo del pozo. La utilización de Nitrógeno criogénico o líquido en operaciones de perforación es limitada debido a la gran cantidad de Nitrógeno requerida para una operación bajo balance. Otra opción es la utilización de gas natural, el cual si está disponible ha probado ser una buena alternativa para operaciones de perforación. Si se está perforando bajo balance un yacimiento de gas, se puede utilizar un pozo productor cercano, o el

gasoducto de producción para obtener el suficiente gas natural necesario a una adecuada presión para la operación de perforación bajo balance. Esto evita la inyección de aire-oxígeno dentro del pozo y cuando está disponible es un sistema económico de perforación.

Características de la perforación con aire-gas:

- Tasas de Penetración altas.
- Aumenta la vida útil de la broca.
- Aumenta el rendimiento de la broca.
- Buenos trabajos de cementación. Pozo en calibre.
- Alta productividad del yacimiento.
- No puede manejar grandes influjos de agua.
- Pueden presentarse baches de aire-agua.
- Pueden producirse anillos de lodo en la tubería si hay influjo de agua.
- La buena limpieza del pozo depende de la velocidad en el anular

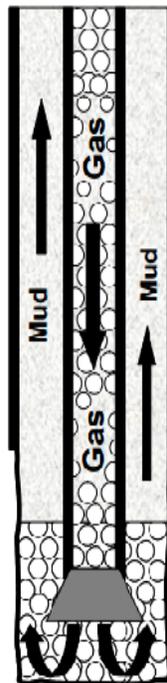


Fig. 2–Gas is injected in the well to reduce the hydrostatic column (after Rehm²).

➤ **Perforación con Niebla**

Si los sistemas de gas o aire seco no son apropiados, la inyección de una pequeña cantidad de líquido formará inicialmente un sistema de niebla. El fluido añadido al ambiente gaseoso se dispersará en pequeñas gotas y formará un sistema de perforación de niebla. Generalmente, esta técnica ha sido usada en áreas donde existe influjo de agua de formación y evita algunos problemas que pueden presentarse si se la perfora con aire seco. Se utiliza en aplicaciones especiales, ya que la limpieza del pozo es más difícil en sistemas de perforación con niebla.

Características de la Perforación con Niebla:

- Similar a la perforación con aire seco con adición de líquido.
- Depende de la velocidad en el anular para remover los cortes.
- Disminuye la formación de anillos de lodo en la tubería.
- Volúmenes requeridos de aire-gas más altos, 30 – 40% más que con aire seco.
- Presiones de Inyección más altas que con aire-gas seco.
- Incorrectas relaciones de aire/gas – líquido produce baches en superficie.

➤ **Perforación con espuma**

El sistema de espuma estable se logra inyectando una mayor cantidad de líquido y un agente espumante o surfactante. La espuma estable que se utiliza para perforar tiene una textura como la de la espuma de afeitar. Es un fluido de perforación muy bueno con una capacidad de acarreo de cortes muy alta por su elevada viscosidad y una densidad baja, lo que permite tener columnas hidrostáticas reducidas en el pozo. En los sistemas de espuma tradicional, una espuma estable mantiene dicha condición incluso cuando retorna a superficie convirtiéndose en un problema si la espuma no se puede romper lo suficientemente rápido. En los antiguos sistemas de espuma, la cantidad de

agente antiespumante tenía que ser examinada cuidadosamente para que la espuma se rompiera antes de que cualquier fluido dejara los separadores. Especialmente en la perforación con sistemas cerrados de circulación, la espuma estable podría causar problemas de sobre flujo por los separadores. Los sistemas de espuma estable recientemente desarrollados son más fáciles de romper y el líquido se puede reciclar, necesitando una menor cantidad de agente espumante y utilizando un sistema cerrado de circulación. En superficie la calidad de la espuma utilizada para la perforación esta normalmente entre 80% y 95 %. Esto significa que entre el 80% y 95% del fluido es gas y el restante porcentaje es líquido, generalmente agua. En el fondo del pozo debido a la presión hidrostática de la columna en el anular, esta relación cambia porque el volumen de gas se reduce al comprimirse. Una calidad promedio en el fondo del pozo está entre 50% y 60%.

Características de la perforación con espuma:

- La adición de líquido en el sistema reduce el influjo de agua.
- Alta capacidad de acarreo de cortes de perforación.
- Alta tasa de penetración por baja densidad y buena limpieza.
- Reduce tasas de bombeo de líquido por su capacidad de acarreo.
- Reduce tendencia de baches dentro del pozo.
- No afecta la remoción de cortes ni la densidad equivalente de circulación (ECD) cuando se presentan cortes ocasionales en los retornos de la espuma a superficie.
- Es necesario buen control en superficie y condiciones estables en el fondo del pozo.
- Es necesario pre-diseñar el sistema de rompimiento de la espuma en superficie antes de la operación.
- Se requiere equipo adicional en superficie

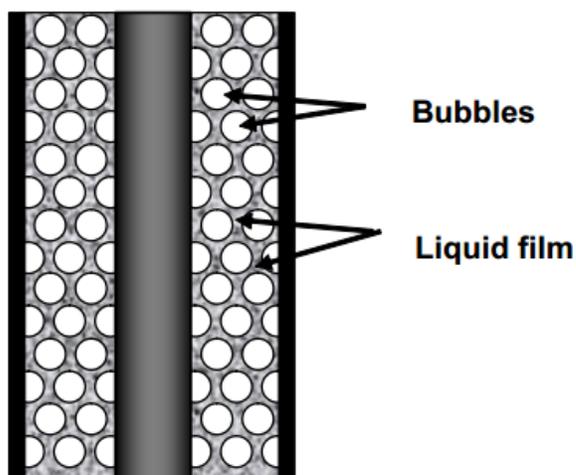


Fig. 12–Foam is made of bubbles that are surrounded by a liquid film (after Rehm²).

➤ **Sistemas aireados o gasificados (dos fases)**

Si un sistema de espuma es demasiado ligero para el pozo, se puede utilizar un sistema gasificado. En estos sistemas el líquido se gasifica para reducir la densidad. Hay varios métodos que se pueden utilizar para gasificar un sistema líquido. Estos métodos se discuten en los sistemas de inyección. La utilización de gas y líquido como sistema de circulación en un pozo complica el programa hidráulico. La proporción de gas y líquido debe ser calculada cuidadosamente para asegurar que se utiliza un sistema de circulación estable. Si se utiliza demasiado gas, se producirá un atascamiento. Si no se utiliza suficiente gas, se excede la presión requerida del fondo de hueco y el pozo se convierte en un sistema sobre balanceado.

➤ **Fluidos de fase única**

La primera aproximación es normalmente utilizar un sistema fluido con una densidad lo suficientemente baja para proporcionar una condición bajo balance. Si se puede utilizar agua entonces este es el primer paso a tomar. Si el agua es demasiado densa se puede considerar el aceite. Se debe recordar que un pozo se puede comenzar con un sistema de base petróleo, pero si el yacimiento

produce petróleo crudo el sistema de circulación se convertirá en petróleo crudo, ya que el petróleo base no puede ser separada del crudo. Si se bombea a \$25 por barril de petróleo base y se produce a \$15 por barril de petróleo crudo, perforar un pozo bajo balance no tiene ningún sentido económico. Si se selecciona un sistema de petróleo crudo, el taladro de perforación debe estar equipado para asegurar que el crudo se puede desgasificar antes de que entre al sistema de hoyo cerrado. En un equipo de perforación mar adentro se debe utilizar un sistema de piscinas completamente cerrado, ventilado y purgado constantemente con Nitrógeno para asegurar que no se acumulen gases liberados del crudo. Se ha intentado la utilización de aditivos, como esferas de vidrio, para hacer un fluido más liviano. Sin embargo debido a que dichas esferas de vidrio se salen del sistema por encima de las zarandas, se quedan en el equipo de separación de sólidos o son trituradas o dañadas en su paso a través del sistema, se necesita agregar continuamente esferas nuevas al sistema. La adición de esferas de vidrio es una opción cara y no muy efectiva para alivianar el fluido.

➤ **Sistema de inyección de gas**

Si se requiere reducir la densidad de un fluido, puede seleccionarse la inyección de gas dentro de la corriente del fluido. Esto ofrece una elección más amplia no sólo dentro del gas utilizado, sino también del modo en que el gas es utilizado en el pozo. Normalmente el gas natural o el nitrógeno se utilizan como gas de inyección aunque tanto CO₂ como O₂ pueden ser utilizados. Sin embargo, no se recomienda ningún gas que contenga oxígeno por dos razones básicas. La combinación de oxígeno y fluidos salinos con las altas temperaturas del fondo del pozo causan una corrosión severa en la tubería utilizada en el pozo, tanto en el revestimiento como en la sarta de perforación. Adicionalmente, si durante el proceso de perforación llegan a entrar hidrocarburos en el pozo lo cual es de esperarse en un ambiente de bajo balance, una situación potencialmente explosiva puede presentarse, resultando en un incendio en fondo de pozo.

Varios métodos de inyección de gas están disponibles para reducir la presión hidrostática, y son tratados a continuación:

➤ **Inyección por la tubería de perforación**

Se inyecta gas comprimido al múltiple de la línea de inyección donde se mezcla con el fluido de perforación. La principal ventaja de este sistema que no se necesita equipo especial en fondo de pozo. La utilización de válvulas anti retorno confiables es requerida para prevenir el flujo hacia arriba a través de la tubería de perforación. Las tasas de inyección de gas utilizadas al perforar con el sistema de inyección a través de la tubería de perforación son normalmente más bajas que con una inyección de gas anular. Utilizando este sistema se pueden conseguir bajas presiones en fondo de pozo. Las desventajas de este sistema incluyen la necesidad de parar el bombeo y aliviar la presión remanente atrapada en la sarta de perforación cada vez que se hace una conexión. Esto ocasiona incrementos en la presión de fondo y puede ser difícil obtener un sistema estable y evitar los picos de presión en el yacimiento cuando se utiliza la inyección a través de la tubería de perforación. La utilización de herramientas de MWD del tipo de pulso de lodo es posible solamente hasta concentraciones del 20% de gas por volumen. Si se utilizan volúmenes de gas más altos, el sistema de pulso utilizado en sistemas de transmisión MWD dejará de funcionar. Herramientas especiales de MWD tales como herramientas electromagnéticas deberán ser utilizadas si se requieren altas tasa de inyección de gas. Estas herramientas, sin embargo, no funcionan muy bien en operaciones mar adentro o si se perforan cantidades significativas de evaporitas. Una alternativa es conectar la herramienta de MWD desde el fondo del pozo hasta superficie mediante un cable eléctrico. Esta técnica ha sido usada con éxito en operaciones de perforación con tubería flexible (coiled tubing drilling). Si se va a utilizar tubería de perforación pueden utilizarse conectores húmedos (wet connectors), sin embargo, el tiempo adicional requerido para utilizar esta técnica puede ser una limitante. Una desventaja adicional de la inyección de gas a través de la tubería de perforación es la

impregnación del gas dentro de cualquier sello de caucho en las herramientas de fondo de pozo. Los motores de desplazamiento positivo PDM tienden a fallar cuando los componentes de caucho se impregnan con el gas de inyección y luego son sacados hasta superficie. Una vez que el viaje es realizado, caucho puede explotar o hincharse como resultado de la expansión del gas que no puede dispersarse fuera del estator lo suficientemente rápido. Este efecto (de compresión explosiva) destruye no sólo los motores PDM, sino que también afecta cualquier sello de caucho utilizado en fondo de pozo, resultando en un grave problema de falla de los motores que puede ser muy costoso para la operación de perforación. Componentes especiales de caucho han sido desarrollados y el diseño de los motores modificado para permitir esta expansión. La mayoría de proveedores de motores PDM pueden ahora proporcionar motores especialmente diseñados para ser usados en este tipo de ambientes de fondo de pozo. Sin embargo, Si se considera la inyección de gas a través de la tubería de perforación, la utilización de turbinas de metal debería ser considerada dependiendo de las demandas de la operación. Precauciones deberán ser tomadas cuando se va a desensamblar el ensamblaje de fondo en el caso de que exista alguna presión atrapada en las herramientas del BHA

➤ **Inyección anular**

La inyección anular de gas a través de una sarta concéntrica es la técnica que ha sido más usada en las operaciones mar adentro en el Mar del Norte. Este método es bueno, si se tiene un esquema de completamiento con tubería de producción (tubing) o un revestimiento conveniente está instalado en el pozo. En el caso de un pozo nuevo, una sarta corta de revestimiento (liner) deberá ser sentado justo en el tope de la formación objetivo. Esta tubería es luego extendida hasta superficie utilizando un colgador de tubería de producción modificado para suspender la sarta o revestimiento temporal (tie-back). El gas es inyectado en el anular conformado entre el revestimiento del pozo y la sarta de revestimiento temporal para facilitar la obtención de la presión de fondo requerida durante la operación de perforación. La sarta de revestimiento

temporal es recuperada antes de la instalación del completamiento final del pozo. Exista una alternativa para el caso de un pozo antiguo el cual tiene el completamiento instalado e incorpora mandriles para válvulas de levantamiento por gas. Estos pueden ser calibrados para proporcionar las presiones de fondo correctas durante la operación de perforación. La desventaja que se tiene con este tipo de operación es que el tamaño del hueco y las herramientas requeridas están restringidos por el mínimo diámetro interior del completamiento. La ventaja principal de éste sistema es que la inyección de gas continúa durante las conexiones, creando así presiones de fondo de pozo más estables. Al mismo tiempo que el gas es inyectado por vía anular, un fluido de fase única es bombeado a través de la sarta de perforación. Esto tiene la ventaja de que las herramientas de MWD operan en su medio preferido lo cual puede tener un efecto positivo en el costo operacional de un proyecto. Las desventajas de este sistema sin embargo, son que un esquema conveniente de completamiento/revestimiento deberá estar disponible y el punto de inyección deberá estar localizado suficientemente profundo para obtener las condiciones de bajo balance requeridas. Puede haber algunas modificaciones requeridas en la cabeza de pozo para la instalación de la sarta de revestimiento temporal y el sistema de inyección de gas.

3.3.3 Estudios de Yacimiento

Antes de que la operación de perforación bajo balance sea emprendida, se necesita realizar una significativa cantidad de trabajo en el yacimiento. No sólo se requiere una presión del yacimiento exacta, sino que el mecanismo de daño del yacimiento deberá ser comprendido para asegurar que los beneficios requeridos son en efecto posibles. Ciertos pozos o yacimientos son buenos candidatos para las operaciones bajo balance y resultan en un recobro mejorado. Otras formaciones o campos pueden no ser convenientes para la perforación bajo balance por una variedad de razones. Un resumen de estas razones es listado a continuación:

Yacimientos que se beneficiarán de la perforación bajo balance:

- Formaciones que usualmente sufren daño mayor de formación durante las operaciones de perforación o completamiento.
- Formaciones que usualmente exhiben alta tendencia a las pegas diferenciales y pérdida de tubería.
- Formaciones que exhiben zonas de alta pérdida de circulación o invasión de fluidos durante la perforación o el completamiento.
- Pozos con largas fracturas macroscópicas.
- Pozos con formaciones masivas heterogéneas o altamente laminadas que exhiben diferencias en permeabilidad, porosidad o garganta de poro a través de ellas.
- Yacimientos de alta productividad con media a alta permeabilidad.
- Formaciones sensitivas a los fluidos de perforación
- Formaciones que generalmente exhiben muy bajas ratas de penetración en condiciones sobre balanceadas.

Yacimientos que generalmente no se beneficiarán de la perforación bajo balance:

- Pozos en áreas de muy bajo costo de perforación convencional.
- Pozos de extremadamente baja permeabilidad.
- Formaciones pobremente consolidadas.
- Pozos con baja estabilidad de la cara de la formación.
- Pozos con zonas laminares de matriz vagamente cementada.
- Pozos que contienen múltiples zonas de diferente presión.

Será requerida una prueba de barrido de núcleo o muestra de la formación para establecer la compatibilidad entre el fluido de perforación propuesto, y los fluidos producidos del yacimiento. Esto es crucial si se perforan yacimientos de petróleo en condición bajo balance. Se necesita revisar el potencial para la formación de escamas o costras y emulsión antes de que las operaciones de perforación empiecen. La estabilidad y el índice de resistencia a la compresión

no confinada (UCS) de la zona de interés deberán ser determinadas para verificar que la trayectoria propuesta para el pozo es estructuralmente capaz de ser perforada con la caída de presión anticipada en la formación.

Se debe revisar la productividad esperada con el grado de bajo balance propuesto.

El objetivo de la perforación bajo balance es limpiar el yacimiento, no que el pozo produzca a su máxima capacidad. Se debe saber si existen probabilidades de que el yacimiento produzca, ya que un influjo de agua puede tener efectos significativos sobre el proceso de bajo balance. Es importante que se analice la productividad esperada con los ingenieros de yacimientos para obtener una buena indicación de si la perforación bajo balance será beneficiosa en dicho caso. Una vez que las condiciones del yacimiento son comprendidas, y que se ha probado no solo que es ventajoso perforar el pozo bajo balance sino que el perfil propuesto del pozo es también suficientemente estable, puede seleccionarse el equipo de superficie.

3.3.4 Equipo de superficie

El equipo de superficie para la perforación bajo balance se puede dividir en 4 categorías principales.

Estas son:

- Sistema de perforación
- Equipo de generación de gas
- Equipo de control del pozo
- Equipo de separación de superficie.

Si se utiliza el proceso de plataforma o equipo de exportación al perforar en condición bajo balance, esto se considera como un tema aparte y por lo tanto no está incluido en este documento

➤ Sistema de perforación

El tamaño del hueco y la penetración en el yacimiento tanto como la trayectoria direccional determinarán cual es la sarta de perforación óptima entre tubería flexible y tubería de uniones roscadas. Si el tamaño del hueco es mayor de 6-1/8", tubería de uniones roscadas deberá ser usada. Para tamaños de hueco de 6-1/8" o menor tubería flexible puede ser considerada. Actualmente el tamaño de tubería flexible utilizado para operaciones de perforación está entre 2" y 2-7/8" de diámetro externo. Esto se debe a muchos factores incluyendo: tasa de flujo a través del rollo, caída de presión a través de la tubería, peso sobre la broca, perfil del pozo, máximo peso a levantar, tanto en el hueco como del equipo superficie y el peso del rollo de tubería mismo. Algunas veces puede suceder que el sistema ideal de tubería flexible para un operación pueda ser descartado debido a otros factores tales como grúa o limitaciones de transporte o la vida útil de la tubería flexible puede no ser económicamente factible.

El sistema de tubería enrollada tiene varias ventajas y desventajas sobre los sistemas de tubería con uniones roscadas. Para los sistemas de tubería enrollada, las propiedades de la sarta de perforación y los viajes bajo presión deberán ser considerados. La instalación de un sistema de empuje o de retención (Snubbing unit) de la tubería bajo presión en una plataforma o en un taladro con una distancia fija entre la mesa rotaria y la cabeza del pozo puede causar graves problemas. Varias operaciones en taladros de perforación en tierra tuvieron que ser rediseñadas para acomodar los sistemas de empuje/retención asistentes de taladro

➤ Equipo de generación de Gas

• Gas Natural

Si se utiliza gas natural para la perforación bajo balance, puede necesitarse un compresor de gas natural. Esto tendrá que ser revisado una vez que la fuente de gas sea conocida. La mayoría de las plataformas de producción tendrán una

fuente de gas de alta presión. Serán requeridos un regulador de flujo y un regulador de presión para controlar la cantidad de gas inyectado durante el proceso de perforación.



- **Nitrógeno Criogénico**

Se puede considerar la utilización de Nitrógeno en tanques para localizaciones en tierra donde camiones de gran tamaño pueden ser utilizados para suministrar el nitrógeno. Nitrógeno criogénico transportado en tanques de 2000 galones proporciona una alta calidad de Nitrógeno y utiliza equipo que por lo general es menos costoso. El Nitrógeno líquido es pasado a través del convertidor de Nitrógeno, donde el fluido es bombeado a presión antes de ser convertido en gas. Posteriormente el gas es inyectado dentro de la sarta. Generalmente se requiere solo un convertidor de Nitrógeno y un tanque de trabajo con tanques adicionales que son suministrados en la medida en que son requeridos. Para operaciones de más de 48 horas el requerimiento de Nitrógeno líquido puede ser bastante alto, lo cual puede resultar en dificultades de tipo logístico. El uso de Nitrógeno criogénico para operaciones mar adentro en ocasiones no es recomendado dependiendo de la aplicación. Bombear 1500

scft/min de Nitrógeno en un periodo de perforación de 24 horas requeriría 15 tanques de 2000 galones cada uno. El traslado de estos tanques hacia y desde una plataforma es una tarea significativa que implica serios riesgos en materia de seguridad. Si la perforación continuara por varios días, se requerirían dos barcos dedicados para mantener el suministro. Para evitar este problema de suministro de Nitrógeno, a menudo se recomienda el uso de generadores de Nitrógeno en operaciones mar adentro.



- **Generación de Nitrógeno**

Un generador de Nitrógeno no es más que un sistema de filtros que filtra el Nitrógeno sacándolo de la atmósfera. Pequeñas membranas son usadas para filtrar el aire. El aire enriquecido de oxígeno es ventilado a la atmósfera y el nitrógeno es comprimido hasta la presión de inyección requerida.

Un generador de nitrógeno tiene una eficiencia del 50%. Esto significa que si se requieren 1500 scft/min de nitrógeno, 3000 scft/min de aire deberán ser alimentados al generador. Un sistema completo de generación e inyección de Nitrógeno para 1500 scft/min se compondría de 3 o 4 compresores grandes de aire, un generador de Nitrógeno y un elevador de presión (Booster).

Este equipo ocupa un espacio significativo en la cubierta en una torre de perforación mar adentro o plataforma. Actualmente están entrando en el

mercado sistemas mejores, de tal manera que un paquete de generación de nitrógeno empacado en un contenedor de 40 ft está disponible con diferentes proveedores del servicio.



Otra de las cuestiones asociadas con la generación de nitrógeno es la pureza de éste. Dependiendo de la cantidad de Nitrógeno requerido, la pureza varía. Al 95% de pureza, 5% de oxígeno será entregado. Aunque esto no es oxígeno suficiente para causar niveles de explosión, es suficiente oxígeno para causar problemas significativos de corrosión. La corrosión empeora cuando se utiliza sistemas de salmuera a temperaturas elevadas de fondo de pozo.

➤ **Equipo de control de pozo**

• **Sistema de tubería ensamblada**

El conjunto convencional de preventores de reventones utilizado en perforación no está comprometido durante las operaciones de perforación bajo balance. Este conjunto de preventores convencionales no se utiliza para operaciones

rutinarias, y no se utilizará para controlar el pozo, excepto en caso de emergencia.



Blow out preventor (BOP)

Un sistema de cabeza rotativa de control con la respectiva línea de flujo provista con válvulas de cierre de emergencia (ESDV) es instalado en el tope del conjunto convencional de preventoras. En caso necesario, un ariete ciego sencillo operado por una unidad acumuladora especial es instalado debajo del conjunto convencional de preventoras para permitir que el ensamblaje de fondo sea corrido en el pozo bajo presión.



- **Sistemas de tubería flexible enrollada**

El control del pozo, cuando se perfora con sistemas de tubería flexible es mucho más simple. Se puede utilizar un lubricador para instalar los componentes principales del ensamblaje de fondo, o si es posible utilizar una válvula de seguridad instalada dentro del pozo, entonces no se requiere el uso de un lubricador en superficie, y el cabezal de inyección puede ser colocado directamente encima del sistema de cabeza de pozo. Los sistemas de tubería flexible pueden ser corridos dentro y fuera del hueco más rápidamente y el armado del equipo es mucho más simple. Una consideración a tener en cuenta con sistemas de tubería flexible es la fuerza de corte de los arietes de corte (shear rams). Se debe verificar que los arietes de corte efectivamente cortarán la tubería y cualquier sistema de cable de acero o línea de control, dentro de la tubería.

- **Sistema de Empuje/Retención de tubería (Sistema de Snubbing)**

Si los viajes de tubería van a ser realizados en condiciones de bajo balance, un sistema de empuje/retención de tubería deberá ser instalado encima del sistema de cabeza rotativa de control. Los sistemas actuales utilizados en operaciones mar adentro son llamados sistemas de empuje/retención asistentes de taladro. Un gato con un recorrido de 10 pies se utiliza para empujar la tubería dentro del pozo, o para sacarla fuera del pozo. Una vez que el peso de la sarta corrida dentro del pozo excede la fuerza hacia arriba ejercida por el pozo, el sistema de empuje/retención se deja en espera y la tubería es corrida en el hueco de manera convencional. La capacidad de instalar un sistema de empuje/retención de tubería por debajo de la mesa del taladro permitirá que la mesa sea usada de la misma manera que en operaciones de perforación convencional. El sistema de empuje/retención de tubería es llamado también unidad asistente de taladro. Esta unidad necesita el sistema de malacate del taladro para halar y para correr la tubería dentro del hueco. Está diseñada para tratar sólo con las situaciones de tubería ligera.

- **Sistema de cabeza rotativa de control**

El sistema de cabeza rotativa de control deberá ser dimensionado y seleccionado sobre la base de las presiones esperadas en superficie. Un pozo con una presión de yacimiento de 1000 psi no necesita un sistema de cabeza rotativa de control para 5000 psi. Un amplio número de Compañías ofrecen sistemas de cabezas rotativas de control para perforación bajo balance. El sistema de cierre de emergencia (ESD) en una operación de perforación bajo balance cierra el pozo en la línea de flujo principal y apaga las bombas y el sistema de inyección de gas. El sistema de cierre de emergencia puede ser operado remotamente desde varios lugares sobre la localización cuando se perfora bajo balance.

➤ Equipo de separación

El equipo utilizado en operaciones terrestres a comienzos de la perforación bajo balance era demasiado grande para ser utilizado en operaciones mar adentro. El sistema de separación tiene que ser adaptado de acuerdo a los fluidos del yacimiento que se esperan. Un separador para un campo de gas seco es significativamente diferente de un separador requerido para un campo de petróleo pesado. El sistema de separación debe ser diseñado para manejar el influjo esperado, y debe ser capaz de separar el fluido de perforación del flujo que retorna del pozo para que pueda ser bombeado hacia dentro del pozo una vez más.



Recientemente han aparecido varios enfoques en la tecnología de separación.

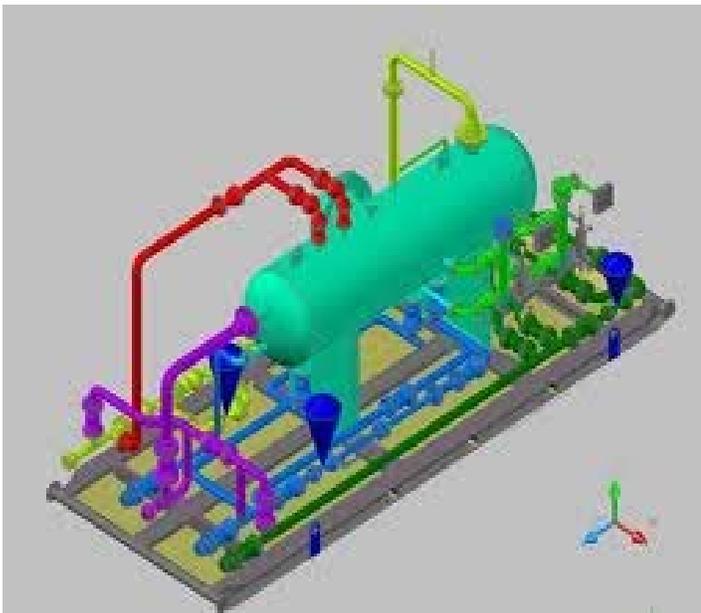
- Separar el gas primero y después tratar con los fluidos y los cortes.

- Separar los sólidos para minimizar la erosión y después tratar con el gas.

El enfoque tomado depende en gran parte de los fluidos que se esperan del yacimiento. Se debe reconocer que la tecnología de separación para la perforación bajo balance puede tener que manejar hasta 5 o 6 fases.

- Fluido de perforación
- Cortes
- Gas
- Petróleo
- Producto de condensación
- Nitrógeno

Un ejemplo de sistema de separación de 4 fases es mostrado a continuación



Se requiere un cuidadoso diseño del sistema de separación de superficie una vez que son conocidos los fluidos del yacimiento. Gas seco es mucho más simple de separar que un crudo pesado o que los fluidos provenientes de un yacimiento de gas condensado. El sistema de separación deberá ser adaptado al yacimiento y a los requerimientos de superficie. Esto requiere un alto grado de flexibilidad el cual puede ser obtenido utilizando un sistema modular Se

recomienda la utilización de un sistema modular para operaciones mar adentro, ya que la capacidad de izamiento de la plataforma y de las grúas del taladro está a menudo limitada a 15 o 20 toneladas. Para reducir el área total de un paquete de separación, se utilizan separadores verticales en operaciones mar adentro a diferencia de los separadores horizontales utilizados en operaciones terrestres



- **Adquisición de datos**

El sistema de adquisición de datos utilizado en el sistema de separación debería proporcionar tanta información como sea posible. Esto permitirá que se obtenga la máxima cantidad de información del yacimiento mientras se perfora. También permitirá un cierto grado de pruebas del pozo durante la perforación. El aspecto de seguridad de la adquisición de datos no se debería pasar por alto, ya que el control del pozo está directamente relacionado con las presiones y las tasas de flujo vistas en la superficie.



- **Control de erosión**

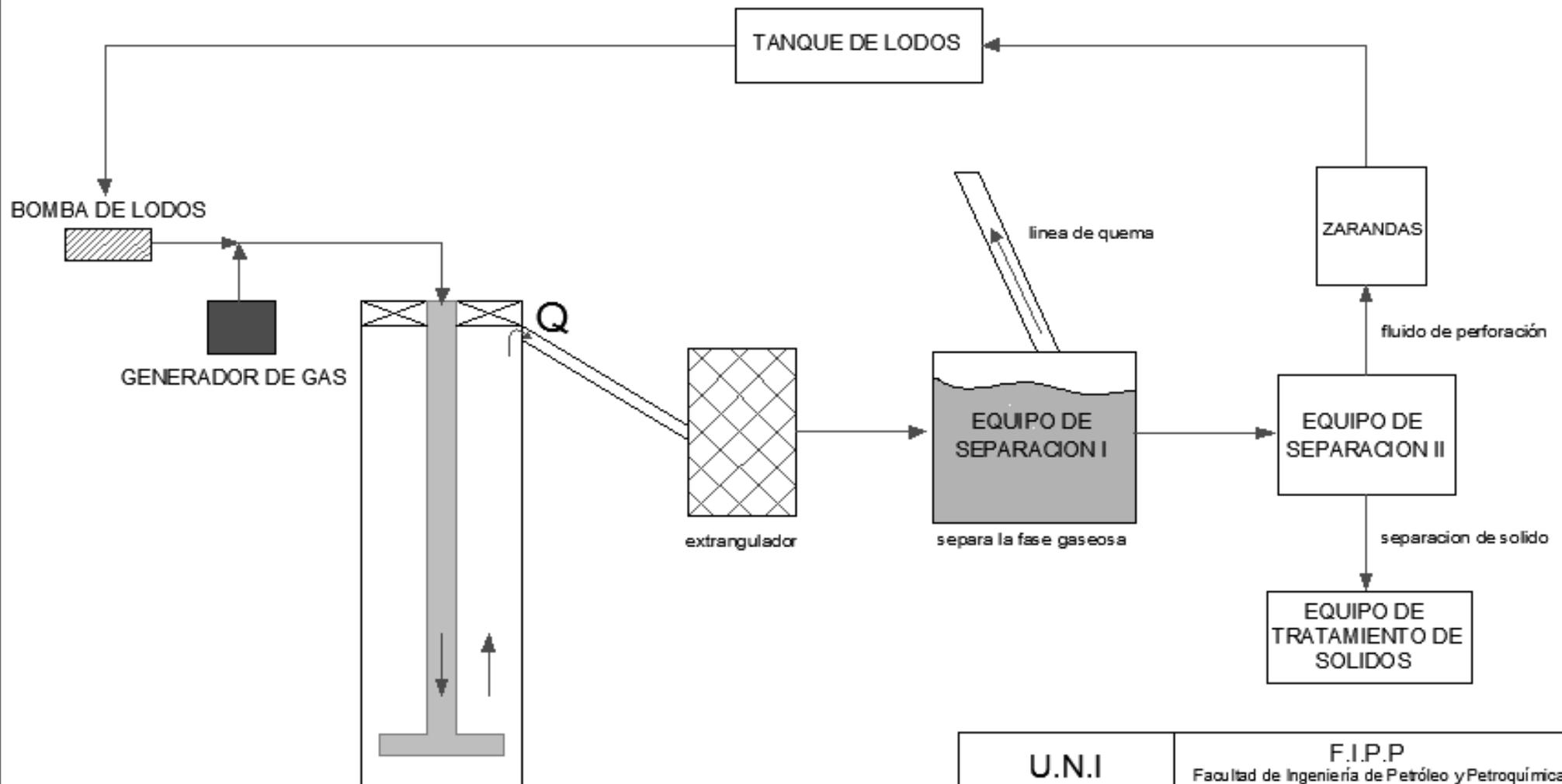
El monitoreo de la erosión y la predicción de la erosión en la tubería de trabajo es esencial para operaciones seguras. La utilización de tecnología no destructiva se ha encontrado insuficiente en el monitoreo de la erosión. Actualmente se utiliza un sistema automatizado de probetas de erosión. Esto permite una predicción exacta de las tasas de erosión en la tubería de trabajo en superficie. Los límites de velocidad del flujo aplicados por la industria para el control de la erosión están definidos en el API práctica recomendada RP14. La desventaja de estas guías es que la cantidad de sólidos en las operaciones de producción es significativamente más baja que en operaciones de perforación bajo balance. La utilización de las probetas de erosión también ha permitido la predicción de la limpieza del hoyo y el colapso del hueco. Cuantos más datos se recogen, mejor se entiende el comportamiento de los cortes de perforación en pozos perforados con la técnica de bajo balance. La erosión en la tubería de trabajo en superficie es todavía un problema en pozos de altas tasas de flujo y tiene un significativo impacto en el costo de la operación

➤ El Proceso de circulación

Los fluidos del yacimiento ascienden a través del anular hacia la superficie. El sistema de cabeza rotativa de control (Desviador de flujo) asegura que el pozo permanece cerrado. El fluido sale del pozo a través de la línea de flujo principal hacia el múltiple estrangulador de pruebas de pozo. Los estranguladores están normalmente abiertos y variando la tasa de inyección de gas o la tasa de inyección de líquido se controla el pozo. Desde el múltiple estrangulador, el flujo entra en el separador de la primera etapa donde el gas es separado y los sólidos son extraídos de la corriente de flujo mediante un sistema vórtice. El fluido proveniente de esta primera etapa de separación entra en el separador de segunda etapa donde el fluido es desgasificado y cualquier cantidad de sólidos remanentes es eliminada. El fluido de perforación se devuelve a los tanques de lodo mientras el crudo producido es enviado a un tanque de almacenamiento, o a las facilidades de producción. El fluido de perforación se bombea de vuelta al pozo para empezar el ciclo una vez más.

Actualmente es normal tener un separador de primera etapa y uno de segunda etapa en operaciones mar adentro. Esto es principalmente para asegurar que el fluido de perforación es desgasificado completamente antes de ser enviado de regreso a los tanques de lodo dentro del taladro. Si un campo de gas condensado se perfora, se requiere a menudo una tercera vasija para asegurar que el condensado es separado. Nuevos avances en la tecnología de separación están siendo investigados para asegurar que los paquetes de separación en superficie son más pequeños y cada vez más automatizados.

SISTEMA DE CIRCULACIÓN EN PERFORACIÓN BAJO BALANCE



U.N.I	F.I.P.P Facultad de Ingeniería de Petróleo y Petroquímica
AUTOR: Bach. Ing. Petróleo y Gas Natural Humberto Crossi Villafañán Luyo Fecha: Mayo - 2014	Trabajo para optar el Título Profesional de Ingeniero de Petróleo MEJORAMIENTO DE LA PERFORACIÓN EN ZONAS DE BAJA PRESIÓN
LAMINA N°01	Sistema de Circulación en Perforación Bajo Balance

3.4 Cuestiones de salud, seguridad y medio ambiente

Debido a que la perforación bajo balance implica trabajar en un pozo vivo, se requiere un análisis de riesgos operacionales a lo largo de todo el proceso. Con este propósito se ha creado un diagrama de flujo que muestra todos los elementos en el proceso de perforación bajo balance. Utilizando este diagrama, cada elemento se puede analizar para entrada y salida. Este diagrama se ha utilizado con buen resultado para asegurar que todos los elementos de un sistema de perforación poco equilibrada son revisados durante el análisis de riesgos operacionales (HAZOP). También permite que los procedimientos y la documentación sean revisados por todas las partes involucradas de un sistema de perforación bajo balance.

3.4.1 Aspecto de medio ambiente

El sistema de perforación bajo balance es un sistema completamente cerrado. Cuando se combina con un sistema de inyección de cortes, y un sistema cerrado de tanques de lodo, un yacimiento que contenga ácido sulfuroso (H₂S) puede ser perforado de forma segura utilizando un sistema de perforación bajo balance. Las presiones y tasas de flujo son mantenidas tan bajas como sea posible. La intención no es perforar un yacimiento y producirlo a su máxima capacidad. Una prueba de pozo puede ser llevada a cabo durante la perforación bajo balance para proporcionar alguna información de la productividad. Los hidrocarburos producidos durante el proceso de perforación bajo balance pueden ser conducidos a la planta procesadora de la plataforma, exportados o quemados. Actualmente se están llevando a cabo algunos trabajos que buscan reducir la quema y aumentar el recobro de hidrocarburos para exportación. En un pozo prolífico una cantidad significativa de gas puede ser quemada durante el proceso de perforación. Recuperar este gas proporciona beneficios medioambientales y económicos. El petróleo y el condensado recuperados son normalmente exportados a través de tanques de almacenamiento hacia las facilidades de producción.

3.4.2 Aspectos de seguridad

Además del análisis de riesgos operacionales completo, se requiere una cantidad significativa de entrenamiento para las cuadrillas para la perforación bajo balance. Una cuadrilla de perforación ha sido instruida durante toda su carrera para que en caso de una patada de pozo se proceda inmediatamente a cerrar y a matar el pozo. Durante la perforación bajo balance la única cosa que debe evitarse es matar el pozo. Esto puede deshacer todos los beneficios de la perforación bajo balance. Trabajar en un pozo vivo no es una operación normal para una cuadrilla de perforación y se requiere un buen entrenamiento para asegurar que no ocurran accidentes. El proceso de perforación bajo balance es más complejo cuando se compara con las operaciones de perforación convencional. La inyección de gas, la separación en superficie, tanto como empujar o sacar tubería bajo presión pueden ser requeridos en un pozo. Si los hidrocarburos producidos son bombeados dentro del sistema de proceso, está claro que la perforación ya no es una operación aislada. El yacimiento es la fuerza impulsora en el proceso de perforación bajo balance. El perforador debe entender el proceso, y toda la interacción requerida entre el yacimiento, la tasa de inyección de líquido de la bomba, la inyección de gas y el sistema de separación y proceso, para perforar el pozo de forma segura. Cuando las operaciones de viaje de tubería empiezan, el pozo debe permanecer bajo control. Empujar la tubería dentro del hueco o sacarla del pozo no son operaciones de rutina y una cuadrilla de personal especializado en dichas maniobras es enviada al pozo para correr la tubería dentro del pozo y para sacarla fuera del mismo. El equipo extra también trae un número extra de personal a la torre de perforación. Así además de una operación más compleja, ciertos trabajadores de servicio están en la torre y necesitan empezar a trabajar con el personal de la cuadrilla de perforación. El personal de perforación volverá a la perforación convencional una vez que el pozo se termine. El personal de perforación necesitará ser entrenado en este cambio de operación.

Si un determinado número de pozos van a ser perforados bajo balance en un campo, una opción puede ser considerar la perforación en grupos de pozos de las secciones del yacimiento. Esto ahorra movimientos de equipos y también establece una rutina con la cuadrilla de perforación. Se debe afirmar que ocurren pocos accidentes durante la perforación bajo balance, y esto se es debido principalmente al gran énfasis dado a la seguridad durante operaciones en pozos vivos.

3.4.3 Enfoque paso a paso

Se considera prudente, si varios pozos van a ser perforados bajo balance con una nueva cuadrilla, emplear un enfoque paso a paso de la perforación bajo balance. El primer pozo se perfora bajo balance pero matando el pozo para los viajes de tubería. El segundo pozo se perfora bajo balance y se viaja en condición bajo balance, pero se mata el pozo para completarlo. El tercer pozo se perfora y se termina en condición bajo balance. Esto permite que todas las cuadrillas y los proveedores de servicio sean entrenados y preparen el equipo.

3.5 Limitaciones

No sólo hay ventajas en la perforación bajo balance. Antes de embarcarse en un programa de perforación bajo balance, se deben revisar las limitaciones del proceso. Hay limitaciones técnicas además de limitaciones económicas y de seguridad en el proceso de perforación bajo balance.

Condiciones que pueden afectar adversamente cualquier operación bajo balance:

- Insuficiente capacidad de la formación para resistir el stress mecánico sin colapsar.
- Imbibición espontánea debido a la incompatibilidad entre el fluido base usado en el fluido de perforación y la roca o los fluidos del yacimiento. El uso de un fluido no humectante puede prevenir o reducir esta situación.

- Pozos profundos, de alta presión, altamente permeables representan una limitación técnica debido a aspectos de seguridad y de control de pozo.
- Condición de bajo balance no continuo.
- Excesiva producción de agua de formación.
- Zonas altamente productoras de agua localizadas cerca al comienzo de la trayectoria del pozo afectarán adversamente la condición de bajo balance a lo largo del hueco.
- Pozos donde se requiere columna hidrostática de fluido o presión para matar el pozo durante ciertas operaciones de perforación o completamiento.
- Huecos de pequeño diámetro o condiciones de perforación que resultan en un anular pequeño crearán altas contrapresiones debido a las fuerzas de fricción.
- Pozos con objetivos que contengan presión significativa o variaciones de litología través del objetivo

3.5.1 Limitaciones Técnicas

➤ Estabilidad de la pared del pozo

La estabilidad de las paredes del pozo es una de las limitaciones principales de la perforación bajo balance. El colapso del hueco como resultado del esfuerzo de la roca, es uno de los aspectos a considerar. El otro aspecto es la estabilidad química, que se ve en formaciones de lutitas y arcillas. Ambos aspectos pueden tener serias implicaciones en la perforación. Definir la máxima caída de presión y revisar la compatibilidad química con los fluidos de perforación propuestos es un aspecto clave en la factibilidad de la perforación bajo balance. No ha sido comunicado ningún caso de colapso de hueco debido a mecánica de la roca y caída de presión en pozos perforados bajo balance. En un pozo perforado en España en 1996 fueron encontrados significativos problemas del hueco, debido a esto el pozo fue taponado y desviado tres veces y finalmente fue producido a través de la sarta de perforación como resultado del colapso del pozo. No se ha

publicado ninguna investigación adicional sobre las causas, pero es una de los ejemplos publicados de problemas de estabilidad de las paredes del hoyo.

➤ **Influjo de agua**

El influjo de agua en un yacimiento depletado puede causar problemas graves en un pozo perforado bajo balance. Si la tasa de flujo es suficientemente alta el índice del flujo es suficientemente alto el pozo se matará como resultado del influjo de agua. La inyección de gas a un pozo que produce agua a una alta tasa de flujo es casi imposible. Se debe tener cuidado de que la pierna de agua en un yacimiento depletado no sea penetrada al perforar en condición bajo balance.

➤ **Equipo de perforación direccional**

El equipo de perforación direccional puede tener limitaciones en la perforación bajo balance. Herramientas operadas hidráulicamente no pueden ser utilizadas en pozos bajo balance, y si un sistema gasificado se utiliza, los sistemas de MWD por pulsos de lodo pueden no funcionar. Ciertos motores y otro equipo direccional pueden ser propensos a fallar como resultado de que los componentes de caucho se impregnen con el gas utilizado. La descompresión explosiva de los componentes de caucho se debe tener en consideración al seleccionar el equipo. Mayores valores de torque y arrastre vistos en pozos bajo balance (tanto como el 20%) puede también prevenir ciertas trayectorias de ser perforadas bajo balance. El torque más alto se produce por la flotabilidad reducida, combinada con la falta de la torta de filtrado del lodo sobre la pared del pozo.

➤ **Yacimiento inapropiado**

El yacimiento puede no ser apropiado para la perforación bajo balance. Un yacimiento altamente poroso y altamente permeable puede producir demasiado flujo a bajos valores de caída de presión. Es importante que los beneficios percibidos de bajo balance sean tenidos en cuenta al planear operaciones de bajo balance.

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

4.1 Población y muestra

La población para este proyecto está comprendida por los cinco pozos de desarrollo perforados en el campo FRANTTY perteneciente al lote 88 el primer pozo perforado FR 1001V fue perforado de forma convencional y los otros cuatro cuales son FR1003V, FR1004V, FR1007V y FR1008V fueron perforados utilizando la técnica del lodo aireado.

En consecuencia, para realizar la evaluación se tomo en cuenta la población en su totalidad de todos los pozos perforados, comparando sus resultados de parámetros de perforación obtenidos y su efectividad de perforación.

4.2 Instrumentos y técnicas para la recolección de la información

Los objetivos planteados en la investigación fueron alcanzados mediante la utilización de técnicas e instrumentos que permitieran la obtención y recopilación de información, como se muestra a continuación:

Técnicas de observación directa: permitió la descripción del proceso de perforación con lodo aireado a través de documentaciones bibliográficas, Internet, textos técnicos y manuales de operaciones de bajo balance con el fin de establecer comparación entre los conocimientos teóricos y el proceso operacional de perforación utilizando la técnica del lodo aireado.

Entrevistas informales: se hicieron consultas al personal que se desempeña operando estos equipos de bajo balance, con la finalidad de obtener datos e información referente al tema en estudio, que permitieron establecer el entendimiento de los factores involucrados en el uso de esta técnica.

4.3 Procedimiento Metodológico

Para desarrollar este trabajo fue necesario seguir una serie de etapas las cuales se explican a continuación:

Etapa 1. Revisión bibliográfica: Se realizó la búsqueda, recopilación y revisión de toda información sobre perforación bajo balance que represente material de apoyo como libros, tesis, manuales, instructivo, páginas de Internet u otra fuente de información que permita conocer el proceso de perforación con técnica aireada, funcionamiento de equipos necesarios, conocimientos teóricos; entre otra información de relevancia que agilizará el desarrollo del tema.

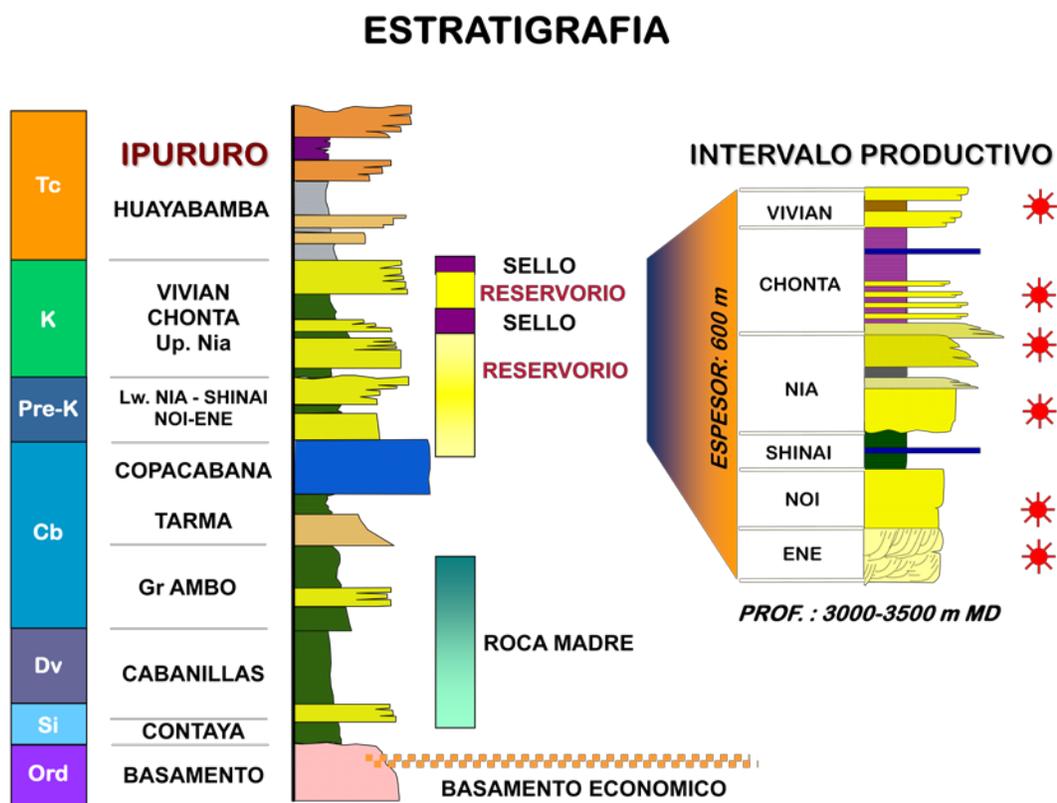
Etapa 2. Obtención de la información de los pozos perforados en el campo FRANTTY, tanto como el que fue perforado convencionalmente y los que utilizaron la técnica del lodo aireado.

Etapa 3. Determinación de los parámetros de perforación de las secciones de superficie obtenidos por cada pozo estudiado, costos y eficiencias obtenidas.

Etapa 4. Análisis integrado de toda la data obtenida en los pasos anteriores, posterior a ello se realizan las conclusiones y recomendaciones referentes a este proyecto.

4.4 Data Obtenida y análisis de resultado

Durante este proceso se recopiló información referente a los pozos perforados en el campo FRANTTY lote 88, la zona superficial que se atravesó en estos pozos es el GRUPO IPURURO el cual contiene a los Upper red beds que están conformados por arenisca de color castaño claro, el cual son zonas con pérdidas masivas de lodos y a su vez tienen una marcada inestabilidad de las paredes de pozo, el siguiente grafico presenta la estratigrafía de las formaciones a perforar en el campo FRANTTY.



Empezaremos con la descripción del primer pozo perforado **FR1001V**.

El pozo FR1001V se perforó de la forma convencional con lodo base agua tipo visco elástico MI EMS 2900 DZD de las siguientes características:

Densidad	8.5 ppg - 8.7ppg
Viscosidad plástica	16 cp - 20 cp
Punto cedente	35lb/100 ft ² – 40lb/100 ft ² .
Geles 0 min.	20 – 21.
Geles 10 min	25 – 33.
Porcentaje de sólidos	3% - 6%

El pozo llegó a ser perforado a 384m de manera convencional presentando pérdidas significativas de lodo, obteniendo los siguientes parámetros de perforación:

PARAMETROS DE PERFORACION CONVENCIONAL	
ECD (ppg)	9.1
RPM	70 - 90
WOB (Klbs)	7 - 14
ROP máx. (m/hr)	13
ROP avg (m/hr)	4

El pozo fue revestido con casing de 24" en 383m, se realizó una prueba de integridad de formación a la profundidad de 384m con 150 psi y 10.6ppg, luego se siguió perforando convencionalmente hasta la profundidad de 389m donde se produce una pérdida total de circulación.

Debido a este problema sucedido intervino WTF CPD&T, se decidió cambiar el conjunto de fondo y empezar a perforar bajo un sistema de inyección de aire conocido como bajo balance, circulando lodo aireado y utilizando la tecnología direccional.

Se enfrentó a muchos desafíos y retos tales como los siguientes puntos:

- Ventana operativa estrecha (7.2ppg – 7.8ppg).
- Escaso conocimiento del comportamiento del lodo EMS 2900 DZD a la inyección de aire. (separación de fases, líquido – gas).
- Mantener la circulación del pozo y tener continuidad en el desarrollo de la perforación.

- Reducir y eliminar las pérdidas de lodo.
- Reducir y eliminar los atascamientos por presión diferencial.
- Aumentar la velocidad de perforación.
- Reducir los tiempos no productivos NPT.
- Producir el menos impacto ambiental posible sobre el área de ejecución de los trabajos.
- Ejecutar la operación cumpliendo normas y políticas de salud y seguridad. QHSE WTF y HSSE de la compañía, reduciendo los riesgos operativos.
- Y otros desafíos no operacionales como Logística, planeamiento, organización, contingencia, factores climáticos, estacionales, medio ambientales y reclamos triviales.

La Metodología del trabajo que se realizó en el transcurso de la perforación fue la siguiente:

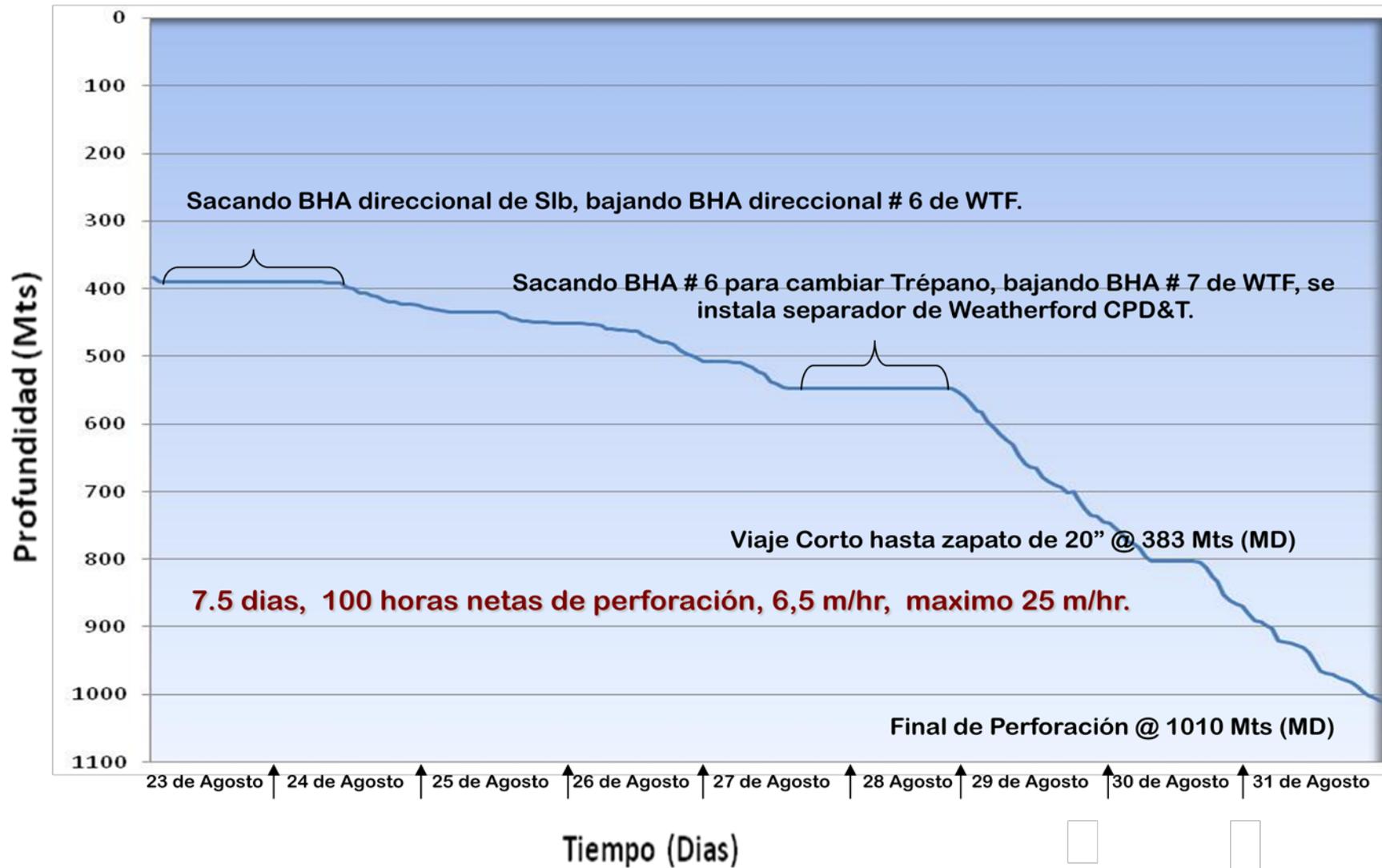
- Mantener el ECD dentro de los valores recomendados (siempre que el pozo lo permita).
- Inyectar Aire y lodo a caudales promedios de 100 – 300 Scfm y 800 – 1100 gpm, respectivamente con el fin de obtener una densidad teórica de 7.4ppg.
- Monitoreo de la presión sobre formación para hacer los ajustes necesarios en caudales combinados.
- Obtener buena limpieza del pozo mediante adecuadas velocidades en la fase líquida.
- Establecer el nivel adecuado del líquido dentro del pozo durante las maniobras.

Se perforó con el sistema bajo balance mejorando las condiciones operativas y manteniendo los parámetros más estables, los parámetros obtenidos fueron los siguientes:

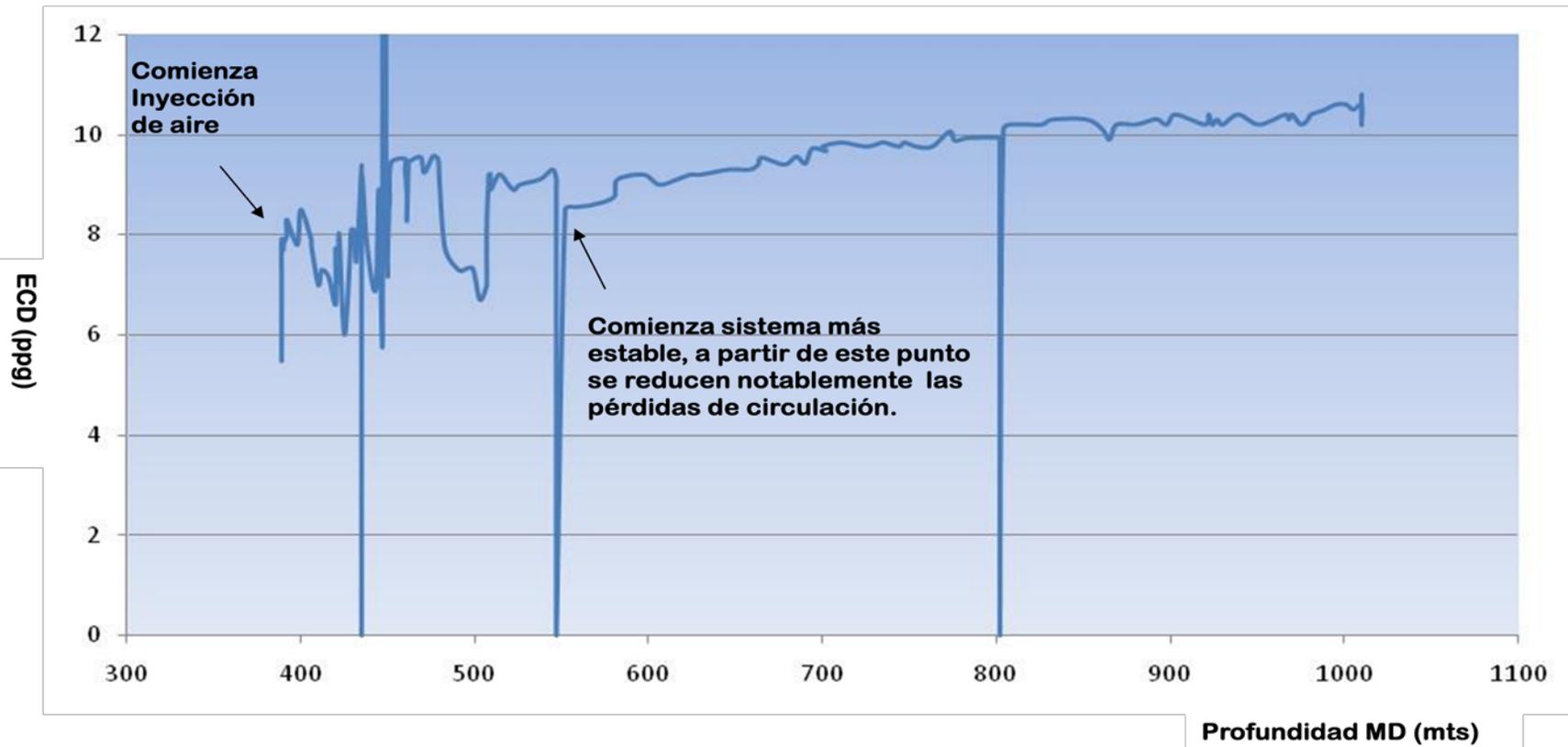
PARAMETROS DE PERFORACION BAJOBALANCE	
ECD (ppg)	7.4
RPM	70 - 100
WOB (Klbs)	5 - 11
ROP max (m/hr)	25
ROP avg (m/hr)	6.6

A partir de la profundidad de 650m la presión de formación aumenta a 8.4ppg de densidad equivalente, durante toda la perforación de la sección no se observaron pérdidas significativas de lodo, llegando a la profundidad de 1010m-MD.

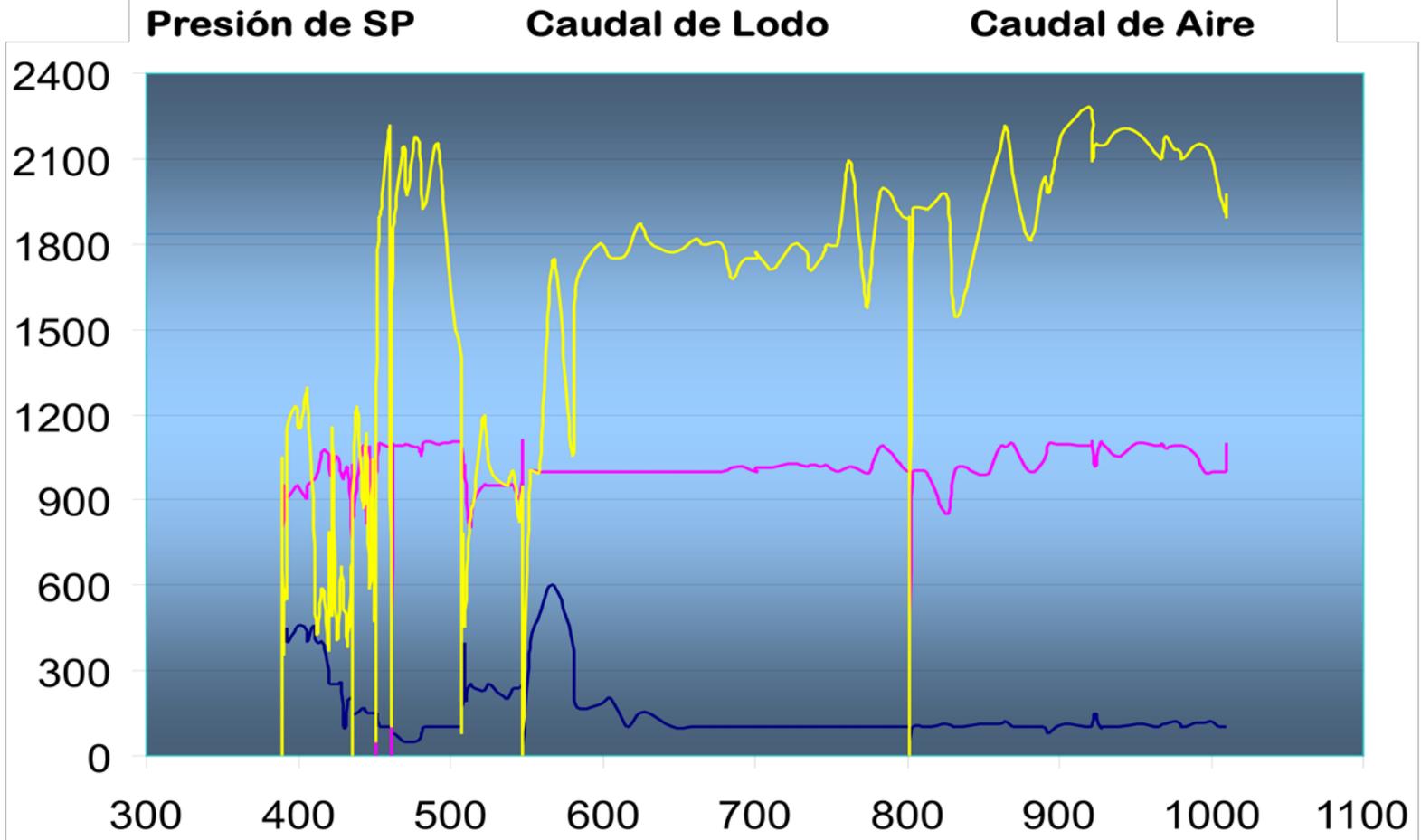
Pozo FRANTTY 1001D. Sección 22". Curva de Avance de perforación



Pozo FRANTTY 1001D. Sección 22". ECD Vs Profundidad MD.

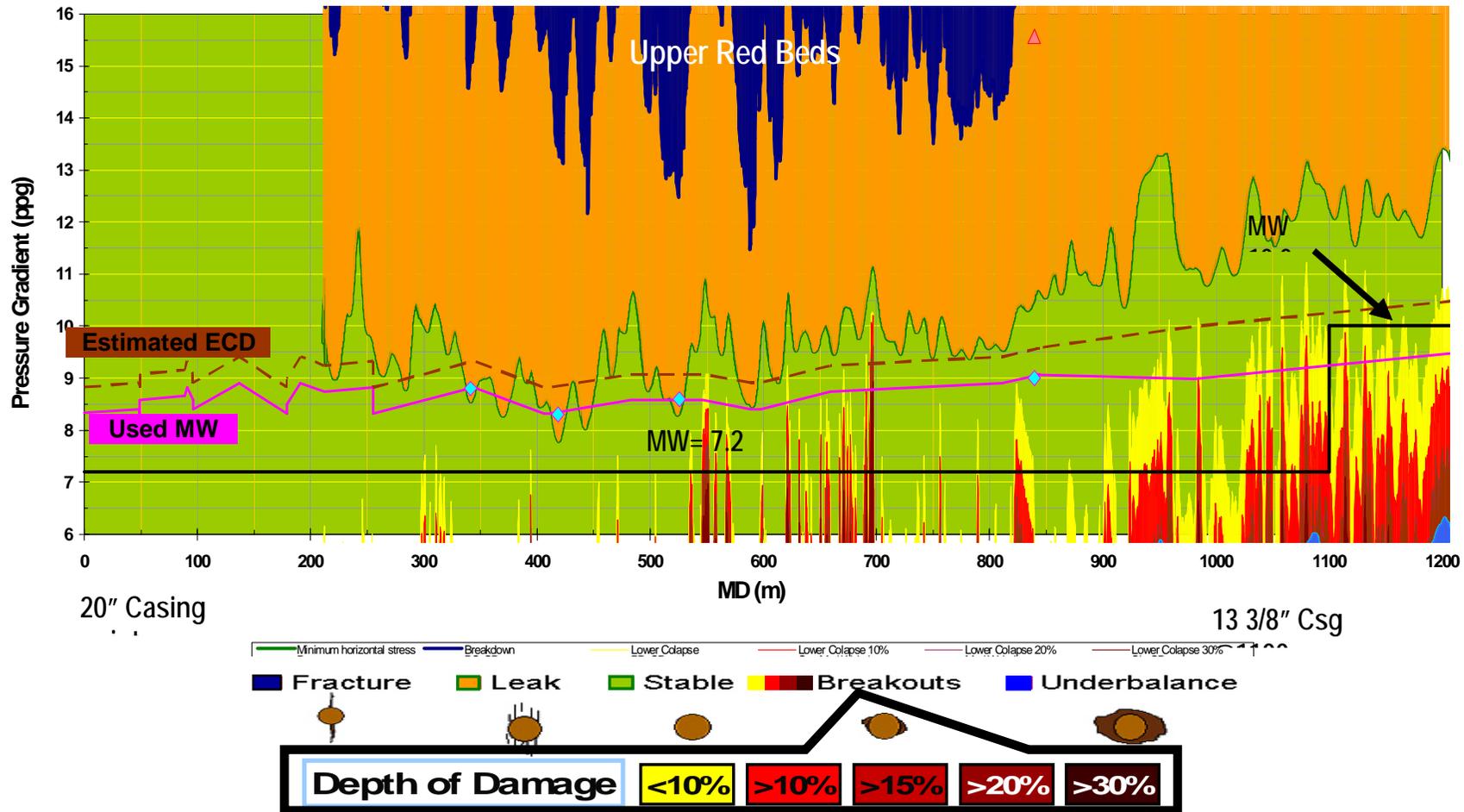


Pozo FRANTTY 1001D. Sección 22". Caudal de Aire / Caudal de Lodo / Presión SP Vs Profundidad



Profundidad (MD) Mts amarillo Presión PSI, rojo caudal liquido bombeado, azul caudal Aire.

ESTUDIO de GEOESTABILIDAD

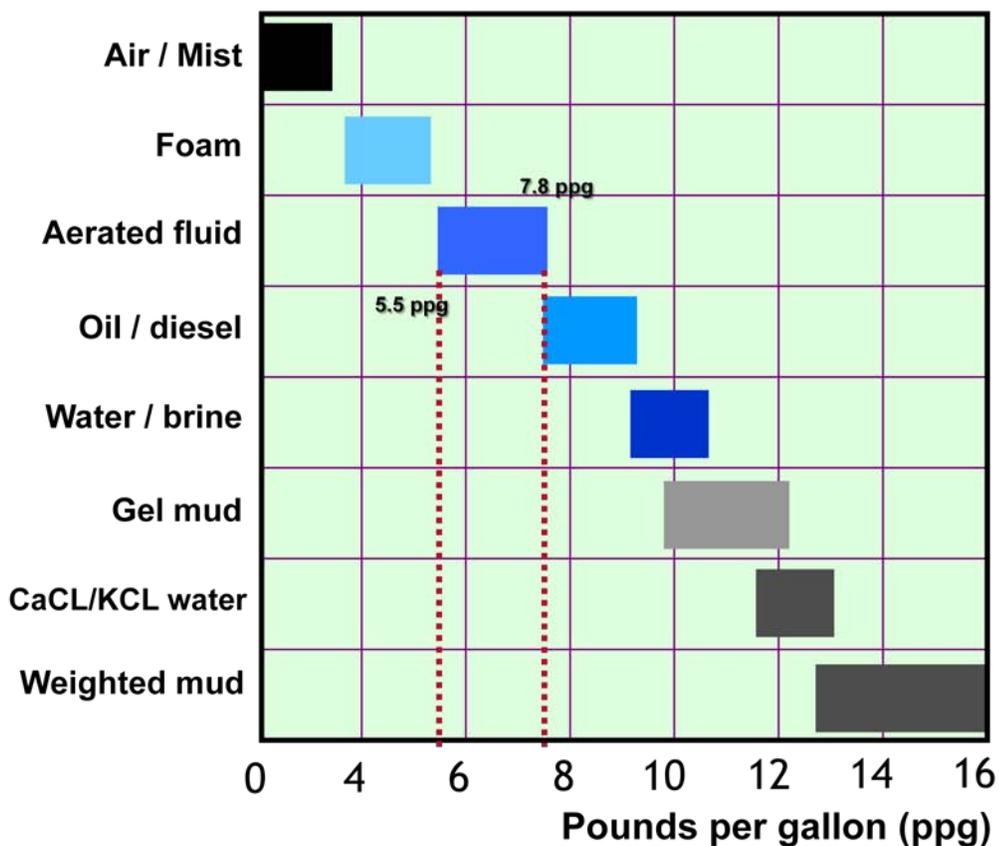


VENTANA OPERATIVA RECOMENDADA de 7,2 a 7,8 ppg.

Para la perforación de los siguientes pozos ya no usaron el sistema convencional si no que aplicaron la tecnología de bajo balance con inyecciones de aire, entre los principales criterios que se analizaron para el uso de perforación aireada tenemos:

- Permite obtener ECD entre 5.5ppg y 7.8ppg.
- Se obtienen velocidades anulares mucho más altas que la convencional.
- La fase gaseosa del fluido es de fácil generación en locación.

Selección de la técnica: Air Drilling



A continuación tenemos el diagrama general de pozo en el campo FRANTTY:

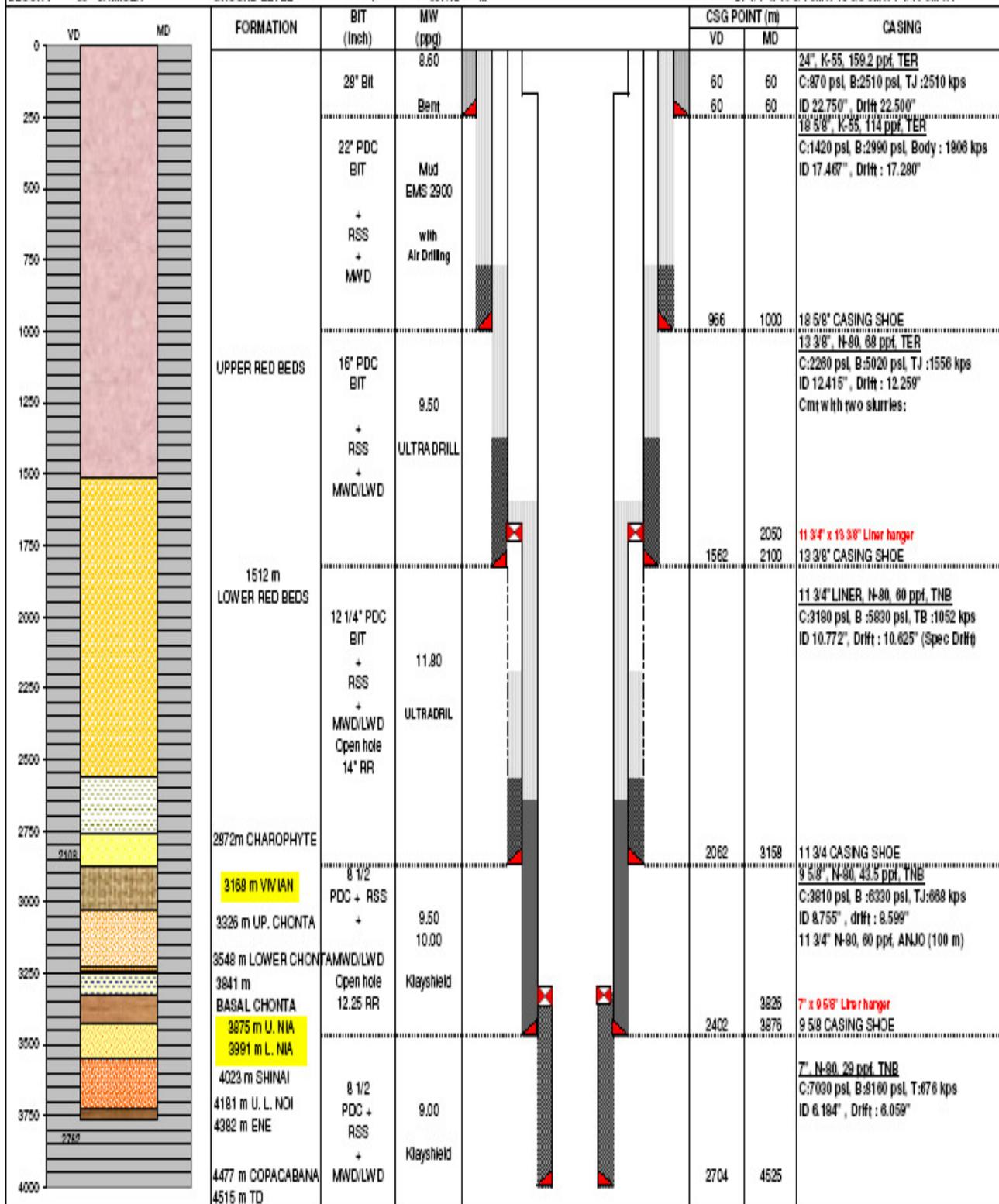
WELLBORE DIAGRAM

WELL : CR-1008D 4525 m
 FIELD : CASHIRIARI 3
 BLOCK : 88 - CAMISEA

COORDINATES NORTH : 8,885,357.41 M RKB 10.48 M
 EAST : 755,952.64 M
 GROUND LEVEL : 697.12 M

WELLHEAD

21 1/4" x 16 3/4 5M X 13 3/8 5M X 7 1/16 5M WP



TOC TOP OF CEMENT
 TCL TOP OF THE INR

ALL MEASURED DEPTH RELATED TO THE GROUND LEVEL

* Crossover 9 5/8" x 11 3/4"

A continuación se describirá las condiciones de operación de cada pozo perforado en el campo FRANTTY en la secciones de superficie donde fue utilizada la técnica del lodo aireado.

POZO FR1003V se perforo la formación UPPER RED BEDS donde se empezó siendo el tope de sección la profundidad de 60m, el lodo usado fue base agua tixotrópico con las siguientes características:

Densidad	8.7ppg - 8.8ppg
Viscosidad Plástica	24 - 29 cp.
Yield Point	40 - 50 lbs./100ft ²
Temperatura de superficie	84°F / 29°C
Temperatura de fondo	150°F / 65°C a 700m- TVD

Los ECD planeados para el control de las pérdidas de circulación fluctuaban entre 7.0ppg y 7.8ppg. Siendo 7.00ppg el ECD mínimo planeado para el control de la estabilidad.

Se perforo con un caudal de lodo entre 900 - 1100 gpm y un flujo de aire entre 1000 – 1500 scfm, con un ángulo inicial de 0° y terminando con un ángulo de 51.76°, no se presentaron problemas de pérdidas significativas de circulación, se perforo normalmente con una broca de 17 ½” y un ensanchador de 22” llegando a la profundidad de 750m, obteniendo los siguientes resultados:

Rop promedio	9 m/hr
ECD promedio	7.9ppg
Longitud perforada	690
Días de perforación con air drilling	4
Días totales de perforación	5

POZO FR1004V se perforo la formación UPPER RED BEDS donde se empezó siendo el tope de sección la profundidad de 60m, el lodo usado fue base agua tixotrópico con las siguientes características:

Densidad	8.7ppg - 8.8ppg
Viscosidad Plástica	20 - 25 cp.
Yield Point	40 - 50 lbs./100ft ²
Temperatura de superficie	84°F / 29°C
Temperatura de fondo	150°F / 65°C a 700m- TVD

Los ECD planeados para el control de las pérdidas de circulación fluctuaban entre 7.0ppg y 7.8ppg. Siendo 7.00ppg el ECD mínimo planeado para el control de la estabilidad.

Se perforo con un caudal de lodo entre 800 - 1100 gpm y un flujo de aire entre 1000 – 1800 scfm, con un ángulo inicial de 0° y terminando con un ángulo de 54.62°, no se presentaron problemas de pérdidas significativas de circulación, se perforo normalmente con una broca de 17 ½” y un ensanchador de 22” llegando a la profundidad de 761m, obteniendo los siguientes resultados:

Rop promedio	9 m/hr
ECD promedio	6.9ppg
Longitud perforada	701
Días de perforación con air drilling	4
Días totales de perforación	5

POZO FR1007V se perforo la formación UPPER RED BEDS donde se empezó siendo el tope de sección la profundidad de 60m, el lodo usado fue base agua tixotrópico con las siguientes características:

Densidad	8.7ppg - 8.9ppg
Viscosidad Plástica	12 - 14 cp.
Yield Point	33 - 38 lbs./100ft ²
Temperatura de superficie	84°F / 29°C
Temperatura de fondo	122°F / 50°C a 585m- TVD

Los ECD planeados para el control de las pérdidas de circulación fluctuaban entre 7.0ppg y 7.8ppg. Siendo 7.00ppg el ECD mínimo planeado para el control de la estabilidad.

Se perforo con un caudal de lodo entre 800 - 950gpm y un flujo de aire entre 1700 – 2100 scfm, con un ángulo inicial de 0° y terminando con un ángulo de 54°, no se presentaron problemas de pérdidas significativas de circulación, se perforo normalmente con una broca de 22" llegando a la profundidad de 315m, obteniendo los siguientes resultados:

Rop promedio	13 m/hr
ECD promedio	7ppg
Longitud perforada	255m
Días de perforación con air drilling	1
Días totales de perforación	2

POZO FR1008V se perforo la formación UPPER RED BEDS donde se empezó siendo el tope de sección la profundidad de 60m, el lodo usado fue base agua tixotrópico con las siguientes características:

Densidad	8.7ppg – 9.0ppg
Viscosidad Plástica	18 - 22 cp.
Yield Point	40 - 48 lbs./100ft ²
Temperatura de superficie	84°F / 29°C
Temperatura de fondo	170°F / 77°C a 807m- TVD

Los ECD planeados para el control de las pérdidas de circulación fluctuaban entre 7.0ppg y 7.8ppg. Siendo 7.00ppg el ECD mínimo planeado para el control de la estabilidad.

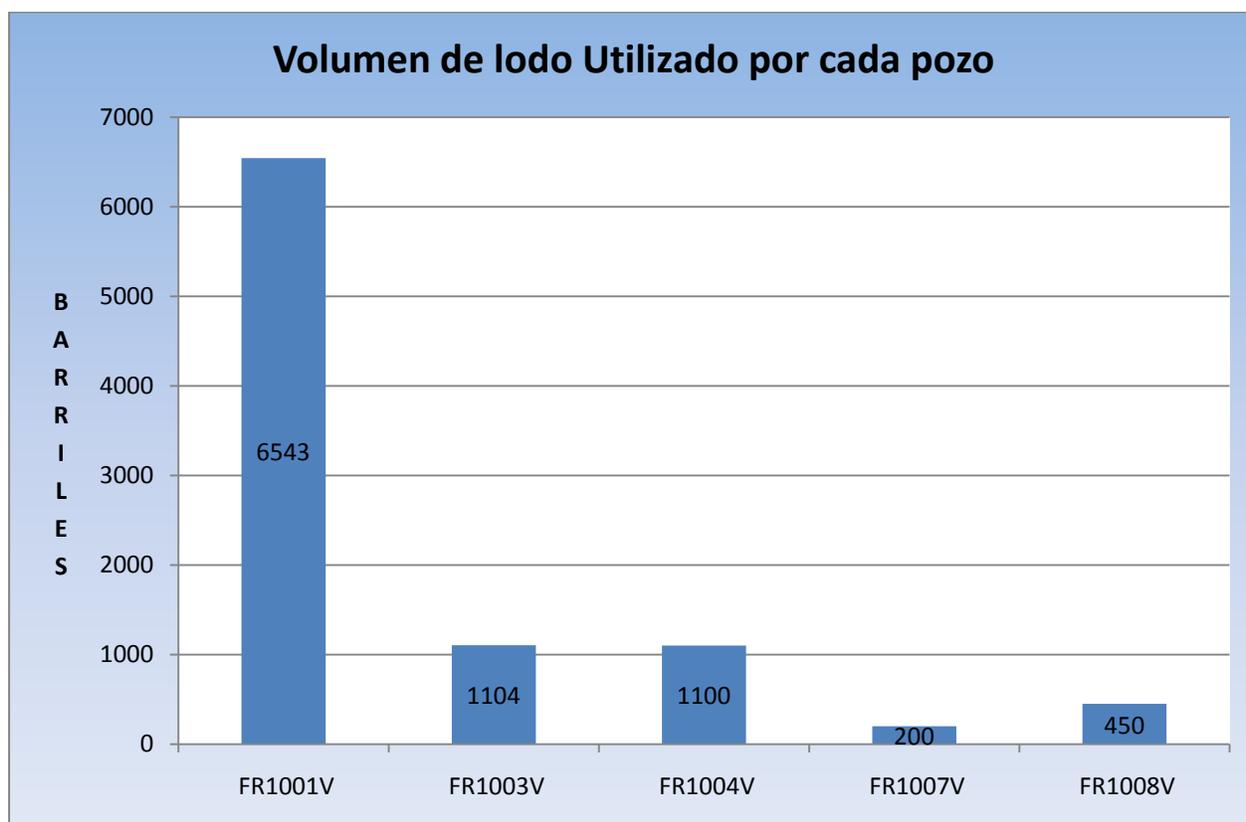
Se perforo con un caudal de lodo entre 850 - 950gpm y un flujo de aire entre 800 – 1550 scfm, con un ángulo inicial de 0° y terminando con un ángulo de 35°, no se presentaron problemas de pérdidas significativas de circulación, se perforo normalmente con una broca de 22" llegando a la profundidad de 570m, obteniendo los siguientes resultados:

Rop promedio	9.5 m/hr
ECD promedio	7ppg
Longitud perforada	255m
Días de perforación con air drilling	3
Días totales de perforación	4

A continuación presentamos un cuadro de comparación entre parámetros obtenidos durante la perforación convencional y utilizando la técnica del lodo aireado:

POZO	ROP avg.	ECD avg.	Longitud perforada	Días de perforación con air drilling	Días totales de perforación
FR1001V	4 m/hr	9.1 ppg	389m	0	7

POZO	ROP avg.	ECD avg.	Longitud perforada	Días de perforación con air drilling	Días totales de perforación
FR1001V	6.6 m/hr	7.4 ppg	621m	4	4
FR1003V	9 m/hr	7.9 ppg	690m	4	5
FR1004V	9 m/hr	6.9 ppg	701m	4	5
FR1007V	13 m/hr	7ppg	255m	1	2
FR1008V	9.5 m/hr	7ppg	255m	3	4



CAPITULO V

Análisis Económico

5.1 Análisis económico

El objetivo de la evaluación económica del presente estudio, es determinar si el uso de la técnica del lodo aireado es viable, y cuantificar cual fue el beneficio económico que genero el mismo en que fue implementado.

Como bien sabemos la formación UPPER RED BEDS presenta un intervalo de pérdida total de circulación entre las profundidades de 30m–700 m,

A continuación tenemos los gastos producidos en la perforación convencional del FR1001V:

Costo por día	Dólares	Número De Días	Costo total
Productos de fluidos	6045	7	
Personal de ingeniería de lodos	1400	7	
Equipo de perforación	37000	7	
Personal operativo del equipo de perforación	12000	7	
Costo total de la perforación convencional por día	56445	7	395115

El pozo FR1001V se perforo de manera convencional tomando 7 días para llegar hasta la profundidad de los 389m, el costo de la perforación convencional diaria era de 56445 dólares y el costo total de la perforación durante los 7 días fue de 395115 dólares, donde se presento problemas de pérdida de circulación total, tiempos no productivos y riesgos de pegas por diferencial, decidiendo cambiar a la técnica de bajo balance presentando los siguientes costos por día:

Costo por día	Dólares	Número De Días	Costo total
Productos de fluidos	1875	4	
Personal de ingeniería de lodos	1400	4	
Equipo de perforación	37000	4	
Personal operativo del equipo de perforación	12000	4	
Cabezal rotativo	4800	4	
Choke manifold	4100	4	
Sistema automatizado de control	1800	4	
Panel remoto de control Y ADQ	1000	4	
Medidor de Flujo	700	4	
Planta eléctrica	4500	4	
Personal de operaciones e ingeniería	4000	4	
Otros (gomos, manifold ben, epacadura, etc...)	3500	4	
Costo total de la perforación bajo balance por día	76675	4	306700

A partir de los 389m se perforo utilizando la técnica de bajo balance, como podemos observar el costo diario utilizando esta técnica es de 76675 dólares el cual excede en 20230 dólares al costo diario de la perforación convencional también debemos de notar que se logro perforar 621m en solo 4 días sin obtenerse perdidas de circulación, peligros de pega diferencial y tiempos no productivos, obteniendo un costo total de perforación de 306700 dólares.

Se llego a la profundidad de 1010m.

El costo total para llegar a esta profundidad fue: \$ 306700 + \$ 395115 = \$ 701815, debemos de notar que el mayor gasto se hizo cuando perforamos el pozo de manera convencional y cuando aplicamos la técnica del lodo aireado mejoramos la eficiencia de la perforación y a su vez optimizamos el costo de este pozo.

A continuación presento los costos obtenidos para la perforación de los pozos de FRANTTY todos estos perforados con la técnica del lodo aireado.

POZO FR1003V

Costo por día	Dólares	Número De Días	Costo total
Productos de fluidos	1350	4	
Personal de ingeniería de lodos	1400	4	
Equipo de perforación	37000	4	
Personal operativo del equipo de perforación	12000	4	
Cabezal rotativo	4800	4	
Choke manifold	4100	4	
Sistema automatizado de control	1800	4	
Panel remoto de control Y ADQ	1000	4	
Medidor de Flujo	700	4	
Planta eléctrica	4500	4	
Personal de operaciones e ingeniería	4000	4	
Otros (gomas, manifold ben, epacadura, etc..)	3500	4	
Costo total de la perforación bajo balance por día	76150	4	304600

Se perforo utilizando la técnica de lodo aireado, como podemos observar el costo diario utilizando esta técnica es de 76150 dólares, se logro perforar 690m en solo 4 días sin obtenerse perdidas de circulación, peligros de pega diferencial y tiempos no productivos, obteniendo un costo total de perforación de 304600 dólares.

POZO FR1004V

Costo por día	Dólares	Número De Días	Costo total
Productos de fluidos	1000	4	
Personal de ingeniería de lodos	1300	4	
Equipo de perforación	37000	4	
Personal operativo del equipo de perforación	12000	4	
Cabezal rotativo	4800	4	
Choke manifold	4100	4	
Sistema automatizado de control	1800	4	
Panel remoto de control Y ADQ	1000	4	
Medidor de Flujo	700	4	
Planta eléctrica	4500	4	
Personal de operaciones e ingeniería	4000	4	
otros (gomas, manifold ben, epacadura, etc..)	3500	4	
Costo total de la perforación bajo balance por día	75700	4	302800

Se perforo utilizando la técnica de lodo aireado, como podemos observar el costo diario utilizando esta técnica fue de 75700 dólares, se logro perforar 701m en solo 4 días sin obtenerse perdidas de circulación, peligros de pega diferencial y tiempos no productivos, obteniendo un costo total de perforación de 302800 dólares.

POZO FR1007V

Costo por día	Dólares	Número De Días	Costo total
Productos de fluidos	1250	2	
Personal de ingeniería de lodos	1350	2	
Equipo de perforación	37000	2	
Personal operativo del equipo de perforación	12000	2	
Cabezal rotativo	4800	2	
Choke manifold	4100	2	
Sistema automatizado de control	1800	2	
Panel remoto de control Y ADQ	1000	2	
Medidor de Flujo	700	2	
Planta eléctrica	4500	2	
Personal de operaciones e ingeniería	4000	2	
otros (gomas, manifold ben, epacadura, etc..)	3500	2	
Costo total de la perforación bajo balance por día	76000	2	152000

Se perforo utilizando la técnica de lodo aireado, como podemos observar el costo diario utilizando esta técnica es de 76000 dólares, se logro perforar 255m en solo 2 días sin obtenerse perdidas de circulación, peligros de pega diferencial y tiempos no productivos, obteniendo un costo total de perforación de 152000 dólares.

POZO FR1008V

Costo por día	Dólares	Número De Días	Costo total
Productos de fluidos	1425	3	
Personal de ingeniería de lodos	1500	3	
Equipo de perforación	37000	3	
Personal operativo del equipo de perforación	12000	3	
Cabezal rotativo	4800	3	
Choke manifold	4100	3	
Sistema automatizado de control	1800	3	
Panel remoto de control Y ADQ	1000	3	
Medidor de Flujo	700	3	
Planta eléctrica	4500	3	
Personal de operaciones e ingeniería	4000	3	
otros (gomos, manifold ben, epacadura, etc..)	3500	3	
Costo total de la perforación bajo balance por día	76325	3	228975

Se perforo utilizando la técnica de lodo aireado, como podemos observar el costo diario utilizando esta técnica es de 76325 dólares, se logro perforar 510m en solo 2 días sin obtenerse perdidas de circulación, peligros de pega diferencial y tiempos no productivos, obteniendo un costo total de perforación de 228975 dólares.

CAPITULO VI

Conclusiones y Recomendaciones

Luego de haber realizado todo el proceso de compilación, validación, procesamiento y análisis de los datos. Se ha llegado a las siguientes:

6.1 Conclusiones

- Esta técnica de perforación (Air Drilling) mostró ser una herramienta muy efectiva para mitigar y/o eliminar las pérdidas totales y parciales de circulación en formaciones altamente fracturadas o de baja presión.
- A través de esta experiencia fue demostrado que es posible construir ángulo, obtener altas ROP y buena limpieza de hoyo en secciones perforadas con fluido aireado (Air Drilling).
- Con valores de **ECD entre = 6.90 ppg y 7.90 ppg** fue posible obtener circulación normal y/o total en las zonas ó intervalos de pérdida total de circulación en los pozos.
- El lodo de perforación Tixotrópico Base Agua en conjunto con la inyección de aire (Air Drilling) demostró ser una combinación muy efectiva tanto para curar desde adentro las fracturas naturales de la formación Upper Red Beds así como para la limpieza efectiva de hoyos altamente inclinados de hasta 54°.
- La herramienta MWD con pulso electromagnético mostró ser muy efectiva en la transmisión de data en un medio bifásico.

6.2 Recomendaciones

- Al inicio de las operaciones los equipos utilizados en el proceso de bajo balance deben de estar en buen estado y durante esta se debe de dar un continuo mantenimiento para que tenga una buena eficiencia operacional y también Se debe realizar charlas de seguridad de parte de la compañía del servicio de bajo balance hacia todos los trabajadores de las distintas empresas involucrados en la perforación, explicando las ventajas de esta tecnología y lo peligroso que puede resultar si no se trabaja de la manera adecuada y sin responsabilidad.

CAPITULO VIII

Bibliografía

- Perforación con presión controlada – Oilfield Review – volumen 23 - 2010
- Manual de Weatherford, introducción a la perforación bajo balance.
<http://es.scribd.com/doc/78105657/Manual-de-Perforacion-Bajo-Balance>
- Conference and exhibition SPE/IADC-2012, Managed Pressure Drilling and Underbalanced Operations.
- INGEPET 2011 Tecnología del lodo aireado EXPL-2FF-74-N-Felix Fonseca.
- Gulf drilling series:
Underbalanced Drilling – Limits and extremes – Dave Elliott – 2009.
- Wellbore Stability During Underbalanced Drilling – Jaye shalton – 2010.
- Evaluación de las oportunidades de bajo balance
Campo Colorado – Fernando Enrique Calvete – 2010.
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/134757.pdf>
- Longlian Cui – Detailed Hydraulic simulation of MPD Operation in Narrow Pressure Windows – International Oil & Gas conference – China – 2010.
- Saponja Adeleye, A. Hucik Trials. B. – Managed Pressure Drilling Field Trials demonstrate technology value – SPE 98787 – Drilling conference and exhibition, Miami, USA.