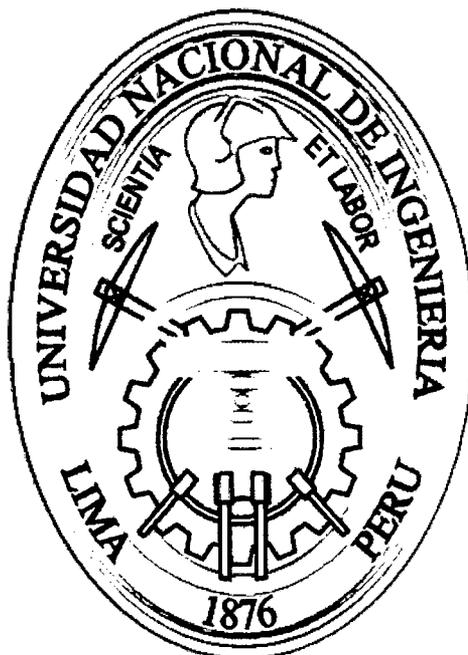


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO,
GAS NATURAL Y PETROQUIMICA



**“OPTIMIZACIÓN DEL RATE DE PENETRACIÓN (ROP) EN
ARCILLA CON ALTA PRESIÓN DE PORO EN SELVA SUR
DEL PERÚ EMPLEANDO LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN
CON PRESIÓN CONTROLADA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE PETROLEO Y GAS NATURAL

ELABORADO POR:

LUIS MIGUEL VERGARA MARTINEZ

PROMOCION 2011-2

LIMA – PERU

Digitalizado por:

Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse

2012

RESUMEN

El presente trabajo se orienta en estudiar la factibilidad de perforar la Selva Sur Peruana con la tecnología de perforación con Presión Controlada / Managed Pressure Drilling (MPD). Para tal fin, fue necesario identificar los problemas operacionales presentados durante la perforación convencional de las dos últimas fases de los pozos perforados, y así establecer el índice de riesgos presentes al perforar dichas fases convencionalmente; estos problemas operacionales, fueron los influjos continuos de agua de las formaciones Yahuarango y Charophyte, ya que estas formaciones son arcillosas con alta presión de poro de 10 ppg hasta 14,5 ppg, como toda perforación convencional se necesita tiempo para poder cambiar el peso de lodo, para tener una carga hidrostática diferente, debido a estos cambios de presión de fondo en la perforación convencional estuvo debajo de la presión de poro, y otro riesgo son los puntos apretados durante los viajes de la tubería, empaquetamiento de la sarta, debido a que las formaciones son arcillas reactivas. Para dichas fases, que por lo general cubren la Formación Yahuarango y Charophytes, se estimaron sus presiones presentes (cabe destacar que es segunda vez que se aplica esta técnica en la Selva Sur Peruana) así como también analiza el rendimiento de la tasa de penetración con el uso de la tecnología y propone los equipos necesarios considerando los requerimientos que involucran su instalación.

Como todo estudio para ser factible debe ser técnico, operacional, y rentable para lo cual se realizó un estudio en cuanto al costo de la aplicación de la MPD versus el costo de la perforación convencional tomando en cuenta una serie de factores. De esta manera resaltar los beneficios económicos de la aplicación de la tecnología. Obteniendo como resultado que es factible el uso de la tecnología de perforación con presión controlada en la Formación Yahuarango y Charophytes.

A medida que los yacimientos más importantes se están depletando y agotando, esta demanda obliga a las empresas a tomar nuevos retos en la exploración para encontrar nuevos yacimientos, lo cual lleva a perforar en lugares difíciles con respecto a la ubicación y su logística, por ejemplo perforar en selva virgen o perforar en aguas ultra-profundas. Para esto, los pozos difíciles de perforar están obligados a utilizar una tecnología más avanzada como la perforación automatizada y la Perforación con Presión Controlada /Managed Pressure Drilling (MPD). Lo cual utilizan modelos hidráulicos estimadores de la presión de fondo, para calcular las condiciones del pozo tales como la presión, temperatura, densidad de fluidos, etc. Los cálculos realizados por estos modelos no siempre reflejan las condiciones del pozo y como un factor de compensación los modelos hidráulicos son ajustados por un factor de correlación para ajustar a la realidad.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias a Nguyen Marcelo, por darme las ideas, el apoyo y tener el tiempo para guiarme cuando fue necesario.

También quiero expresar mi gratitud y estar eternamente agradecido a Luis Sanchez Valqui quien fue mi mentor en Petrobras durante mis prácticas Profesionales de un año.

También quiero expresar mi gratitud a mis padres Venancio Benito Vergara Gonzales y Virginia Martinez Vargas y a mi enamorada Rosa Eugenia Rojas por el apoyo diario y su compromiso de crecer día a día.

Por ultimo quiero agradecer al profesor Ing. Oscar Cortegana Rucoba y el Ing. Javier Díaz de la Universidad Nacional de Ingeniería por haberme proporcionado información valiosa para mi tesis.

Lima, 3 de Diciembre del 2012.

Luis Miguel Vergara Martinez

**“OPTIMIZACIÓN DE LA TASA DE PENETRACIÓN (ROP) EN
ARCILLA CON ALTA PRESIÓN DE PORO EN SELVA SUR DEL
PERÚ EMPLEANDO LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN CON
PRESIÓN CONTROLADA”**

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PROBLEMÁTICA.....	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1. PROBLEMAS GENERALES.....	3
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN DE TESIS.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. OBJETIVOS GENERALES.....	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5. HIPÓTESIS.....	5
 CAPÍTULO II: MANAGED PRESSURE DRILLING.....	 6
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....	6
2.2. PERFORACIÓN CON PRESIÓN CONTROLADA / MANAGED PRESSURE DRILLING.....	9
2.2.1. PERFORACIÓN CONVENCIONAL.....	10
2.2.2. PERFORACIÓN A BAJO BALANCE.....	11
2.2.3. PERFORACIÓN CON PRESIÓN CONTROLADA / MANAGED PRESSURE DRILLING.....	12
2.2.3.1.MPD Reactivo.....	13
2.2.3.2.MPD Proactivo.....	13
2.3. VARIANTES DE LA PERFORACIÓN CON MPD.....	14
2.3.1. Detección Temprana y Manejo Adecuado de Arremetidas y Perdidas.....	14
2.3.2. Presión de Fondo Constante.....	15

2.3.3. Perforación con Capa de Lodo.....	16
2.3.4. Perforación de Doble Gradiente.....	17
CAPITULO III: RAZONES PARA EL MPD.....	20
3.1. Estrechas Ventanas Operacionales.....	20
3.2. Tiempo No Productivo (NPT).....	21
3.2.1. Perdida e Influjos de Circulación.....	21
3.2.2. Atascamiento de Tubería.....	22
3.2.3. Surge y Swab.....	22
3.2.4. Efecto Globo.....	22
3.2.5. Otras Mejoras.....	23
CAPÍTULO IV: INFORMACIÓN REQUERIDA PARA ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE MPD.....	24
4.1. Características del Yacimiento.....	24
4.2. Característica de los Fluidos del Yacimiento.....	24
4.3. Historia de Perforación.....	25
4.4. Información Adicional.....	25
4.5. Pasos Que Involucran en la Selección del MPD.....	25
4.6. Método De Selección.....	26
CAPÍTULO V: EQUIPOS COMUNES PARA LA OPERACIÓN DEL MPD.....	27
5.1. Equipo de Control Rotativo.....	28
5.1.1. Sistema Pasivo.....	29
5.1.2. Sistema Activo.....	29
5.2. Choke Manifold / Estrangulador Múltiple.....	29
5.3. Bombas de Contra-Presión.....	30
5.4. Válvulas de Retención.....	31
5.5. Medidor de Flujo Coriolis.....	31
5.6. Sistema de Circulación Continuo (CCS).....	31

CAPÍTULO VI: PRESIÓN DE FONDO (BHP).....	33
6.1. PROPIEDADES DE FLUIDOS.....	33
6.1.1. REOLOGÍA.....	33
6.1.1.1. Viscosidad Plástica.....	34
6.1.1.2. Yield Point.....	35
6.1.1.3. Resistencia de Gel.....	35
6.1.1.4. Modelos Reológicos.....	36
6.1.2. COMPRESIBILIDAD.....	36
6.2. RATE DE FLUJO.....	37
6.2.1. Régimen de Flujo.....	38
6.2.2. Numero de Reynold.....	38
6.3. REVOLUCIONES POR MINUTO (RPM) Y EXCENRICIDAD.....	39
6.4. RATE DE PENETRACIÓN (ROP).....	39
6.5. CONTRAPRESIÓN EN SUPERFICIE.....	40
6.6. MOVIMIENTO DE TUBERÍAS.....	40
6.6.1. Propiedades de Fluido.....	41
6.6.2. Velocidad y Posición de Tubería.....	41
6.6.3. Geometría del pozo.....	42
CAPÍTULO VII: CASO DE ESTUDIO POZO “SAYRI 4A”.....	43
7.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	43
7.2. INFORMACIÓN GEOLÓGICA.....	44
7.3. POZOS DE CORRELACIÓN.....	44
7.4. ESTIMADO DE PRESIONES DEL POZO “SAYRI 4A”.....	45
7.5. ANÁLISIS DE LA PROGNOSIS GEOMECAÁNICA.....	49
7.5.1. RESUMEN DEL ANALISIS GEOMECAÁNICA POZO “SAYRI 4A”.....	49
7.5.1.1.DETALLES FINALES.....	49
7.6. EVALUACIÓN DE RIESGOS DURANTE LA PERFORACIÓN, SECCION 12 ¼” X 14 ¾”.....	50
7.7. PARÁMETROS DE DISEÑO DE OPERACIÓN.....	51

7.7.1. DISEÑO DE TUBERÍA DE REVESTIMIENTO.....	51
7.7.2. TRAYECTORIA DIRECCIONAL.....	52
7.7.3. SECCIÓN 12 ¼" X 14 ¾".....	53
7.7.4. BHA SECCIÓN 12 ¼" X 14 ¾".....	54
7.7.5. FLUIDO DE PERFORACIÓN.....	55
7.8. DISEÑO HIDRÁULICO.....	56
CAPITULO VIII: VENTANA OPERATIVA MPD EN POZO "SAYRI 4A".....	57
8.1. PROGNOSIS GEOMECÁNICA DEL POZO "SAYRI 4A" CON ANÁLISIS HIDRAULICO PARA EL MPD.....	59
8.2. ESTIMADO DE TIEMPOS POZO "SAYRI 4A" SECCION 12 ¼" X 14 ¾".....	63
8.3. LIMPIEZA DE HOYO Y TRANSPORTES DE RECORTES.....	64
8.4. PROCEDIMIENTO DURANTE LAS CONEXIONES DE TUBERÍA.....	65
CAPITULO IX: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	66
9.1. COMPARATIVA DE TIEMPOS DE LA FASE 12 ¼" X 14 ¾" EN POZOS VECINOS "PUSHAQ 1A", "ASIRI 2A" Y NINA 3A".....	66
9.2. INFLUJOS DE AGUA (SURGENCIA DE POZO) EN SECCION 12 ¼" X 14 ¾" POZO "NINA 3A".....	66
9.3. ANÁLISIS DEL ROP A LA FORMACIÓN YAHUARANGO.....	67
9.4. ANÁLISIS DEL ROP A LA FORMACIÓN CHAROPHYTES.....	78
9.5. COMPARATIVA DE LOS ROP ESTIMADO Y REAL.....	88
CAPITULO X: CONCLUSIONES.....	89
CAPITULO XI: RECOMENDACIONES.....	90
CAPITULO XII: BIBLIOGRAFÍA.....	91

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El MPD desde el punto de vista básico es una colección de técnicas de optimización de perforación que correctamente diseñadas, planeadas y aplicadas mejoraran toda la ejecución de la perforación, mitigando riesgos y reduciendo costos de operación, mediante el manejo del perfil de la presión hidráulica y resolviendo los problemas asociados con el Alto Tiempo No Productivo (NTP) experimentado con las practicas de perforación convencional. Desde este momento me referiré a la Perforación con Presión Controlada como (Managed Pressure Drilling) el cual será abreviado como “MPD”

La primera razón para elegir perforar un pozo con la técnica de Perforación con Presión Controlada / Managed Pressure Drilling (MPD) es debido a una ventana de perforación estrecha comúnmente encontrada, en cualquier reservorio depletado con características de alta presiones y altas temperaturas. Una ventana de perforación estrecha se refiere a los reducidos márgenes de presión de poro y los limites de presión de fractura, lo que implica un pequeño margen de error. Las operaciones del MPD por lo tanto requieren un alto grado de conocimiento sobre las formaciones del pozo, y como los parámetros de perforación controlable afectan la presión de fondo. Ejemplo de estos parámetros son las propiedades del lodo, velocidad de flujo, las revoluciones por minuto (RPM), las RPM tiene dos efectos opuestos, uno de ellos es que la rotación aumenta la velocidad de lodo circulante, lo que resulta una perdida de fricción creciente por ende una presión de fondo superior, el otro efecto es que el incremento de la velocidad de flujo mejora el transporte de los recortes lo que conduce a mejorar la limpieza del pozo, lo que resulta una presión de fondo inferior. Los efectos de estos parámetros sobre la presión de fondo no son sencillos sobre todo cuando hay interacción sobre ella. Esto causa una incertidumbre en los cálculos realizados para la presión de fondo (BHP), estos cálculos se transfieren al modelo hidráulico que se utiliza para controlar la contrapresión en la superficie. Debido al pequeño margen de error en las operaciones del MPD, estas incertidumbres se deben reducir al mínimo, tanto por razones de seguridad y para poder perforar incluso en ventanas estrechas en el futuro.

Antes de discutir el candidato de selección, la aplicación del proceso y obtención de resultados de la Optimización del ROP, es importante clarificar la estandarización de la definición del Managed Pressure Drilling (MPD) como:

Un proceso Adaptativo de perforación usado para controlar el perfil de presión anular a través de la presión de fondo. Siendo el objetivo determinar los límites de la presión de fondo y manejar el perfil de presión hidráulica, evitando influjos continuos de fluidos de formación a la superficie.

El primer capítulo es para aclarar el objetivo de la tesis, y delinear el método de aplicación para la solución del problema, dando algunas posibles hipótesis.

El segundo y tercer capítulo es para dar una introducción del MPD, el cual describe conceptos básicos, clases de MPD y problemas que se pretenden mitigar.

El cuarto capítulo describe la información que se requiere para el estudio de factibilidad de la aplicación de esta tecnología de la Perforación con Presión Controlada, y los pasos que involucran en la selección del MPD.

El quinto capítulo es un breve resumen de los equipos comunes de operación del MPD, lo cual se exponen para mostrar la complejidad de este método de perforación en comparación con la perforación convencional.

El sexto capítulo es para explicar los principales factores que afectan la presión de fondo durante la perforación.

El séptimo capítulo es el caso de estudio para los campos de la Selva Sur Peruana, en formaciones arcillosas con alta presión de poro. Dicho estudio también muestra como algunas empresas están aplicando esta técnica en sus pozos exploratorios y los retos asociados a ella, que representa el trabajo experimental de esta tesis.

El octavo capítulo describe la ventana operativa donde trabajamos con esta tecnología de Perforación con Presión Controlada.

El noveno capítulo es el análisis de los resultados de investigación que obtendremos y el método de solución a nuestro problema de alta presión de poro en formaciones arcillosas como es Yahuarango y Charophytes.

El décimo capítulo se ilustra los costos comparativos entre las técnicas de Perforación de Sobre Balance, Perforación Bajo Balance y el MPD, y la respectiva conclusión de la tesis.

El décimo primer capítulo, se hace mención a las conclusiones y recomendaciones de la técnica del MPD en la Optimización del Rate de Penetración.

El décimo segundo capítulo, es para los que desean investigar mas sobre esta nueva tecnología de la Perforación con Presión Controlada, describo las direcciones, así como libros del IADC, y algunas páginas de la WEB.

El décimo tercer capítulo se hace mención a los anexos, puntos importantes como los cambios de gomas del cabezal rotativo, los procedimientos de contingencia, y las conexiones de tuberías.

1.1. PROBLEMÁTICA

Debido la alta producción que tienen los yacimientos mas importantes, estos se están depletando y agotando. Para restablecer esta producción la empresa tiene como alternativa perforar pozos que frecuentemente están en lugares difíciles y hostiles con respecto a la ubicación, además que muchos de ellos son pozos profundos, y con presiones anormales (elevadas).

En la Selva Sur Peruana, las empresas Pluspetrol (lote 56), Repsol (lote 57) y Petrobras (lote 58) exploran nuevas zonas, que representan nuevos retos con respecto a la logística (acceso) y los problemas operacionales presentes (para nuestro caso de estudio los influjos continuos de agua de las formaciones arcillosas con alta presión de poro como es Yahuarango y Charophytes), como resultado de la exploración se han descubierto yacimientos rentables, ahora las empresas tienen por reto industrializar la Selva Sur Peruana.

Estos pozos exploratorios, perforados con la técnica de Perforación convencional han presentado problemas operacionales como: influjos de formación, baja velocidad de penetración, pega de tuberías. La solución que presento en este trabajo es la utilización de esta técnica de Perforación con Presión Controlada

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMAS GENERALES

El problema en los pozos exploratorios de Selva Sur Peruana son:

- Baja Velocidad de Penetración (ROP).
- Pérdidas de Circulación.
- Pega de Tuberías por Presión Diferencial, rotura de la sarta.
- Costos de lodo excesivo, y múltiples cambios de densidad.
- Amagos-Control de Pozos.
- Problemas para alcanzar el TD con un tamaño del pozo lo suficientemente grande.

Las características del pozo debido a los problemas mencionados son:

- Múltiples secciones de tubería de revestimiento
- Escenario de pérdidas y arremetidas de pozo.
- Excesivos costos de lodo.
- Excesivo Tiempos No Productivos.
- Problemas medio ambientales.
- Imposibilidad de alcanzar el TD
- TD alcanzada con hueco reducidos

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

Tenemos los siguientes problemas como:

- La baja velocidad de Penetración en las formaciones arcillosas con alta presión de poro como viene ser la Formación Yahuarango y Charophytes .
- Influjos continuos de las formaciones de alta presión de poro como son Yahuarango y Charophytes.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN DE TESIS

La justificación de esta técnica de Perforación con Presión Controlada es porque:

- Aumenta la velocidad de perforación. Por lo tanto reduce los tiempos del proyecto.
- Reduce costos operacionales.
- Mejora la seguridad y control de pozo.
- Elimina los peligros de Altas presiones y altas temperaturas en la superficie
- Alcanza una mayor eficiencia de perforación

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal es reducir los tiempos de perforación y reducir los Tiempos No Productivos (NTP), para reducir costos.

1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Otro objetivo es identificar qué clase de MPD a utilizar y estandarizar para aplicar en la Selva Sur Peruana cuando tengamos presencia de formaciones arcillosas con alta presión de poro para optimizar la velocidad de penetración (ROP) en la formación Yahuarango y Charophytes, así como que parámetros a tomarse en cuenta para la aplicación de esta tecnología de acuerdo con las características del yacimiento, minimizando los peligros operacionales.

Debido a que no se conocen con precisión la ventana operacional de gradiente Poro-Fractura de los yacimientos de la Selva Sur Peruana, que recién se están perforando pozos exploratorios, el objetivo viene a ser perforar con seguridad y éxito, donde tenemos una formación de arcilla presurizada que viene ser la formación Yahuarango y Charophytes , en el cual utilizaremos una contrapresión en cabeza con un peso de lodo mínimo para ganar velocidad de penetración (ROP), esta técnica será

aplicada antes de llegar a la etapa productiva Ene , Nia , Nou, así minimizando el influjo y controlando la presión de fondo, en el cual el diseño hidráulico nos llevará al éxito en esta operación.

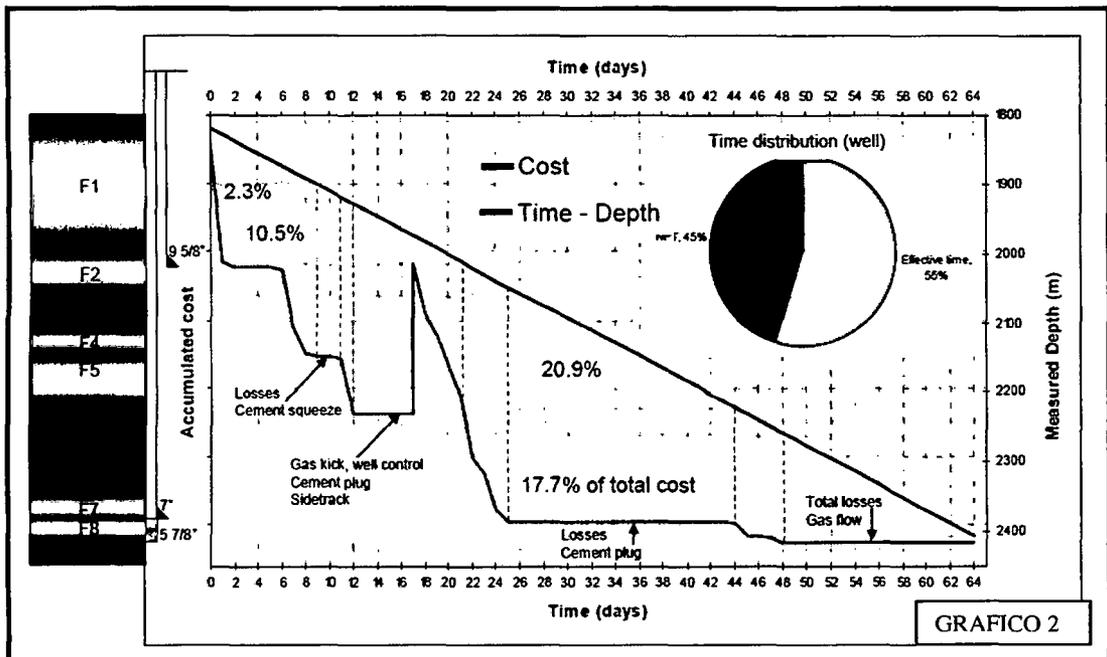
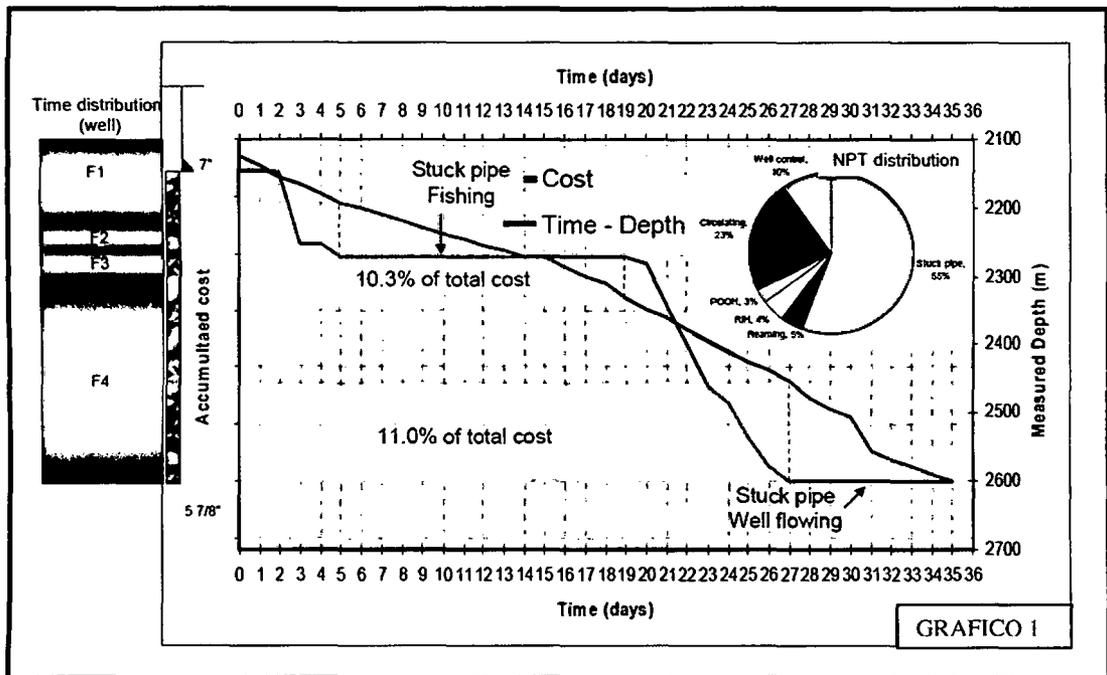
1.5. HIPÓTESIS GENERAL

- La solución al problema del bajo rate de penetración (ROP) en las arcillas de alta densidad, que ocurre en la perforación de pozos en los lotes situados alrededor de Camisea es utilizar la técnica de Perforación con Presión Controlada. Cabe señalar que uno de los factores que influyen en la velocidad de penetración, depende de la diferencia de Presión Equivalente de Circulación y la Presión de Formación en el hueco, Y logrando acortar esa diferencia de presión entre la Densidad Equivalente de Circulación y la Presión de Poro, se notará una mayor velocidad de penetración en las formaciones problemáticas.
- Tener una presión de Densidad Equivalente de Circulación por encima de la Presión de Poro evitará el influjo de las formaciones de estudio como son Yahuarango y Charophytes

CAPÍTULO II: PERFORACIÓN CON PRESIÓN CONTROLADA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Como antecedentes de la investigación del uso de la técnica de Perforación con Presión Controlada (MPD), podemos citar 2 pozos localizados en un país de Medio oriente y Norte de África, que fue seleccionado como candidato para el MPD. Los siguientes gráficos 1 y 2 muestran los Tiempos No Productivos y los Costos de Perforación asociados, obtenidos del análisis de 2 pozos en tierra (on shore)



En ambos casos el objetivo de la profundidad no fue alcanzado, mas del 50% del costo total y el tiempo de perforación fue asociado a los Tiempo No Productivos (NPT). El uso de la técnica de la Perforación con presión Controlada (MPD) fue seleccionado para aplicar mientras se perfore las últimas secciones de los pozos, debido a los problemas operacionales que fueron presentados en los pozos vecinos anteriores.

Estos pozos, representan reservorios de altas presiones y altas temperatura, donde la técnica del MPD fue utilizado para perforar estas formaciones de caliza y carbonatos de mas de 7000 pies (2 secciones), donde normalmente hay grandes perdidas de fluido y excesivos Tiempos No Productivos, lo cual superaron lo planificado. Para ello fue seleccionada la técnica del MPD, para así manejar el perfil de la presión de poro en Tiempo Real mientras se perfore, evitando los influjos y otros problemas operacionales.

Cuando se aplicó la técnica del MPD, los Tiempos No Productivos fueron reducidos a 1 día, comparado con un promedio de 10 días, de 3 pozos perforados en el mismo campo. La perdida de fluido fue minimizado a 290 bbl comparado con las pérdidas anteriores normales de 4000 bbl de lodo por pozo. El proceso de distribución de tiempos es mostrado en el siguiente grafico 3

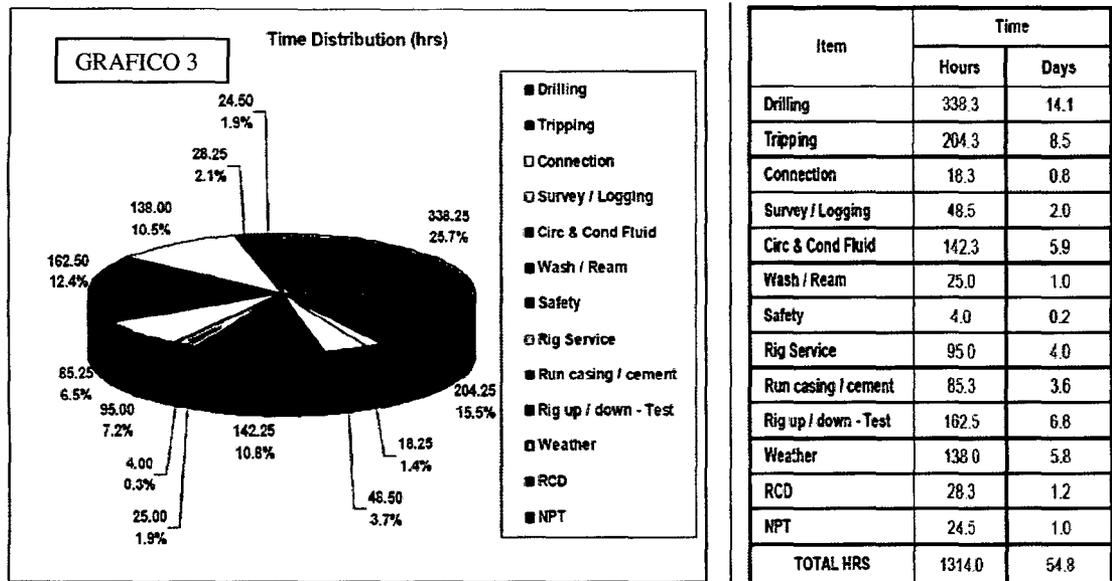
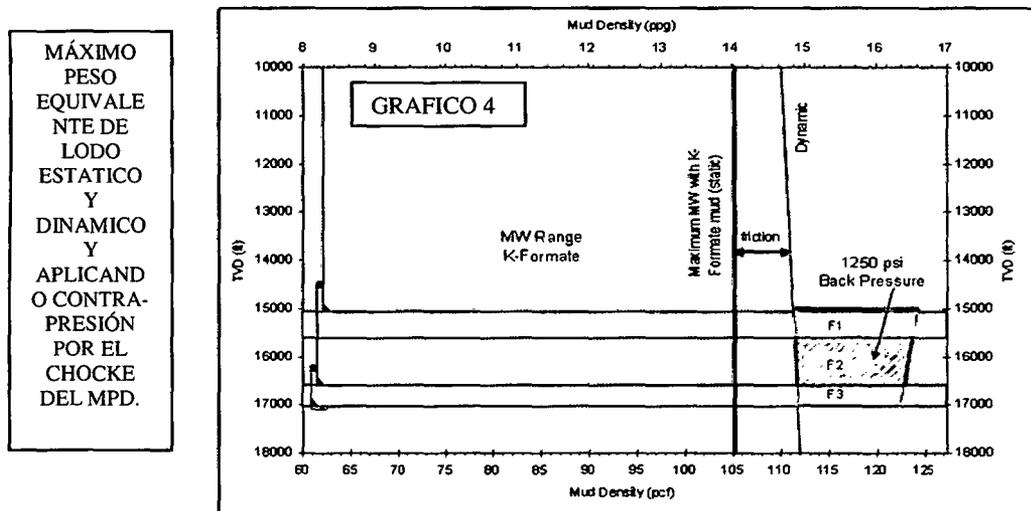


GRAFICO N°3 DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO FINAL EN UN POZO DONDE FUE APLICADO EL MPD

La técnica de la Perforación con Presión Controlada (MPD) fue aplicada en estos pozos exploratorios donde antes la presión de poro se obtenía basada en la experiencia, mientras se perfora pozos en el área. Y algunas secciones tenía un amplio rango de predicción de presión de poro, lo cual indicaba un considerable grado de incertidumbre en comparación con la técnica del MPD, y los problemas de perforación como derrumbe del pozo, atascamiento de tubería, pérdida parcial o total de circulación, H₂S, influjos de agua/petróleo/gas, incremento de cloruros en el lodo por contacto con el agua salada de la formación fueron solucionados con el MPD. La razón de los bajos sólidos en el fluido de perforación fueron usados con el principal objetivo de evitar el daño a la formación, por el taponamiento de los sólidos a la matriz. Basado en información suministrada, el máximo peso alcanzable con este fluido fue de 14 ppg, que podía ser menos que la presión de poro creando una condición de underbalance y situaciones inseguras que podrían presentarse en el pozo si fuera perforado convencionalmente (sin equipo especializado y tecnología para manejar la situación).

El principal objetivo de perforar el pozo utilizando la técnica de la Perforación con Presión Controlada (MPD) fue alcanzar la profundidad objetivo con la mínima complicación reduciendo los elevados Tiempos No Productivos (NPT) y los elevados costos relacionados con la pérdida parcial o total de circulación, desprendimiento del pozo, atascamiento de tubería, producción de H₂S, influjos de agua/petróleo/gas, incremento de cloruros en el lodo por contacto con el agua salada de la formación y para evitar un evento descontrolado para mantener un presión constante en el fondo y controlando las propiedades en el pozo en caso que un condición de underbalance ocurra mientras se perfora la sección del hoyo 8 3/8" y 5 7/8".

El siguiente grafico 4 muestra el peso de lodo máximo estático y dinámico obtenido con bajos sólidos en el fluido de perforación y además la Densidad Equivalente de Circulación que se obtuvo aplicando contra-presión en superficie.



Un pozo vecino fue perforado con el mismo diseño de configuración por la misma compañía operadora pero sin aplicar la tecnología del MPD. El sistema de fluido fue base agua con una densidad que varía de 12.5 ppg a 15.3 ppg. El peso de lodo fue gradualmente incrementándose de 12.5 a 15.3 ppg mientras se perforaba a través de la formación objetivo. Mientras se perforaba las formaciones objetivo se encontraban ventanas estrechas. Se hizo reaming al menos 2 veces antes de hacer las conexiones. Debido a que la formación objetivo contenía gas, el peso de lodo fue continuamente incrementándose para reducir y/o eliminar el influjo de gas, que implicó elevados Tiempos No Productivos para este eventos de control de pozo. Algunas comparaciones entre ambos pozos (con MPD y sin MPD en el mismo campo) son:

- Total de días empleado en la perforación de la sección total: 65 días sin MPD- 40 días con MPD.
- Total de días dedicado en eventos de control de pozo (NPT): 7.6 días sin MPD- 1.1 días con MPD.

2.2 PERFORACIÓN CON PRESIÓN CONTROLADA / MANAGED PRESSURE DRILLING

DEFINICIÓN: El **Managed Pressure Drilling (MPD)** es un proceso adaptable de perforación utilizado para controlar con precisión el perfil de presión anular.

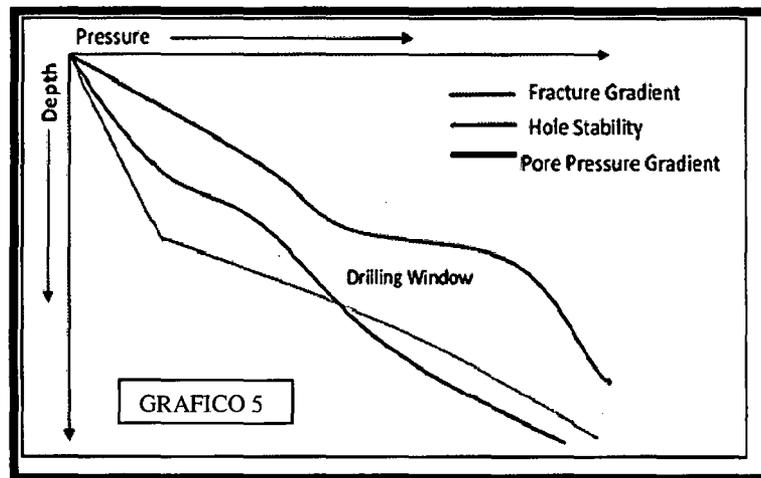
¿Por qué el MPD es adaptativa?

Porque posee la habilidad de cambiar para ajustarse a diferentes condiciones como:

- ✓ Propiedad de Lodo
- ✓ Tasa de Flujo de Entrada y Salida.
- ✓ Contra Presión.
- ✓ Perfil hidrostática.
- ✓ Practicas de Perforación.
- ✓ Configuración del Pozo

OBJETIVO:

Determinar con precisión la ventana operacional (**Presión Poro- Presión Fractura**) y manejar la presión de fondo ejercida dentro de los límites establecidos de acuerdo a los requerimientos operacionales. Es una intención del Managed Pressure Drilling (MPD) **evitar el influjo** continuo de fluido de formación a la superficie. Cualquier influjo accidental debe ser contenido de manera segura usando los procesos apropiados.



2.2.1. PERFORACIÓN CONVENCIONAL

En la perforación convencional la presión de fondo se define como la presión hidrostática proporcionada por el peso del lodo, mas la presión de fricción anular que depende de la tasa de bombeo, propiedades del lodo, geometría del pozo, etc

$$\text{BHP (DINAMICO)} = \text{PMW} + \text{PAF} \dots\dots (1)$$

Donde:

BHP: Presión De Fondo

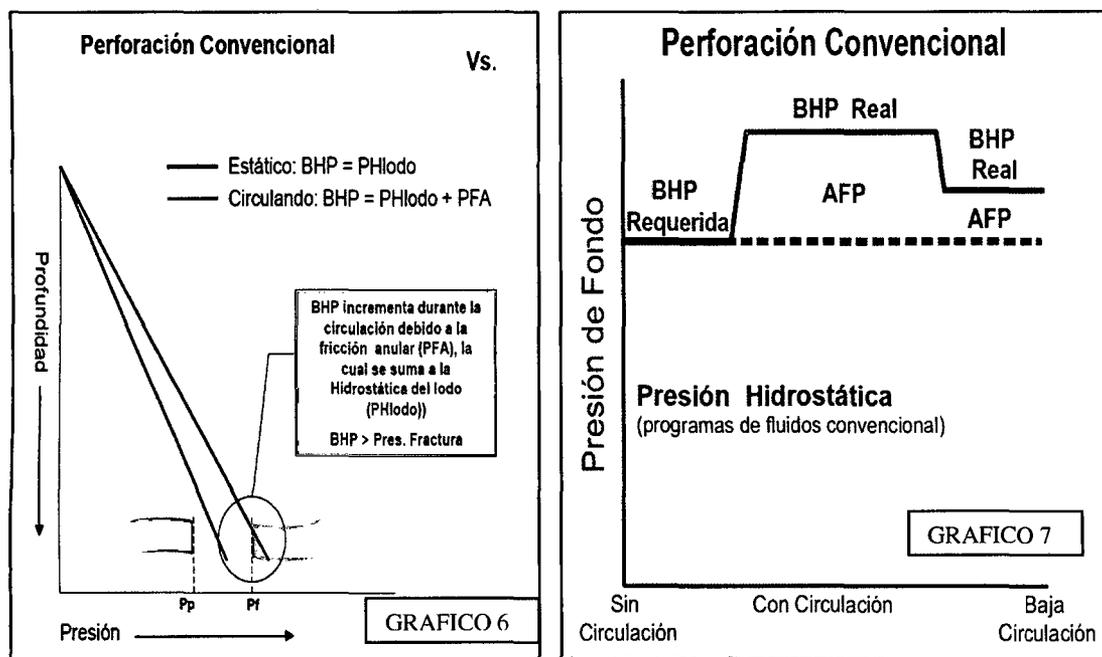
PMW: Presión Del Peso Del Lodo

PAF: Presión De Fricción Anular

Durante las conexiones y otras operaciones, donde no hay circulación la presión de fricción puede asumirse como cero, dejando que la presión hidrostática del lodo sea el único parámetro en influir en la presión de fondo.

$$\text{BHP (ESTATICO)} = \text{PMW} \dots\dots (2)$$

De la ecuación (1) y (2), puede verse que el único que altera la presión de fondo, cuando se perfora convencionalmente es la presión del lodo y la tasa de bombeo. Esto conduce a varias desventajas. Uno, que se necesita tiempo para cambiar el lodo para así lograr una carga hidrostática diferente. Otro, que durante la perforación convencional siempre uno experimenta cambios de presión del pozo durante las operaciones cuando se rompe circulación, como la presión de fricción es igual a cero. Esto podría conducir a nuevos esfuerzos al pozo lo que podría causar problemas relacionados con la fatiga creando inestabilidad del pozo.



2.2.2 PERFORACIÓN BAJO BALANCE

Parte de la definición de bajo balance proviene del IADC UBO. La presión hidrostática del fluido de perforación diseñado intencionalmente para ser menor que la presión de formación perforado. Esta parte de la definición muestra que el objetivo de la operaciones de perforación a bajo balance es mantener intencionalmente la presión de fondo, menor que la presión de poro de la formación. La principal razón, es para proteger, características y preservar el reservorio durante la perforación, que podría conducir a una mayor productividad del reservorio.

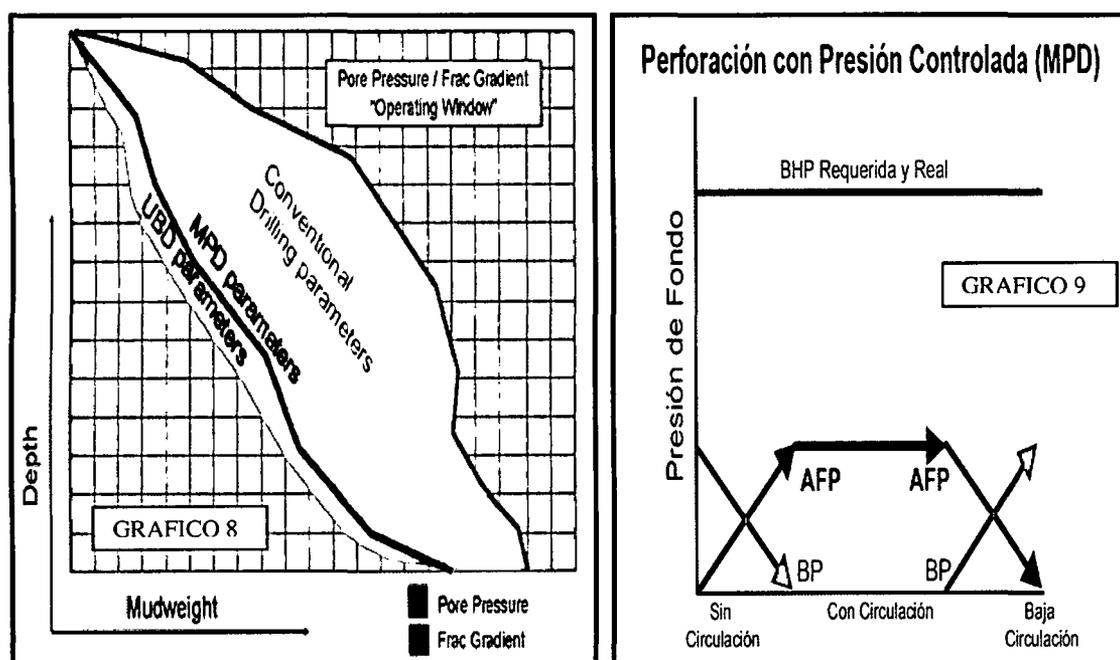
También hay evidencias que la perforación en Bajo Balance minimiza los problemas relacionados como atascamiento diferencial, perdidas de fluidos. Sin embargo como la hidrostática Bajo equilibrio fomentara influjo de fluidos de formación en el pozo, entonces el pozo tiene que ser diseñado para manejar el fluido producido cuando alcanza la superficie. Además de ser un sistema complejo, esto crea la necesidad de quemar hidrocarburos producidos, el cual es una de las razones principales por las que las compañías se han mostrado reacios a aplicar esta técnica de perforación de bajo balance. Este sistema exige un espacio adicional, el cual es un factor limitante en las instalaciones off-shore. La implementación del sistema podría resultar difícil. La perforación Bajo Balance esta prohibida en algunas jurisdicciones, debido al riesgo de influjos incontrolados de la formación. La plataforma continental de Noruega es algunas de ellas.

2.2.3 PERFORACIÓN CON PRESIÓN CONTROLADA / MANAGED PRESSURE DRILLING

La Perforación con Presión Controlada es una sub-tecnología de la perforación de Bajo Balance, que ofrece un método para perforar en sobre balance e incluso balanceado, con bajo peso de lodo. A mediados de la década del 60 el equipo de control rotativo / Rotating control Drilling (RCD), se introdujo en EEUU, junto con un estrangulador y una sarta de perforación con válvula antiretorno, permitió la práctica de perforación con fluidos compresivos como gas, aire, vapor y espuma.

El equipo de Control Rotativo evoluciono la industria, y la industria aprendió a usar el Equipo de Control Rotativo para manipular con mayor precisión el perfil de presión hidráulica anular cuando se perfora con la técnica de perforación convencional. Esto condujo a la capacidad de perforar con una densidad de lodo, cerca e incluso por debajo de la presión de poro, sin permitir influjos de la formación lleguen a la superficie ya que el Equipo de control Rotativo sella el anular, lo cual no permite que llegue a la superficie de trabajo. Existen varios enfoques diferentes para lograr este tipo de Perforación con Presión Controlada, en el 2003 han sido reconocidos una variedad de técnicas dentro del mismo Managed pressure Drilling (MPD).

Aunque es similar a la perforación en bajo balance, “La Perforación con Presión Controlada”, difiere en la forma que no permite influjos de la formación en el pozo, al permanecer justo por encima de la presión de poro, como se ve en el grafico 8.



El Comité Internacional de la Asociación de Perforación define a la Perforación con Presión Controlada como:

- La Perforación con Presión Controlada es un proceso de perforación Adaptativa utilizada para controlar con precisión el perfil de presión anular en todo el pozo. Los objetivos son conocer los límites de presión de fondo, para manejar la presión hidráulica anular. La intención de la Perforación con Presión Controlada es evitar el influjo continuo de los fluidos de la formación a la superficie. Cualquier influjo incidental en la operación será controlado de forma segura mediante un proceso adecuado.
- El proceso de Perforación con Presión Controlada, emplea una colección de herramientas y técnicas que pueden mitigar los riesgos y costos asociados con la perforación de pozos que tienen límites estrechos de presión de Poro-Fractura, por el manejo proactivo del perfil de presión hidráulica.
- La perforación con Presión Controlada puede incluir el control de contra-presión, la densidad de los fluidos, la reología, el nivel del fluido anular, la fricción de circulación.
- La perforación con Presión Controlada permite una acción correctiva rápida para hacer frente a las variaciones de presiones observadas. Porque tiene la capacidad de controlar dinámicamente la presión anular que facilita la perforación.

La Perforación con Presión Controlada (MPD) se puede dividir en 2 categorías principales:

2.2.3.1 MPD REACTIVO

Significa que el MPD es usado como contingencia para algo inesperado, como los regímenes de presión sorpresa que suelen ocurrir cuando se perfora con MPD reactivo, uno tiene todo el quipo para perforar con el modo de Perforación con Presión Controlada, pero solo se utiliza después de encontrarse con el problema.

2.2.3.2. MPD PROACTIVO

Esta aplicación requiere trabajar con anticipación para planificar el MPD, diseñando el sistema más apropiado para las necesidades específicas del pozo y su programa de perforación. El MPD proactivo reduce drásticamente el NPT de perforación, junto con los costos y permite incorporar cambios fundamentales en los programas de fluidos, tuberías de revestimiento y pozo abierto. A medida que los pozos se vuelvan más profundos, más calientes, tengan presiones más elevadas o

estén más agotados, muchos requerirán algún tipo de MPD proactivo. Esto puede representar la diferencia entre obtener ganancias o no.

Las cuatro variantes principales de la MPD proactiva permiten perforar secciones de pozo abierto más profundas; reducen la cantidad de sartas de revestimiento, el NPT y los cambios en la densidad del lodo que son necesarios para alcanzar la profundidad total; y mejoran el control del pozo.

2.3. VARIANTES DE LA PERFORACIÓN CON PRESIÓN CONTROLADA

En la tecnología del MPD hay 4 sub-categorías principales que tienen diferentes enfoques.

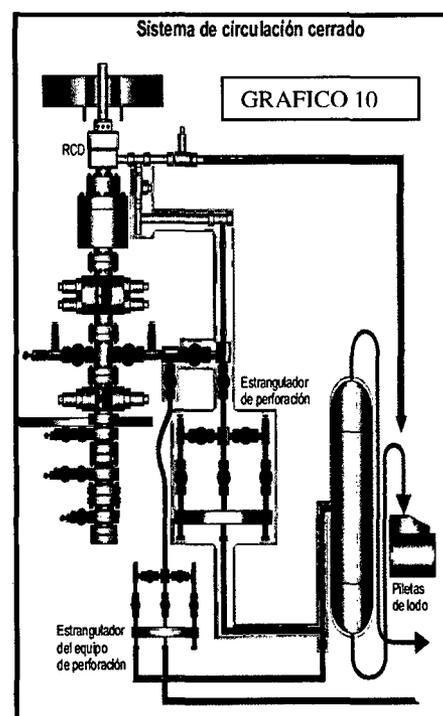
Siendo estas sub-categorías las siguientes que presento a continuación:

- Detección Temprana y Manejo Adecuado de Arremetidas y Perdidas
- Presión de Fondo Constante
- Perforación con Capa de Lodo
- Gradiente Dual

2.3.1. DETECCIÓN TEMPRANA Y MANEJO ADECUADO DE ARREMETIDAS Y PÉRDIDAS

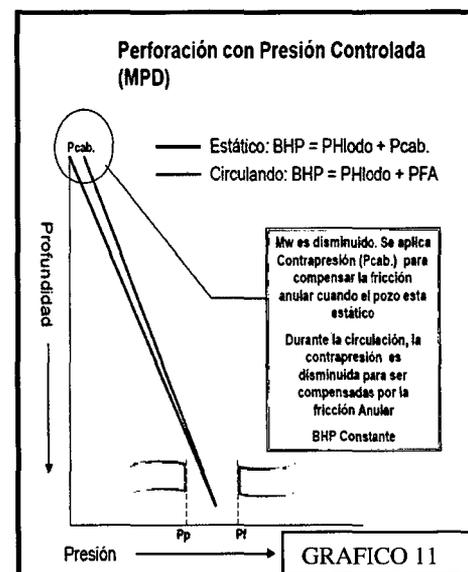
Este método es implementado por razones de Seguridad Medio Ambiental y Social, y se logra utilizando un equipo de control rotativo para la operación de perforación convencional.

- MPD Reactivo, ahorra tiempo (\$\$\$) y es Seguro.
- Pozo planeado en forma convencional
- Sistema de circulación presurizado cerrado
- Equipo de Control Rotativo (RCD) permite desviar el fluido de retorno al estrangulador del Equipo de Perforación.
- Previene liberación de fluidos hacia el piso de perforación,
- Permite movimiento de la tubería mientras se circula un influjo
- No cerrar preventoras para circular lodo cortado a separación.



2.3.2. PRESIÓN DE FONDO CONSTANTE

La presión de fondo constante (CBHP), una de las variantes del MPD, permite "hacer equilibrio" entre el gradiente de presión de poro y de fractura. El objetivo es perforar con un fluido que sea más liviano que el utilizado convencionalmente de modo que la presión de fondo (BHP) se mantenga en un valor constante, independientemente de si la columna de fluido se mantiene estática o está circulando. La pérdida de la presión de flujo del espacio anular cuando no está circulando se contrarresta con la contrapresión de superficie aplicada.



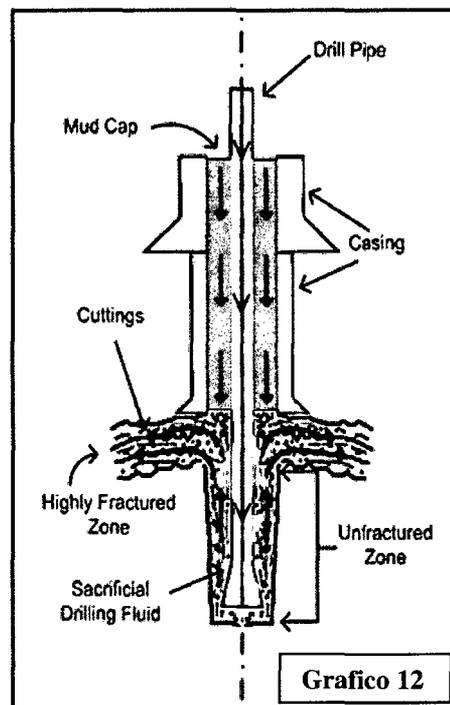
Un dispositivo de control rotatorio (RCD), instalado arriba de la armadura de control (BOP), y un estrangulador adicional facilitan este control. De hecho, el cambio en la BHP generado a partir de la densidad de circulación equivalente (ECD) durante la perforación convencional se traslada a la superficie. En otras palabras, en la MPD con CBHP, disminuye la densidad del lodo y esta pérdida de densidad se compensa con presión anular aplicada en superficie. Durante las conexiones, las bombas se detienen y el estrangulador se cierra para aplicar la contrapresión en superficie. En el ensamble de fondo se mantiene una BHP constante.

El resultado final es que, durante la perforación del pozo o cuando el pozo se hace circular para limpiarlo, el valor estático de la BHP no varía. La perforación puede llevarse a cabo con menos ECD que en pozos perforados de modo convencional, es menos probable que se supere el gradiente de presión de fractura de la formación, no se producen pérdidas y la sección del pozo puede perforarse a una mayor profundidad; tampoco se promueve el influjo de fluidos de la formación debido a que la BHP estática predeterminada permanece por encima de la presión de poro de la formación. El pozo en ningún momento se encuentra en una condición bajo balance. La MPD con CBHP permite el asentamiento más profundo de las zapatas de las tuberías de revestimiento y, en última instancia, puede reducir la cantidad total de sartas de revestimiento requeridas para alcanzar la profundidad total (TD) del pozo. Por ende, esta ventaja contribuye a alcanzar la TD con un tamaño de pozo lo suficientemente grande para asegurar el logro de los objetivos de productividad del pozo.

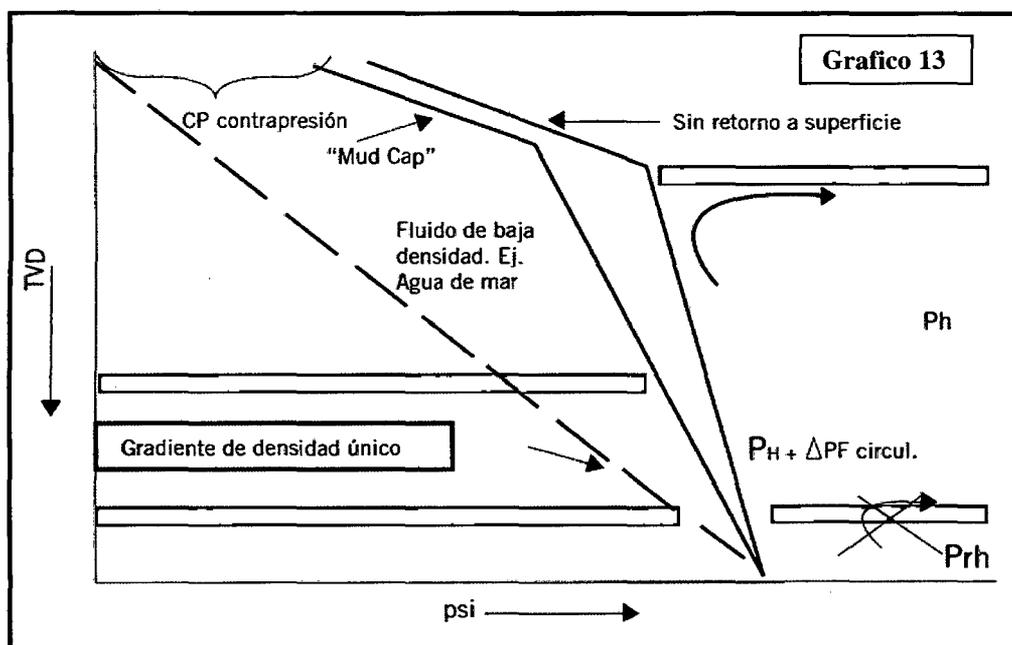
2.3.3. PERFORACIÓN CON CAPA DE LODO

Esta variante ha evolucionado los programas de perforación en tierra y es particularmente beneficioso en los casos donde los pozos vecinos han encontrado zonas excesivamente depletadas y se registraron pérdidas masivas de lodo de perforación.

Este tipo de operaciones involucra un fluido de sacrificio por ejemplo agua de mar con inhibidores (cuando se perfora off shore) sin retorno a la superficie, y también utiliza lodo pesado que actúa como un tapón, que se bombea por el espacio anular con una bomba especialmente dedicada a ello a través de la RCD; la altura de la columna de lodo y su densidad se predeterminan manteniendo en un mínimo los requerimientos de contrapresión en superficie. El fluido de sacrificio es menos denso y menos costoso que el lodo convencional utilizado en los pozos vecinos (offset).

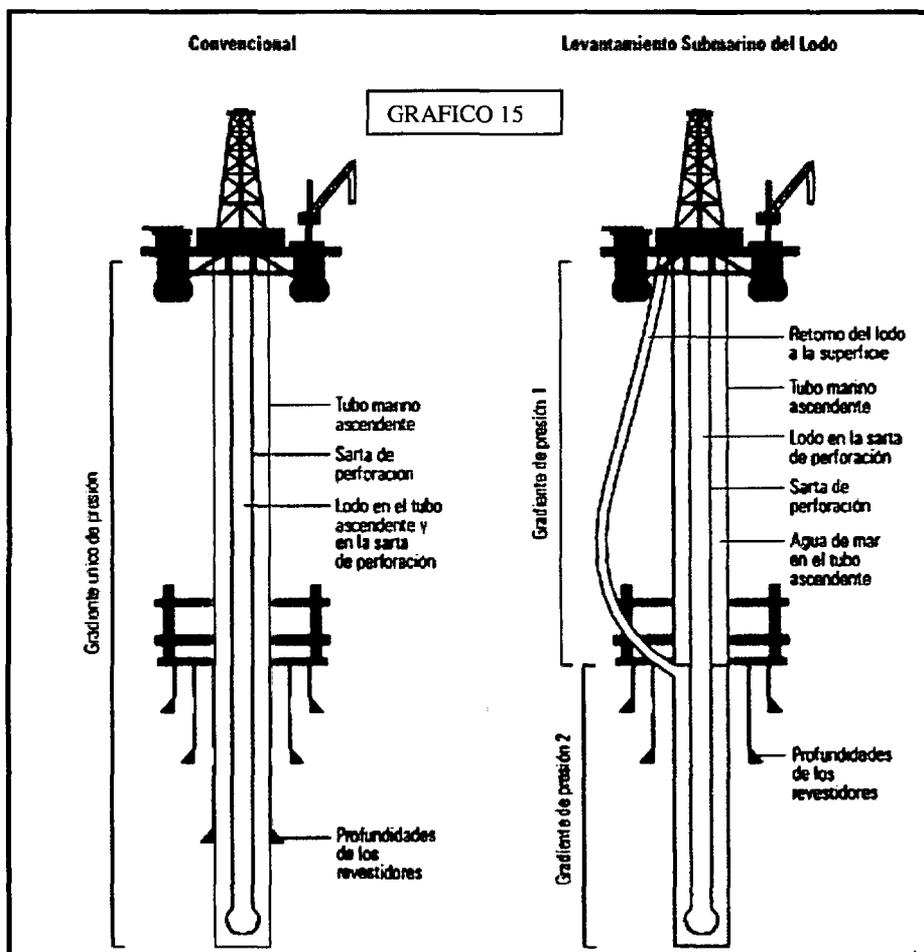
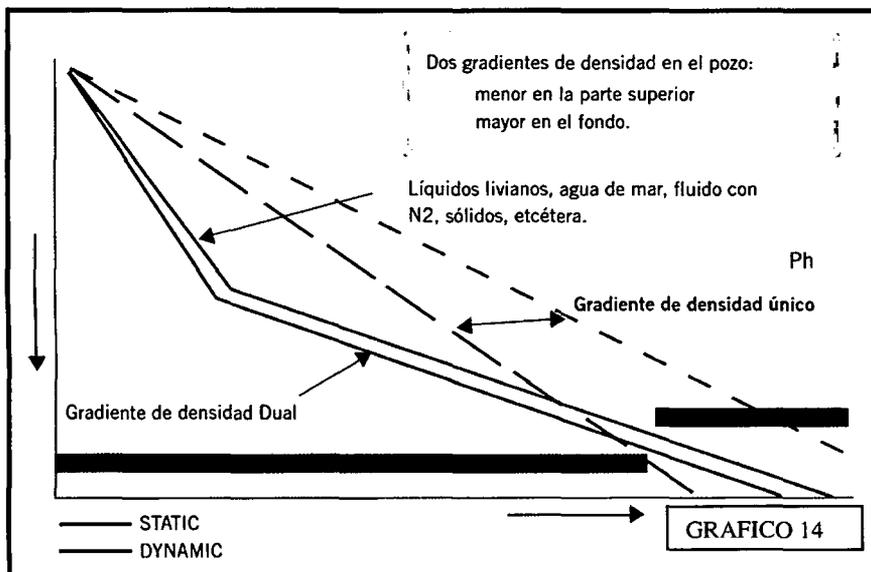


Cuando se perfora y circula con lodo de sacrificio (más liviano) se evita que este llegue a superficie por medio de la presión hidrostática del tapón de lodo lo que aumenta la contrapresión en superficie a través de la RCD con el choke manifold. El lodo y los recortes se ven forzados a la zona de pérdida que de otra manera ofrecería un riesgo durante la perforación. En el gráfico 13 se puede ver cómo funciona este método.



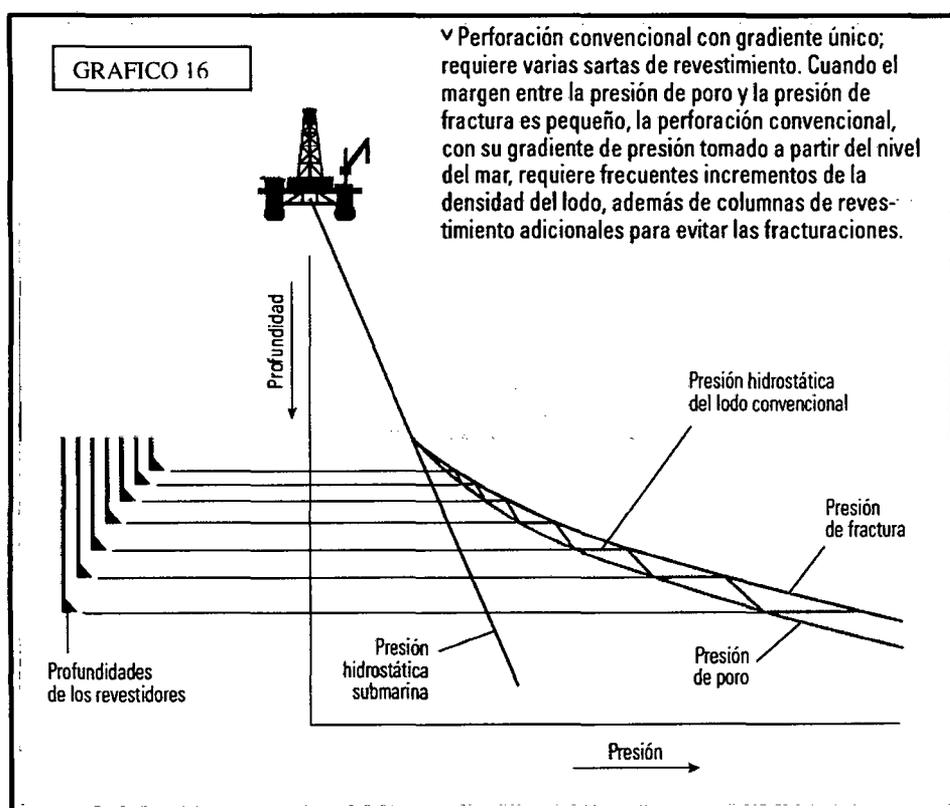
2.3.4. PERFORACIÓN DE DOBLE GRADIENTE.

Esta variante permite perforar el pozo con dos gradientes de fluido en el anular. Las técnicas para practicar esta variante incluyen la inyección de un fluido de una densidad más baja, lo que vendría ser una densidad baja en el tope, y una densidad elevada en el fondo. Por ejemplo un fluido nitrificado en el tope, a través del riser para reducir la presión de fondo de manera significativa sin tener que cambiar la densidad del lodo de perforación o los regímenes de bombeo.



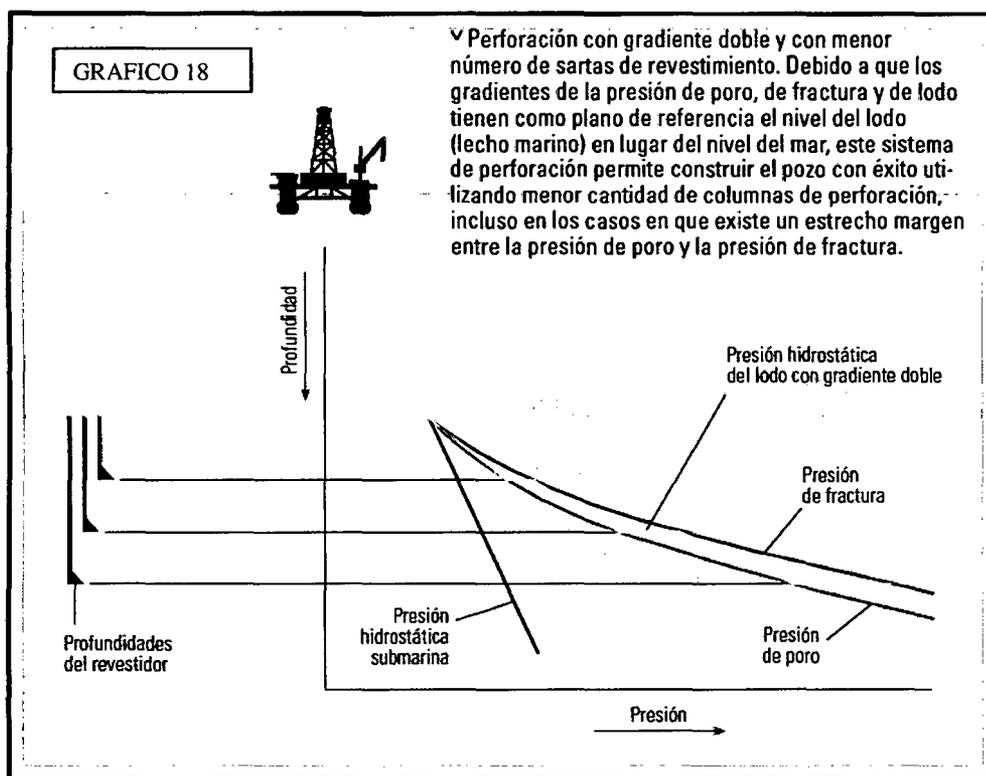
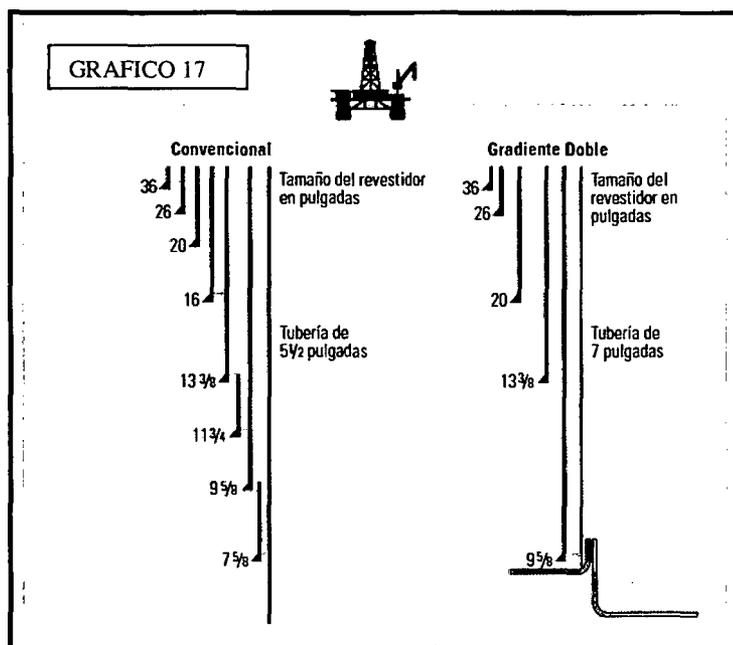
La tecnología de perforación en aguas profundas: convencional (izquierda), y con levantamiento submarino del lodo (derecha) mostrados en el grafico 15. En la convencional, el peso de la columna del lodo en el tubo ascendente a menudo es demasiado elevado para perforar sin provocar fracturas en las formaciones débiles. La tecnología de levantamiento submarino del lodo permite aislar el lodo y bombearlo de regreso a superficie fuera del tubo ascendente para aliviar la carga, lo cual permite continuar con la perforación sin llegar a fracturar la formación.

En primer lugar un divergente rotativo submarino aísla el fluido que se encuentra en el tubo ascendente con respecto al pozo y desvía el fluido de perforación (de retorno) desde la base del tubo ascendente al segundo componente clave, una bomba de levantamiento de lodo. Esta bomba dirige el lodo de regreso al equipo de perforación por medio de una línea de flujo aislada del tubo ascendente e impide que la presión hidrostática del lodo en la línea de retorno se transmita al hoyo.



Los pozos situados en aguas profundas tienen una importancia clave para el futuro de la industria petrolera. La construcción de pozos en mares cuyas profundidades alcanzan millas o kilómetros presentan nuevos retos que obligan a la industria petrolera a implementar nuevas soluciones y a perfeccionar desempeños.

El uso del método de Doble Gradiente requiere una menor cantidad de sargas de revestimiento y permite un revestidor de completación de mayor diámetro. El menor número de sargas de revestimiento utilizado en la perforación de aguas profundas con Doble Gradiente (derecha del grafico 17) comparado con la perforación convencional (izquierda del grafico 17) permite disminuir costos y posibilita el uso de una tubería de producción de mayor diámetro en el fondo del pozo, con la cual se obtiene mayor productividad.



CAPÍTULO III: RAZONES PARA EL MPD

El MPD es considerado por muchos expertos en la industria de la tecnología a ser el segundo mas influyente, solo superado por la perforación direccional y horizontal.

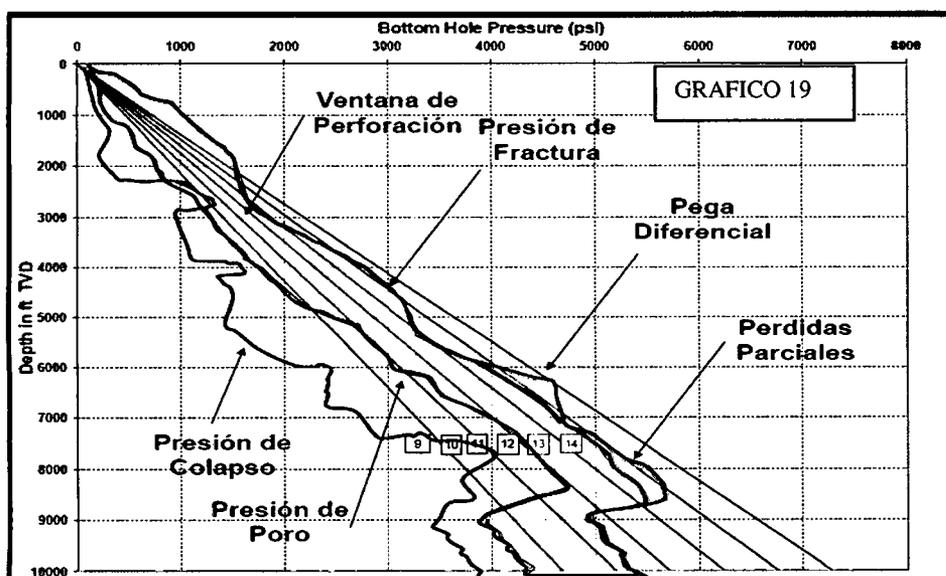
¿Por qué y para que utilizar el MPD?

La industria necesita continuamente:

- Mejorar la seguridad y control del pozo.
- Alcanzar mayor eficiencia de perforación.
- Reducir costos.

3.1 ESTRECHAS VENTANAS DE OPERACIÓN

El entorno en perforación es cada vez más hostil, lo que significa que uno tiene que perforar en diversas condiciones, como aguas profundas, a través de reservorios de altas temperaturas y elevadas presiones. Estos ambientes hostiles hacen a menudo imposible llegar al reservorio con los métodos convencionales de perforación y en donde se tiene que aplicar el MPD con el fin de profundizar la perspectiva.



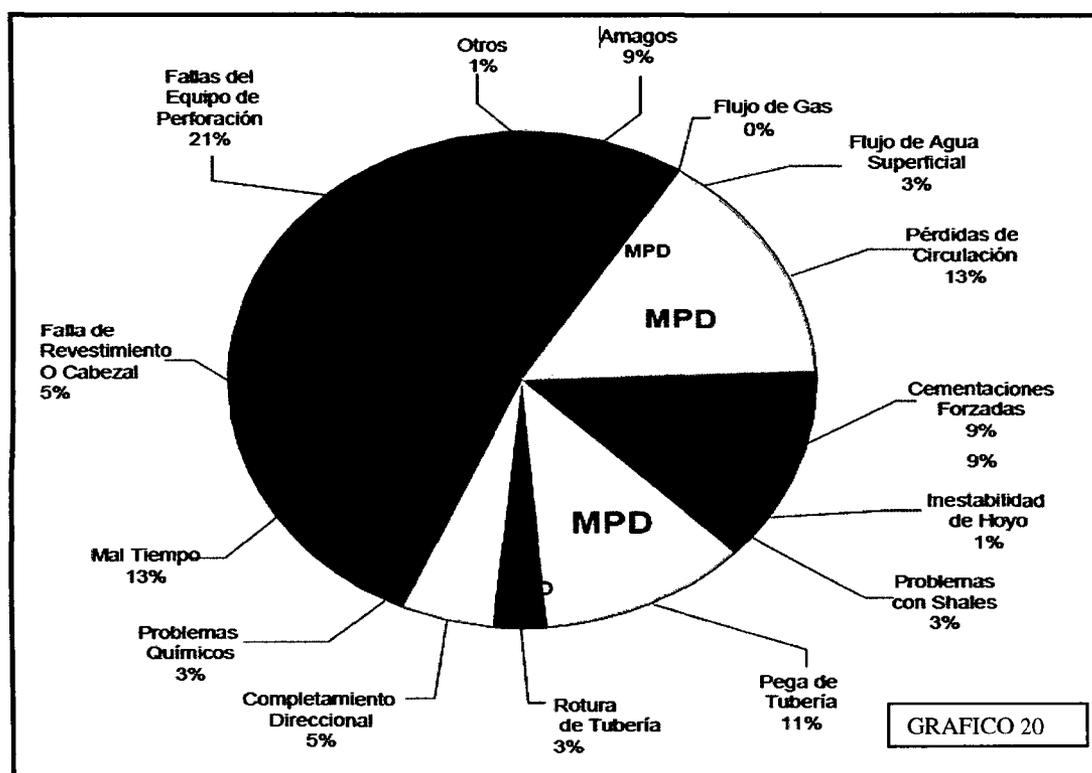
El pozo investigado en esta trabajo, fue porque tiene dos formaciones de lutitas presurizadas, por lo cual no podría ser perforado por métodos convencionales.

El problema de la perforación convencional es perforar a través de ventanas estrechas de presión de poro y presión de fractura, ya que los cambios de presión que se producen cuando se pasa de un estado estático a dinámico o viceversa, pueden conducir a un escenario de pérdidas de circulación o influjos de la formación al pozo,

lo que significa que un arranque de bombas de lodos cause que la presión anular exceda los límites de presión, lo cual provocará, que se experimente pérdidas de fluidos o influjos de la formación al pozo.

3.2. TIEMPOS NO PRODUCTIVOS

El costo de alquiler del equipo de perforación es de lejos el factor más importante cuando se perfora un pozo. Por lo tanto la posibilidad de reducir el Tiempo No Productivo puede ser la diferencia entre el éxito de la operación perfeccionando el desempeño y el llevar consigo pérdidas de dinero no programados. El gráfico 20 muestra un resumen de los factores que contribuyen a los Tiempos No Productivos en el Golfo de México, y los factores que pueden ser reducidos o incluso eliminados por la aplicación del MPD.



3.2.1. PÉRDIDA E INFLUJOS DE CIRCULACIÓN

En el gráfico 20 se puede ver que las entradas de gas y las pérdidas de circulación son responsables del 9 y el 13% del Tiempo No Productivo Total respectivamente. Y esto se debe a menudo por no manejar bien el perfil de presión de fondo, es decir no estar en la ventana de la presión de poro y la presión de fractura. Al tener la capacidad de alterar la presión de fondo con el MPD, estos problemas se reducirán al mínimo, teniendo el potencial de mejorar los TNP en un 22%.

3.2.2. ATASCAMIENTO DE TUBERÍA

Otra área que el MPD puede eliminar, es el problema de atascamiento de tubería. La razón principal de la pegadura de tubería es la alta presión diferencial entre el pozo y la formación. Un elevado sobre balance combinada con una sección de agujero abierto aumenta el potencial de pegadura de tubería, bajo tales circunstancias, trozos de la formación pueden desprenderse y crear situaciones de atascamiento de la tubería. Otro mecanismo que contribuye es la carga cíclica del pozo durante la perforación y conexiones, ya que el proceso de apagar y prender las bombas induce a la fatiga de los esfuerzos in-situ de la formación. Esto es especialmente crítico cuando la sarta de perforación está parada, sin circular o rotar, por ejemplo en las conexiones.

3.2.3. SURGE Y SWAB

Cuando se hace un viaje sacando tubería fuera del pozo demasiado rápido, la presión de fondo se reduce momentáneamente debido a que no ingresa un volumen igual a la tubería que esta saliendo del pozo. A este se le llama el efecto Swab y puede desencadenar influjos de la formación al pozo.

Cuando se hace un viaje introduciendo tubería al pozo demasiado rápido, sucede lo contrario y aumenta la presión de fondo, este puede fracturar la formación en una estrecha ventana operacional este efecto es llamado Surge.

3.2.4. EFECTO GLOBO

Otro efecto de las fluctuaciones de presión en el pozo, es el efecto globo. Cuando en la perforación de formaciones fracturadas en un estado de sobre balance, las fracturas se mantienen abiertas por la presión y el lodo de perforación se puede escapar a las fracturas. Y cuando la circulación se detiene durante las conexiones, la presión de fondo cae lo que hace que en algunos casos la fractura devuelve el lodo al pozo. Este flujo del lodo puede ser mal interpretado como un kick (metida de gas al pozo) y la cura es aumentar el peso del lodo, para recuperar condiciones de equilibrio en el pozo. Como la circulación se reanuda, la Densidad Equivalente de Circulación (ECD) aumenta la presión de fondo que a su vez dará lugar a la re-apertura de las fracturas y la pérdida del lodo. La situación puede deteriorarse hasta que la presión de fondo supere la propagación de la fractura, que puede dar lugar a pérdidas totales. El MPD puede reducir este problema al mantener la presión de fondo relativamente constante durante ambas condiciones estáticas y dinámicas. La herramienta APWD (Anular Pressure While Drilling) ayuda a determinar la presión de fondo y, si el flujo es una Arremetida de gas o solo es un retorno de la formación.

3.2.5. OTRAS MEJORAS

Del grafico 20 también se puede ver que le MPD puede resolver la mitad de los problemas que causa los Tiempos No Productivos, lo cual viene ser una mejora significativa. Entre estas mejoras es el peso del lodo incrementando el ROP. El peso del lodo se reduce al mínimo debido a que el MPD utiliza una contrapresión en superficie y por lo tanto permite alterar el ECD sin circular un nuevo peso de lodo. Esta capacidad de alterar el ECD sin remplazar el lodo es beneficioso durante la perforación, ya que permite secciones más largas a ser perforados y por lo tanto reduce la necesidad de múltiples casing, especialmente en zonas problemáticas.

Al permitir que el ECD esté más cerca a la gradiente de presión de poro, en comparación con la perforación convencional, la presión de fondo se reduce, dando lugar a una reducción de presión diferencial, lo cual tiene un efecto beneficioso en la ruptura y transporte de los recortes, lo que resulta un mayor ROP.

Cuando se experimenta una curva de presión de colapso que es igual o menor a la presión de poro, la formación puede desprenderse y crear situaciones de atascamiento de tubería. Esto se puede apreciar cuando se rompe circulación, por ejemplo cuando se hace una conexión, que conduce a una carga cíclica del pozo. Esta carga se minimiza cuando se utiliza un programa adecuado para la contra-presión en superficie durante los procedimientos de rupturas y puestas en marcha.

CAPÍTULO IV: INFORMACIÓN REQUERIDA PARA ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE MPD

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL YACIMIENTO

- Tipo de Yacimiento
- Profundidad TVD/MD
- Espesor del intervalo a perforar (Ventana de navegación para pozos horizontales)
- Localización de los contactos (g/o, o/w)
- Mecanismo de producción
- Índice de productividad (IPR)
- Estimativo de los influjos esperados de fluidos de formación durante la perforación. (Q_o , Q_g , Q_w) cada intervalo productor de hidrocarburos para diferentes valores de bajo balance.
- Gradiente de presión de poro
- Gradiente de fractura
- Gradiente de Colapso
- Gradiente de temperatura
- Porosidad
- Permeabilidad horizontal y vertical
- Composición de la matriz de la roca
- Anomalías geológicas (variaciones en porosidad y permeabilidad).
- Posibles Zonas de presencia de fracturas
- Presencia de arcillas, tipo de arcillas

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS FLUIDOS DEL YACIMIENTO

- Composición (gas, crudo y agua)
- Gravedades específicas de los fluidos
- Gravedad API del crudo
- Relación gas/aceite
- Hay presencia de H₂S? CO₂?
- Viscosidades
- Contenido de parafinas o asfaltenos
- Cloud point
- Pour point
- Punto de anilina
- Punto de Burbuja
- Punto de Rocío

4.3. HISTORIA DE PERFORACIÓN

- Reporte de pozos perforados en la vecindad de la localización propuesta, problemas encontrados
- Zonas de pérdidas o influjos
- zonas de inestabilidad, empaquetamientos y/o pegas
- Presencia de arcillas hidratables
- Fluidos de perforación utilizados en el área (tipo y densidad)
- Tasas de penetración obtenidas
- Diseño mecánico de los pozos
- Sistema de completamiento utilizado

4.4. INFORMACIÓN ADICIONAL

- Diseño mecánico
- Programa direccional
- Tipo y características del Motor de fondo o de la turbina a utilizar
- BHA a utilizar
- Tipo y características del fluido de perforación a utilizar
- Perfil de viscosidades del fluido de perforación a utilizar (Viscosidad del fluido a diferentes Temperaturas – Mínimo 4 puntos)
- Altura disponible del piso a las vigas de la mesa
- Stack de preventoras a utilizar
- Los equipos serán transportados por tierra ? ó por aire ? ó por agua ?

4.5. PASOS QUE INVOLUCRAN EN LA SELECCIÓN DEL MPD

Los pasos involucrados en la selección del candidato al MPD o a su factibilidad de estudio puede ser dividido en las siguientes categorías:

- Definir, identificar y establecer el objetivo
- Adquirir información
- Realización del análisis hidráulico
- Selección del método
- Determinar la viabilidad del MPD, usando un análisis económico
- Recomendación del equipo
- Estudio de los riesgos y el análisis operativo y la identificación de los riesgos.

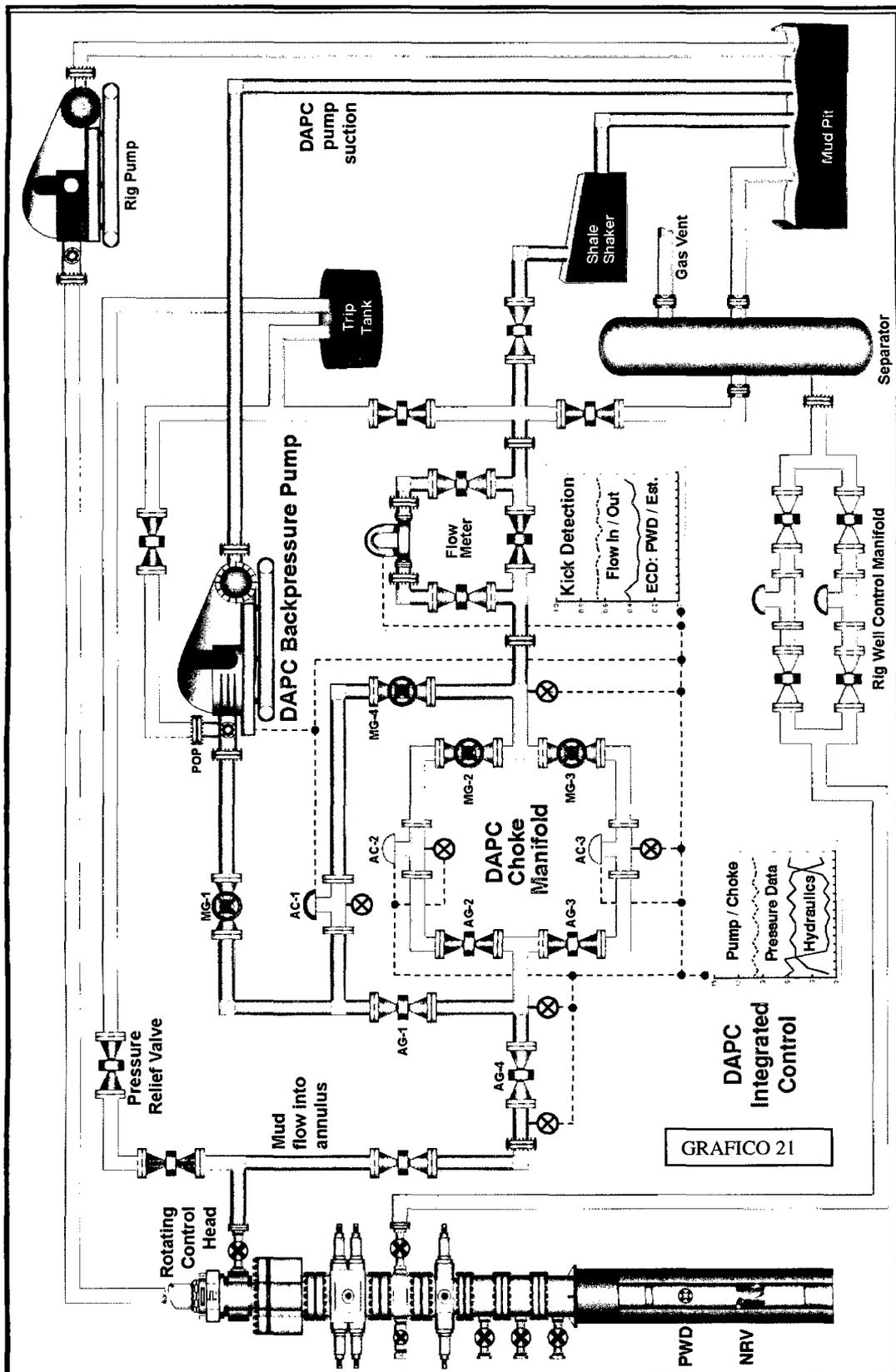
4.6. METODO DE SELECCIÓN

Muchas variantes del MPD están disponibles en la industria del petróleo. Cada variante ajusta a un escenario específico y resuelve los problemas asociados con el escenario, haciendo la selección del mas apropiado variante del MPD. Sin embargo la selección de un método del MPD últimamente depende de:

- Análisis hidráulico.
- Condiciones y limitaciones del mástil, los equipos, operador y agencia reguladora.
- Disponibilidad del personal apropiado.
- Factibilidad de opciones.

CAPÍTULO V: EQUIPOS COMUNES PARA LA OPERACIÓN DEL MPD

El siguiente grafico muestra un típico sistema de circulación cerrada, utilizado para las operaciones del MPD.

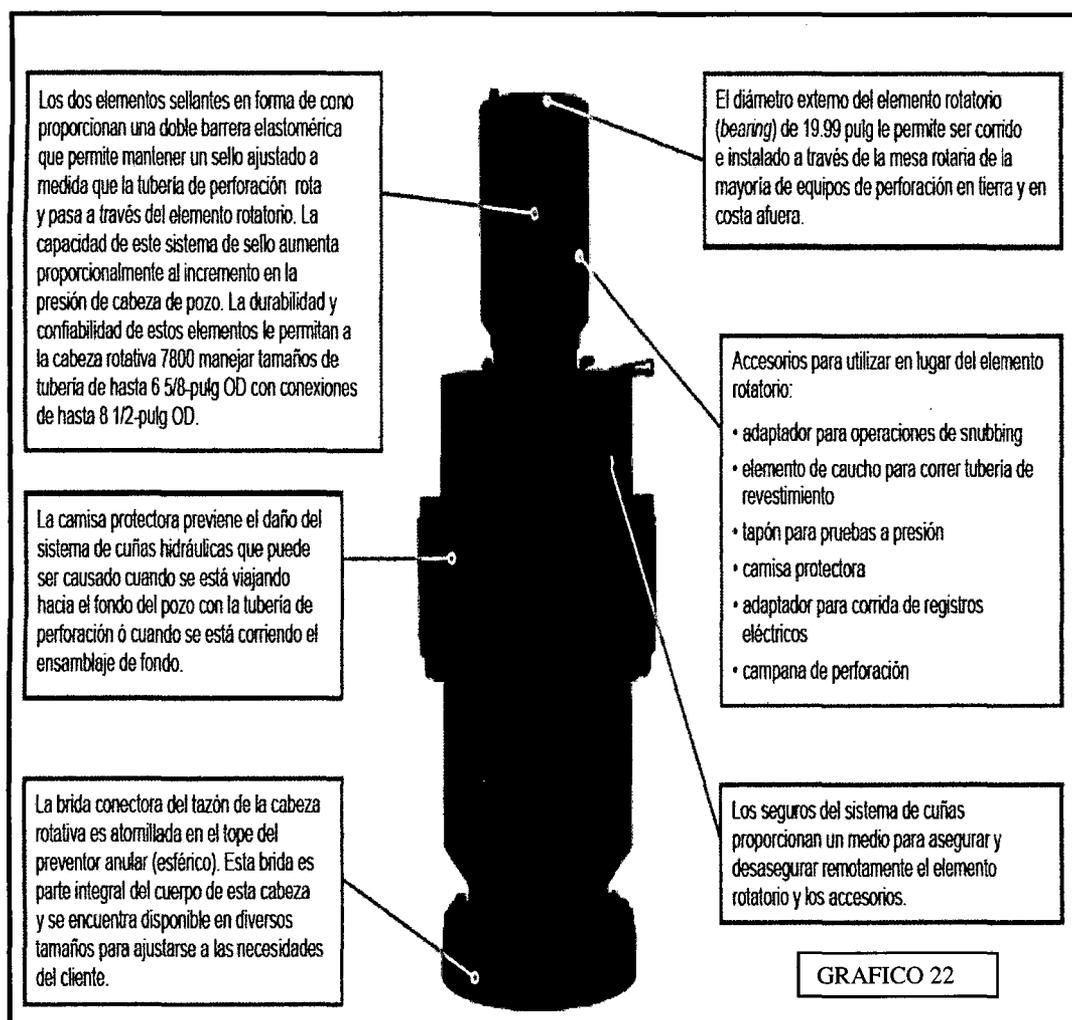


5.1 EQUIPO DE CONTROL ROTATIVO

Todas las operaciones del MPD se basan en un dispositivo de control rotativo, como el sello de presión del circuito primario. Este equipo de control rotativo asegura que el anular este bien empaquetado durante condiciones estáticas y dinámicas como se ha mencionado anteriormente, el equipo de control rotativo no es un nuevo dispositivo que se ha creado junto con la nueva tecnología del MPD. La diferencia se encuentra en su aplicación, donde los viejos Equipos de Control Rotativos solo eran utilizados para desviar el aire y gas durante las perforaciones convencionales.

Los equipos de control rotativos diseñados hoy en día en operaciones de MPD son diseñados para dar una barrera de presión con la capacidad de mantener 5000 psi mientras esta estático y 2500 psi durante la rotación. El equipo de control rotativo de hoy, se presenta en dos variantes: pasivos y activos.

Este equipo de control rotativo se utiliza para desviar el flujo hacia el choke manifold, y sellar el espacio anular. Este proporciona un sistema de circulación cerrado que evita que el gas alcance al piso del equipo de perforación.



5.1.1. EQUIPO DE CONTROL ROTATIVO PASIVO

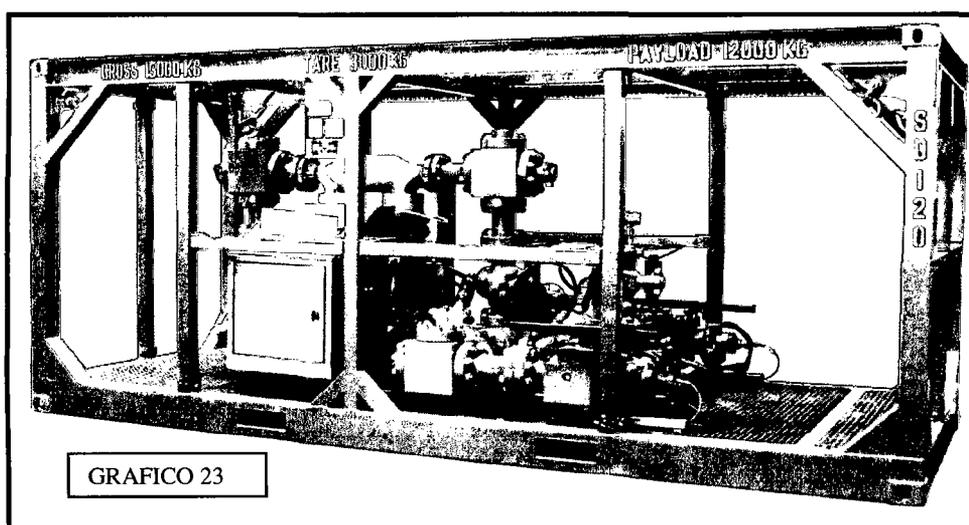
El sistema del Equipo de Control Rotativo es el más común, sella el anular con un elemento de caucho que tiene un diámetro de 1/2- 7/8 pulgada de diámetro, tamaño inferior a la tubería de perforación que proporciona un apretado sello, cuando se expone a condiciones del pozo de presión anular, se endurece más el sello.

5.1.2. EQUIPO DE CONTROL ROTATIVO ACTIVO

El sistema activo utiliza un sistema hidrostático para sellar la goma contra la tubería de perforación. Este sistema es altamente automatizado y ninguna acción además de cerrar y abrir es requerido por el operador

5.2. CHOCKE MANIFOLD / ESTRANGULADOR MULTIPLE

El Chocke Manifold junto al Equipo de Control Rotativo son el principal medio para controlar la presión de fondo. Al cambiar la posición del estrangulador, uno manipula la contra-presión aplicada en superficie, manteniendo la presión de fondo dentro de los límites fijados por el margen de la operación. El gráfico 23 muestra un típico Chocke Manifold de operaciones del MPD.

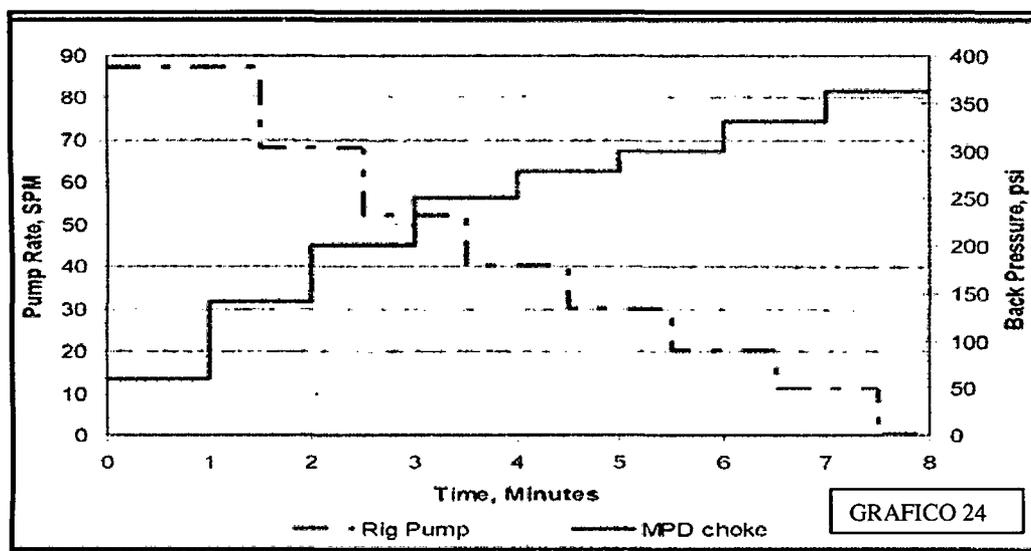


Este Chocke Manifold es utilizado para controlar la contra-presión anular mediante la regulación del chocke o estrangulador. A fin de mantener la contra-presión, un volumen suficiente de lodo debe fluir a través del chocke abierto, si el flujo disminuye la apertura del obturador disminuye para mantener la misma presión. Lo contrario sucede para aumentar el flujo. Si no hay flujo el chocke debe cerrarse rápidamente con el fin de atrapar presión.

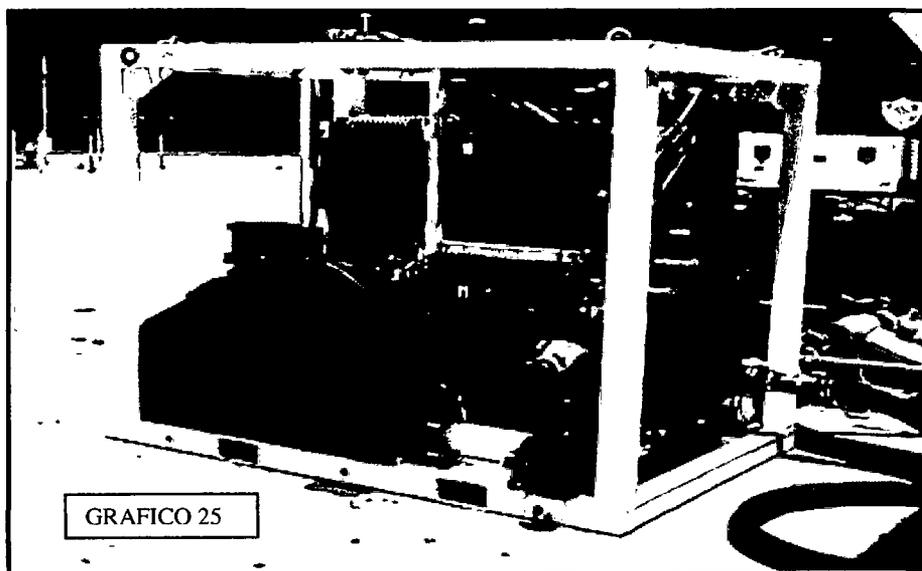
El chocke tiene que ser rápido, preciso y altamente fiable en un tiempo de cierre que no exceda los 30 segundos. Los chocke tiene capacidad de operar de 5 000 a 20 000 psi de presión dependiendo del tipo y de la aplicación.

5.3. BACK PRESSURE PUMP / BOMBAS DE CONTRA-PRESIÓN

Cuando la tasa de flujo baja, la apertura del chocke tiene que reducirse para mantener la presión, como puede verse en el grafico 24, como la velocidad de flujo se reduce, el chocke tiene que cerrarse completamente para atrapar la presión restante. Durante una caída de rate de flujo es posible compensar este flujo, por lo tanto se debe reaccionar con rapidez para atrapar la presión suficiente para mantener el control del pozo, lo que podría causar un problema serio, y en el peor de los casos llevar a la pérdida del pozo. Para resolver este problema el Chocke Manifold ha sido equipado con una bomba de contra-presión que proporciona un flujo extra a través del chocke.



Esta bomba no solo se utiliza en emergencia, pero se ha convertido en una parte principal, automáticamente se entrega un flujo cuando los sensores detectan que el flujo esta alcanzando un nivel umbral.

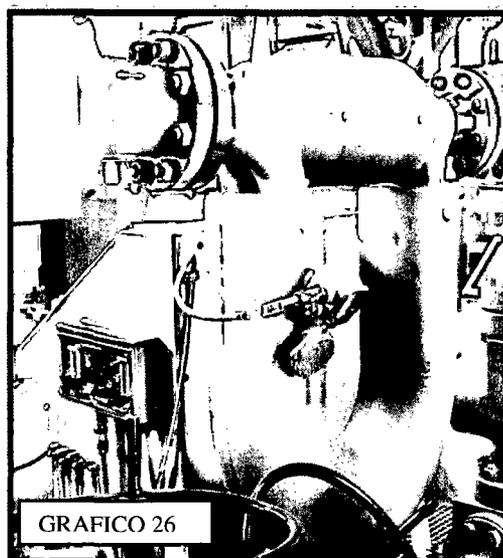


5.4. NON-RETURN VALVES / VALVULAS DE RETENCIÓN

Para evitar el flujo hacia arriba en la sarta de perforación cuando se aplica una contra-presión por el anular (superficie) y mantener una contra-presión positiva durante los viajes, se utilizan las válvulas de retención o flotadores, los cuales están instalados en el ensamble de fondo (BHA) normalmente por encima del MWD (Measure While Drilling). Sin ello la contra-presión aplicada en la superficie podría dar lugar a un retorno del fluido de perforación (fluya hacia arriba dentro de la sarta de perforación), llevando los recortes lo cual podría apagar el MWD. Dos válvulas de retención generalmente se instalan e incluso a veces 3. Si una válvula es necesario sustituir toda la sarta necesita ser sacado. Para evitar eso, se recomiendan válvulas de retención a cable.

5.5. MEDIDOR DE FLUJO CORIOLIS

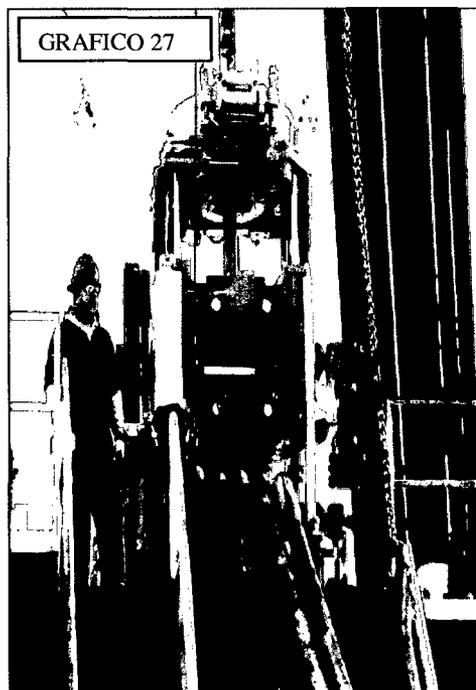
Para obtener un buen control de las condiciones del agujero, el medidor de flujo Coriolis se ha convertido en una parte importante de las operaciones de MPD. El medidor de flujo Coriolis está instalado en el circuito de fluido cerrado, antes de los separadores de lodo y gas, lo que permite tomar la medida directa mientras los recortes y gas aún estén presentes en el lodo. El medidor de flujo proporciona mediciones de flujo másico, caudal volumétrico, densidad del lodo y temperatura. El medidor de flujo utiliza un tubo en U, como se muestra en el gráfico.



5.6. SISTEMA DE CIRCULACIÓN CONTINUO (CCS)

Este sistema hace posible circular mientras se hacen conexiones de las tuberías. Este Sistema de Circulación Continua debe ser calibrado y ajustado a la plataforma una vez instalado. Cuando se trata de pozos de altas presiones, y elevadas temperaturas, los cambios de temperatura pueden ser grandes e impredecibles. El lodo que permanece en el fondo del pozo (estático) puede calentarse por encima de la temperatura que ha sido diseñado. Los cambios de temperatura afectan las propiedades del lodo y se hacen más difícil la interpretación de otros parámetros. Por lo tanto sería más difícil controlar con precisión el choke para compensar las fluctuaciones en el fondo del pozo.

Al mantener la circulación cuando se realizan las conexiones, el fluido no estará afectado por la temperatura, facilitando el control del chocke. Dado que hay circulación continua, el ECD estará siempre presente minimizando las fluctuaciones de presión en las conexiones. La circulación también mejorara la limpieza del pozo y minimizara los riesgos por gas. Esto podría conducir a una ventana de perforación mas amplia, bajando el peso del lodo a la presión de poro. Aunque el Sistema de Circulación Continua es muy ventajoso cuando se perforen pozos con estrechos márgenes de presión. Los costos asociados a la instalación impiden su uso.



CAPÍTULO VI: PRESIÓN DE FONDO

Durante las operaciones de perforación hay varios parámetros que influyen en la presión de fondo. Estos parámetros incluyen propiedades de los fluidos, tales como la reología, la densidad, compresibilidad, rate de flujo, rate de penetración, las revoluciones por minuto, la contra-presión en superficie, la configuración de la sarta, la geometría del agujero. El desafío de mantener la contra-presión durante las operaciones del MPD radica en aprender como los diferentes parámetros influyen en la presión de fondo, y de que manera los parámetros interactúan unos en otros.

6.1. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Los pozos perforados de hoy son cada vez mas extremos, y las condiciones en el fondo siguen el mismo patrón, resultando elevadas temperatura y presiones, lo cual los fluidos de perforación tiene que soportar. Estas diferencias de condiciones desde la superficie hasta el reservorio puede dar lugar a cambios en las propiedades de los fluidos de perforación, que si no se contabilizan pueden conducir a problemas tales como el riesgo de la perforación, como influjo de la formación sobre todo en ventanas estrechas.

Las propiedades de los fluidos de perforación son probablemente el parámetro mas importante para manejar la presión de fondo, al manipular las propiedades del fluido, se puede manipular la perdida por fricción, alterar la presión hidrostática, mejorar el transporte de los recortes. Los fluidos de perforación utilizados para operaciones de MPD se pueden dividir en 3 categorías principales, lodo base agua, lodo base aceite y base sintética según su composición.

6.1.1. REOLOGÍA

La reología es el estudio de la deformación y flujo de la materia, y proporciona una descripción de la relación entre el esfuerzo de corte, experimentado por el fluido y el share rate del fluido.

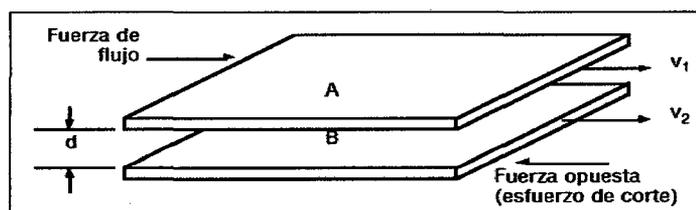


GRAFICO 28

El fluido es dividido en capa como se muestra en el grafico anterior y el esfuerzo de corte puede ser definida como la fuerza por unidad de área entre las dos capas que se deslizan, es expresado como:

$$\tau = F/A$$

Donde “ τ ” es el esfuerzo, y “A” es el área en contacto con el fluido sometido a la fuerza “F” cuando 2 capas pasan entre sí, son sometidos a diferentes velocidades, y el cambio de velocidad en la capa adyacente se conoce como la velocidad de cizalladura, que se define por:

La fórmula para la velocidad de corte “ γ ” es :

$$\gamma = \frac{V2 - V1}{d}$$

Donde:

γ : Velocidad de corte en segundos recíprocos

V2: Velocidad en la capa B (pies/seg)

V1: Velocidad en la capa A (pies/seg)

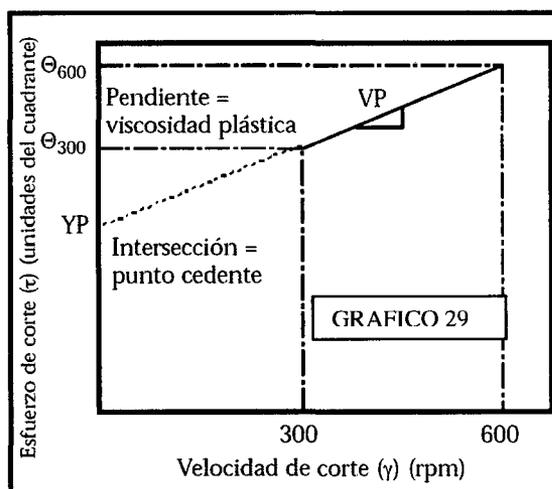
d: Distancia entre A y B (pies)

Las propiedades mas importantes de la reología son: la viscosidad plastica, Yield Point, y el Gel Strength

6.1.1.1. VISCOSIDAD PLÁSTICA

A medida que las capas se deslizan unas sobre otras, se ejercen fricción entre ellos. La viscosidad es una medida de fricción y expresa la cantidad de esfuerzo cortante que desarrolla una capa cuando se desliza sobre otra. La viscosidad depende de la temperatura y la velocidad del fluido por lo tanto es difícil proporcionar un valor absoluto o efectivo de la viscosidad de un fluido.

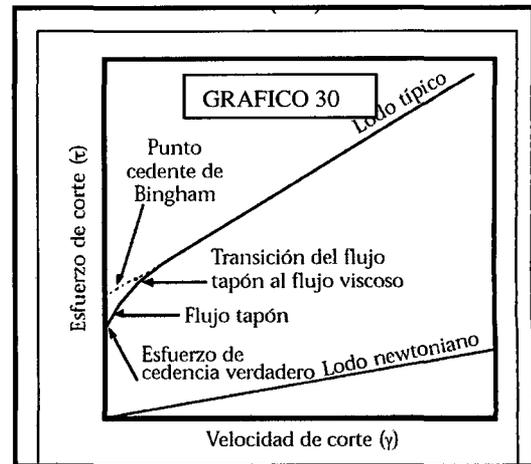
La viscosidad plástica es sin embargo un indicador de la viscosidad de un fluido y se mide en el viscosímetro FAN. Se define como el valor obtenido mediante la búsqueda de la pendiente de la curva de los 300 RPM a 600 RPM, como se muestra en el grafico 29.



6.1.1.2. YIELD POINT

El Yield Point es la mínima cantidad de esfuerzo de corte que se ejerce a un líquido para obtener una velocidad de cizallamiento. Esto implica mientras que el esfuerzo de corte es inferior a este valor crítico, el fluido se comportara como un sólido. Algunos de los fluidos tales como los newtonianos intersecan en el origen de los ejes, es decir el Yield Point igual a cero. Sin embargo la mayoría de los fluidos

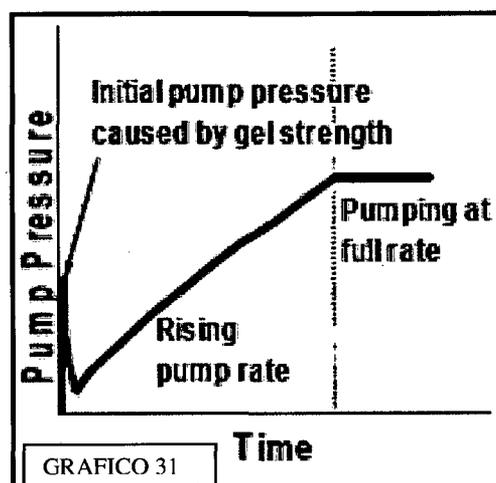
de perforación son no newtonianos, por lo tanto su Yield Point, es diferente de cero. El Yield point, es una medida de las fuerzas electroquímicas de atracción de un fluido, el cual se ejercer una cierta presión al fluido para que pueda fluir, resultando un salto de presión repentina. Este efecto se muestra en el grafico 30



Históricamente el Yield Point ha sido estimado por el uso del viscosímetro de FAN como la viscosidad plástica. Donde el Yield Point se halla restando la viscosidad plástica y la lectura del viscosímetro a 300 RPM, que puede verse en la figura 29.

6.1.1.3. RESISTENCIA DE GEL

Los fluidos de perforación tienen una propiedad similar llamada Resistencia de Gel, es una medida del esfuerzo mínimo necesario para producir un deslizamiento. La principal diferencia entre el Yield Point y el Esfuerzo de Gel en términos de hidráulica puede verse en grafico 31. Donde el Esfuerzo de Gel desaparece cuando el Gel se rompe.



6.1.1.4. MODELOS REOLOGICOS

Durante los últimos años, se ha aceptado que HERCHEL-BULKLEY como el mejor modelo reológico que representa a los fluidos de perforación, y esto fue recomendado en el API 13D.

$$\tau = \tau_0 + K \gamma^n$$

Donde:

τ : *Esfuerzo de corte*

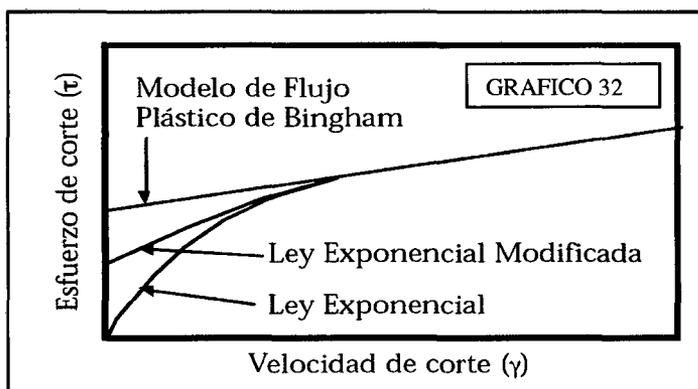
τ_0 : *esfuerzo de cedencia o para iniciar el flujo*

K : *índice de consistencia*

γ : *velocidad de corte*

n : *índice del comportamiento de flujo*

El grafico 32 muestra una representación del modelo de HERSCHEL-BULKLEY para un típico fluido de perforación. Como podemos ver esto no tiene una consistencia lineal, pero esta curva representa el mejor comportamiento del fluido de perforación.



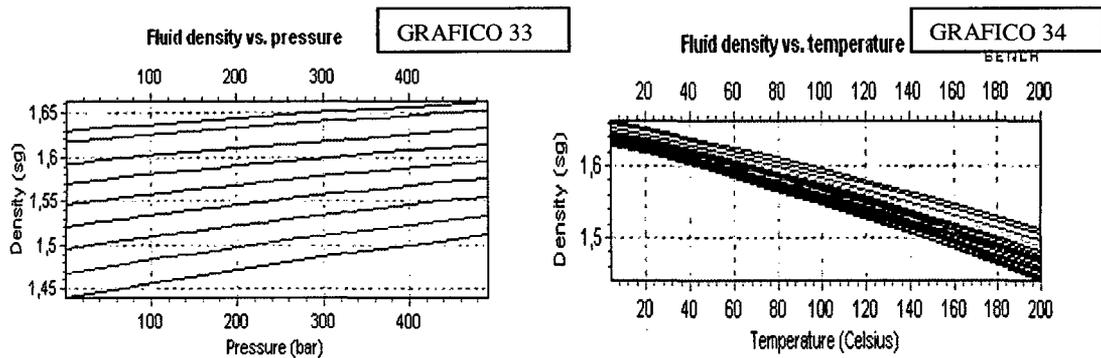
6.1.1. COMPRESIBILIDAD

La dimensión de la compresibilidad ofrece un parámetro que ha de tener en cuenta cuando se trata de manejar la presión de fondo. Todos los fluidos son sometidos a la compresibilidad debido a la presión y los cambios de temperatura. Sin embargo para algunos fluidos líquidos puros, la compresibilidad se considera insignificante como el cambio de la densidad con la presión es pequeña cuando se mantiene entre los rangos de temperatura.

Como se menciona la densidad del fluido depende de la presión y la temperatura, y la relación entre las variables de estado que puede ser expresada por la ecuación:

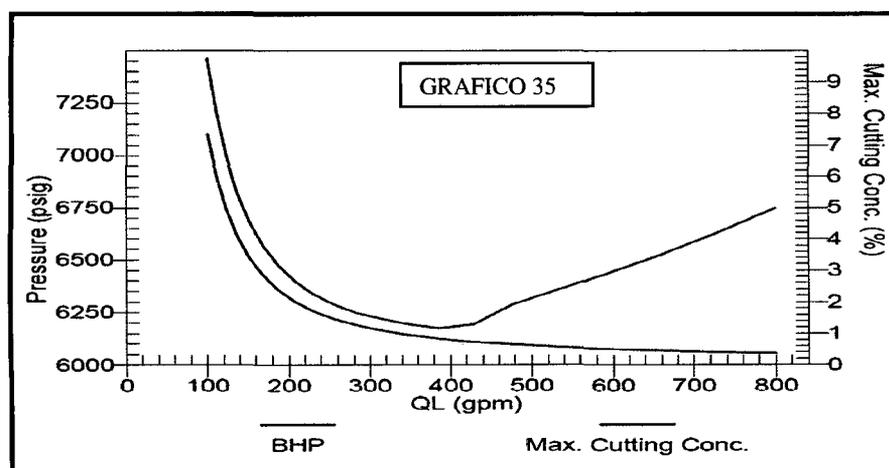
$$p = p(\rho, T)$$

Para analizar la compresibilidad de los fluidos, nos interesa la densidad del fluido vs presión, y la densidad vs temperatura, como se muestra en el grafico 33 y 34.



6.2. RATE DE FLUJO

El grafico 35 muestra el efecto que tiene la velocidad de flujo con la presión de fondo y la limpieza del pozo. Donde la línea verde muestra la presión de fondo en función del caudal (rate flow), y la línea azul muestra la concentración de recortes en función del caudal. Del grafico podemos ver que el factor dominante para la presión de fondo es abajo caudal, donde muestra un gran porcentaje de recortes. A medida que aumenta el rate de flujo, las capacidades de limpieza mejoran, por lo tanto la concentración de recortes disminuirá. A 400 GPM la concentración de recortes no es afectado por la presión de fondo y la pérdida por fricción anular asume el control como factor dominante.



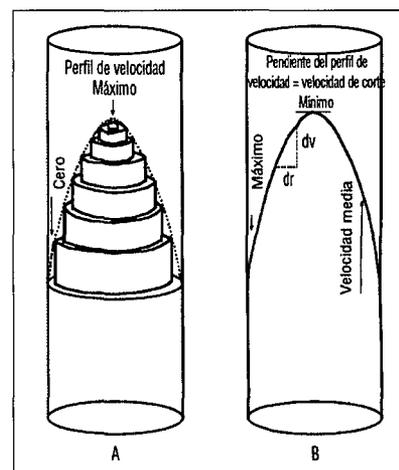
Una de las razones principales para las operaciones MPD, son para ventanas estrechas de presión de poro y fractura. En la perforación convencional el método mas eficaz para reducir el ECD durante la perforación es disminuir el rate de flujo. Esta solución podría causar un problema cuando se opera en el modo MPD, como se suele operar cerca de la presión de poro, para mantener una mayor ROP, pero con una rate de flujo bajo puede dar lugar a acumulación de recortes en el pozo, lo que aumenta la posibilidad de atascamiento. La velocidad de circulación debe ser lo suficientemente alta para asegurar la limpieza apropiada del agujero del pozo.

6.2.1. REGIMEN DE FLUJO

El comportamiento de la pérdida de presión por fricción es altamente dependiente del régimen de flujo que gobierna el fluido a través del pozo. El flujo anular es comúnmente clasificado como uno de los 2 regímenes laminar o turbulento, o en una fase de transición entre los dos. En el grafico 35 la fase de transición puede verse que el salto de presión se produce de 420 a 480 GPM. Sin embargo el flujo que domina en el anillo es bastante difícil de estimar, ya que depende de varios parámetros que están sujetas a

incertidumbre como por ejemplo la rugosidad de la formación, la excentricidad de la sarta de perforación, el diámetro verdadero del pozo, etc.

GRAFICO 36



6.2.2. NÚMERO DE REYNOLD

El número de Reynolds indica cual es el régimen de flujo laminar o turbulento, que flujo en el anillo se llevará a cabo. Está representado por la siguiente ecuación:

$$N_{Re} = \frac{V D \rho}{\mu}$$

Donde:

V = Velocidad
D = Diámetro
 ρ = Densidad
 μ = Viscosidad

El número de Reynolds para dentro de la tubería es:

$$N_{Rep} = \frac{15,467 \times V_p D \rho}{\mu_{ep}}$$

El número de Reynolds para el espacio anular es:

$$N_{Rea} = \frac{15,467 V_a (D_2 - D_1) \rho}{\mu_{ea}}$$

Donde:

D = Diámetro interior de la tubería de perforación o los portamechas
D₂ = Diámetro interior del pozo o de la tubería de revestimiento
D₁ = Diámetro exterior de la tubería de perforación o los portamechas
 μ_{ep} = Viscosidad efectiva (cP) de la tubería
 μ_{ea} = Viscosidad efectiva (cP) del espacio anular

El flujo laminar ocurre a bajo número de Reynolds, y alto número de Reynolds para el flujo turbulento

6.3. REVOLUCIONES POR MINUTO Y EXCENTRICIDAD.

El efecto de la sarta de perforación que tiene en la presión de fondo no siempre es sencillo. La rotación por lo general tiene 2 efectos opuestos, uno de ellos que la rotación aumenta la velocidad del lodo circulante, lo que resulta una pérdida por fricción creciente, y una presión de fondo superior. El otro es que el incremento de velocidad mejora el transporte de los recortes lo que conduce a mejorar la limpieza del pozo, lo que resulta una presión de fondo inferior. Uno de estos efectos opuestos es el que domina y depende del RPM y el ROP, el tamaño de los recortes. La rotación de la sarta de perforación también tiene otros efectos beneficiosos como la reducción de la torsión y arrastre.

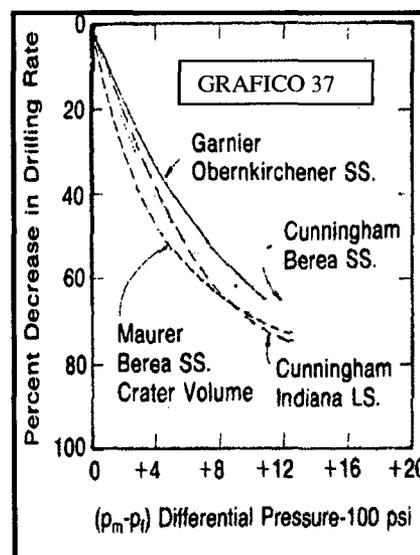
La excentricidad de la sarta de perforación, es decir la forma centrada de la sarta de perforación que se encuentra en el agujero también tendrá un efecto en la presión de fondo. Si la sarta de perforación no está centrado, es probable que haya una diferencia en la limpieza entre el lado ancho y reducido, lo que podría dar lugar a pérdidas por fricción diferentes en las dos partes, lo cual puede dar origen al atascamiento diferencial.

6.4. RATE DE PENETRACIÓN

La perforación de pozos con un alto ROP puede dar un alto volumen de recortes, y estos recortes no pueden ser removidos en una circulación. En este caso podría conducir a una concentración de los recortes. En consecuencia la acumulación de sólidos no deseables en el fluido podría alterar las propiedades de los fluidos, dependiendo del tamaño de las partículas

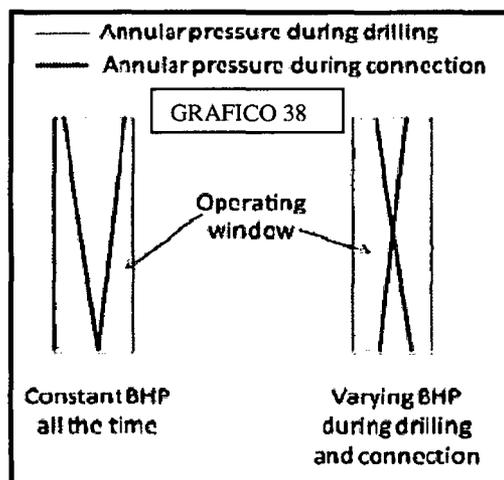
A medida que aumenta la profundidad vertical, hay un aumento de temperatura en el fondo, que depende de la gradiente geotérmica, a su vez un aumento de presión hidrostática por la columna del fluido de perforación. Estos dos factores tendrán un efecto opuestos en el ECD, donde el aumento de temperatura dará lugar a una expansión del fluido de perforación, lo que resulta una disminución del ECD, mientras que el aumento de presión comprime el fluido de perforación, que conduce a un aumento del ECD. Estos 2 efectos opuestos a menudo se anulan entre sí como se hace mención en el paper de

O.O. Harris, S. O. Osisanya, SPE of Oklahoma (SPE 97018) "Evaluación de la Densidad de Circulación Equivalente de los fluidos de perforación bajo condiciones de Alta temperatura y Altas presiones", concluyendo que la presión y temperatura afectan el comportamiento reológico del fluido de perforación, jugando un papel importante en la presión de fondo, que ocurren en los pozos profundos



6.5. CONTRA-PRESIÓN EN SUPERFICIE

La forma más rápida de modificar la presión de fondo durante la perforación con la técnica del MPD es aplicando contra-presión en superficie, lo que tendrá un efecto inmediato. Aunque este método permite un mejor control de presión del pozo, es importante ser consciente en su limitación. Se usa una contra-presión en superficie para mantener la presión en el fondo constante, la presión es solo constante en un punto específico del pozo, normalmente este punto es la parte inferior de la sección perforada, como muestra el gráfico 38 (izquierda), la intersección de la línea recta azul y rojo.



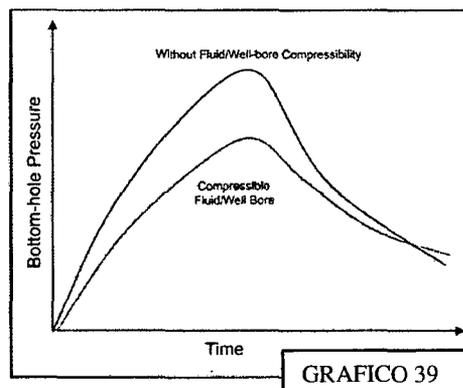
Existen casos donde ya no es posible perforar más profundo, porque se corre el riesgo que la presión anular durante las conexiones (curva azul) exceda el límite de la presión de fractura de la ventana de operación. Si el punto de presión constante se traslada desde la parte inferior a un punto más alto de la sección perforada, se podría perforar una sección más larga. Un efecto secundario cuando se usa contra-presión en superficie es que se origina una carga adicional, esta carga puede debilitar la formación y dar lugar a problemas de estabilidad.

6.6. MOVIMIENTOS DE TUBERÍAS

Siempre que la tubería de perforación se mueva hacia arriba o hacia abajo, se induce un cambio en la velocidad del lodo de perforación en el espacio anular, lo que conduce a cambios en la pérdida de fricción anular, referidos como aumentos en la presión cuando meten tubería, y cuando saquen tubería (swab), se reduce la caída (surge) presión por fricción. Cuando se saca el tubo fuera del agujero crea un vacío por debajo de la broca que tiene que ser llenado por el lodo de perforación, induciendo con ello un flujo descendente, disminuyendo la presión de fondo.

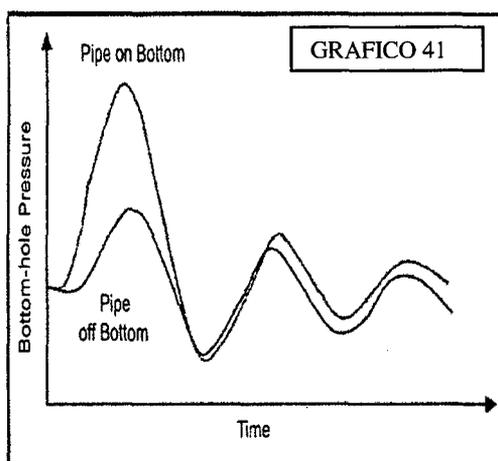
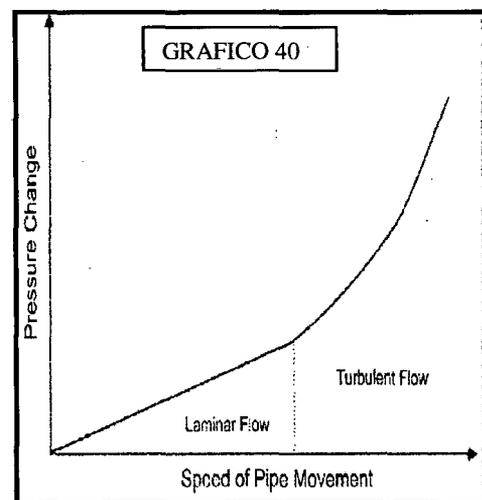
6.6.1. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Las fluctuaciones de presión son altamente dependientes del comportamiento de los fluidos. El alto esfuerzo de gel y la viscosidad causaran altas fluctuaciones, ya que el fluido necesitara presiones mas altas para mantenerla en movimiento, en comparación de lo que seria para un fluido de esfuerzo de gel y viscosidad inferior. La compresibilidad de un fluido amortigua las fluctuaciones de presión, como el volumen del liquido cambia con la presión, conduciendo a una velocidad inferior del fluido, como se ilustra en el grafico 39, que muestra el cambio de presión de fondo en el tiempo para una compresibilidad y un fluido incompresibilidad causado por el movimiento de tubería.



6.6.2. VELOCIDAD Y POSICIÓN DE LA TUBERÍA

La velocidad en que se mueva la sarta de perforación determina el régimen de flujo del fluido de perforación que es desplazado. Durante el flujo laminar, la relación entre el movimiento de la tubería y el cambio de presión es lineal. Sin embargo cuando el flujo se vuelve turbulento, los cambios de presión aumentan rápidamente con la velocidad de movimiento de la tubería, como se ilustra en el grafico 41



Si la tubería esta en el fondo del pozo, se induce una mayor presión de fluctuación en comparación si la tubería esta localizada mas arriba del pozo. Esto es porque cuando esta situado mas abajo del agujero del pozo, hay mas fluido de perforación que tiene que ser desplazado, en comparación cuando la tubería esta mas arriba.

6.6.3.GEOMETRÍA DEL POZO

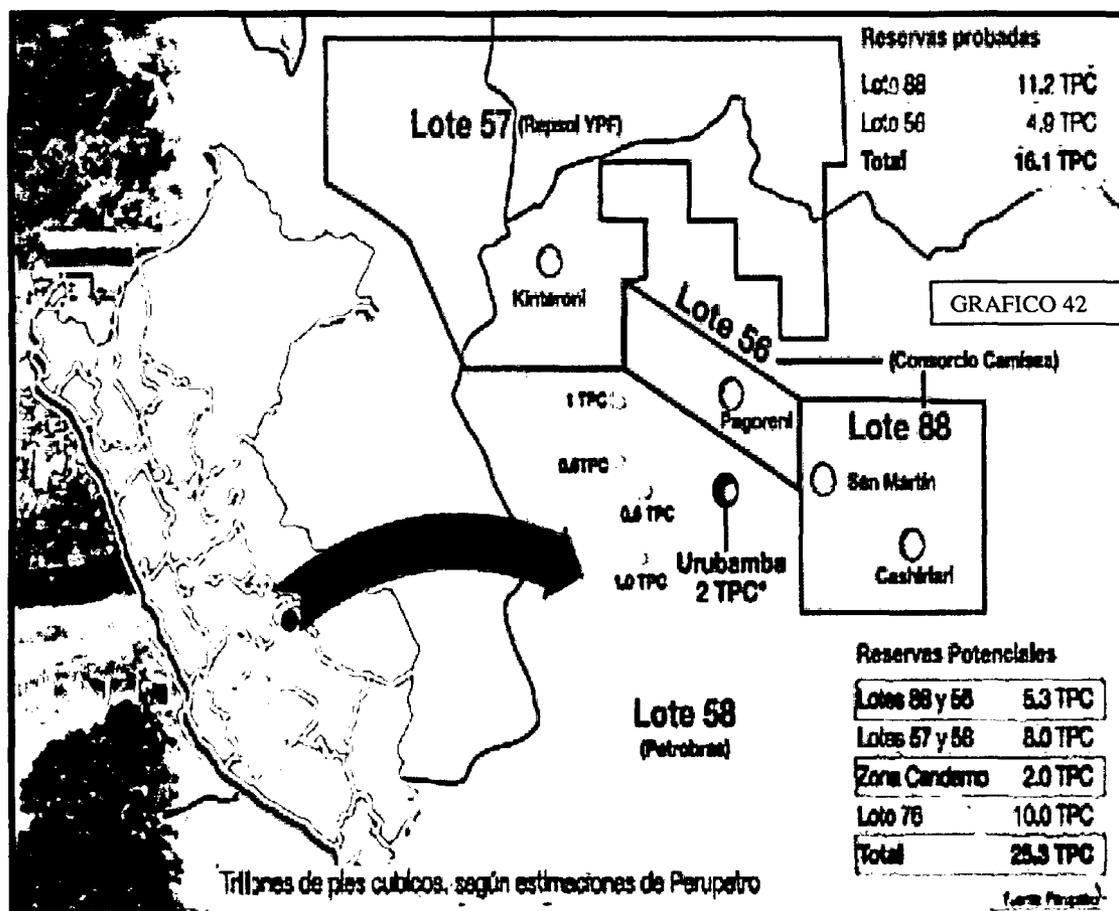
La geometría del pozo y la forma como esta posicionada la sarta de perforación en el pozo, determina el pasaje del fluido donde el lodo va a viajar. Si hay un paso de flujo estrecho, el lodo se expone a una velocidad mas alta, que si el paso de flujo es ancho. Esto afectara el régimen de flujo si es laminar o turbulento, y por lo tanto la magnitud de las fluctuaciones de presión.

CAPÍTULO VII: CASO DE ESTUDIO POZO “SAYRI 4A”

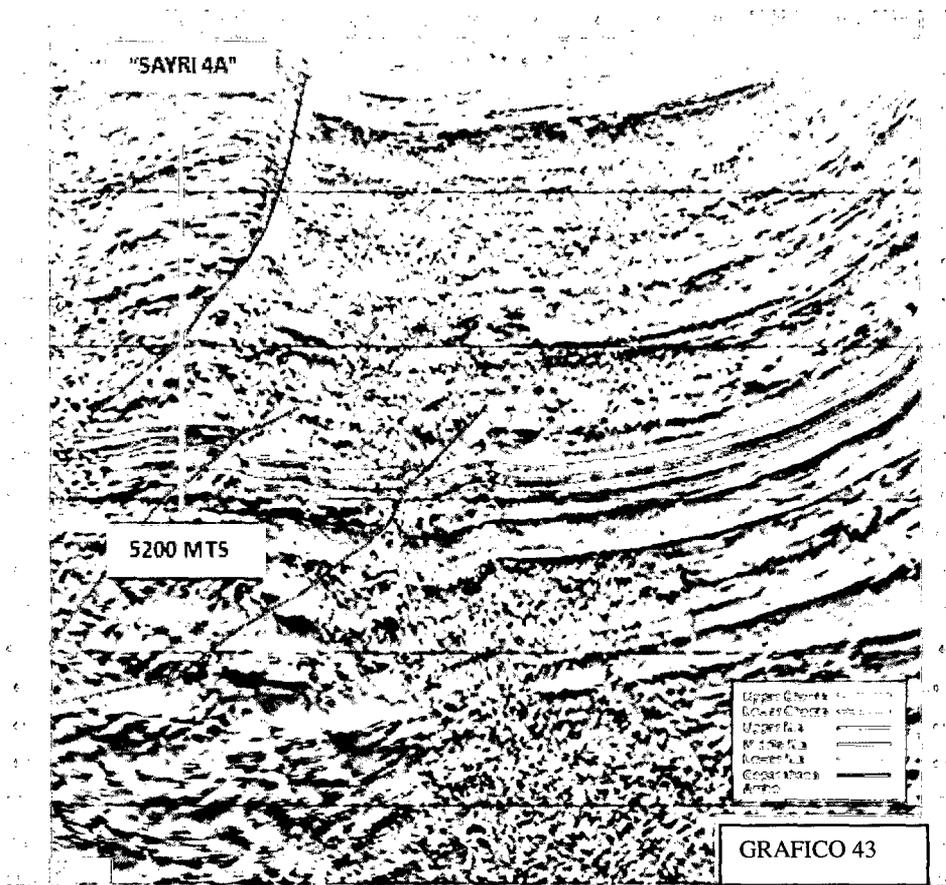
7.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La Locación “SAYRI 4A”, ubicada en la Selva Sur, departamento de Cusco. El hallazgo se registró a unos 5000 metros de profundidad en el primer pozo del “Bloque A”, en la estructura “PUSHAQ 1A”, segundo pozo exploratorio “ASIRI 2A”, y el tercero “NINA 3A”, y ahora perforando nuestro cuarto pozo “SAYRI 4A”, esto confirma que existe un nivel de éxito de hallazgo de gas natural de 75% en las zonas aledañas a Camisea, denominado Sub-andino Sur.

“SAYRI 4A”, es el primer pozo exploratorio que va a ser perforado en la estructura “SAYRI” del “Lote A”. El pozo está ubicado 5 Km al Sur Este del Pozo descubridor “NINA 3A”, a 8 Km al Oeste del Pozo descubridor “ASIRI 2A” y a 7 Km al Norte del pozo “PUSHAQ 1A”. El pozo será perforado direccionalmente con diseño Tipo “S”, con KOP en 1500 m, a partir del cual se empieza a construir ángulo a razón de 0.75 deg/40m hasta 2000m y luego 1 deg/30m hasta alcanzar el ángulo máximo de 19.4° en 2300m. Se continuará perforando tangente hasta 2600m donde se iniciará la construcción de caída de la inclinación a razón de 1.4 deg/30m hasta 3000m con inclinación 0°. Finalmente se continuará perforando verticalmente hasta la profundidad final del pozo de 5200 m MD.



7.2. INFORMACIÓN GEOLÓGICA



Sección sísmica estructural - Línea Sísmica N-S

7.3. POZOS DE CORRELACIÓN

De acuerdo al gráfico de Ubicación abajo mostrado, se ha seleccionado como mejores pozos de referencia para el estudio de geo mecánica aquellos ubicados en la estructura del "bloque A".

BLOQUE	POZOS
A	PUSHAQ 1A
A	ASIRI 2A
A	NINA 3A

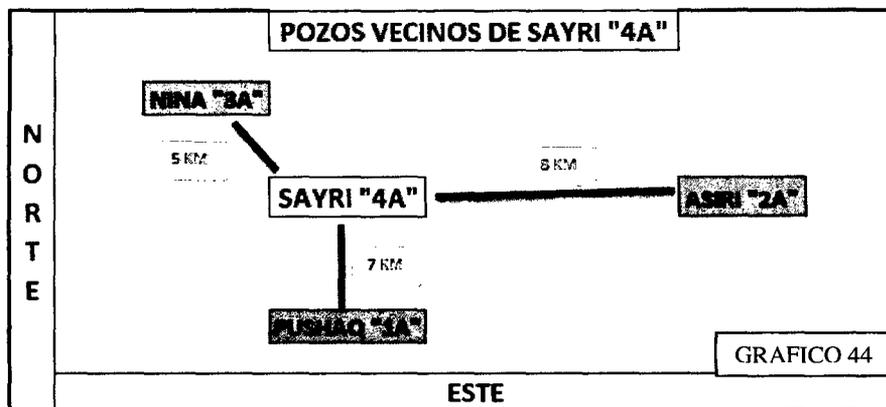


GRAFICO 44

**7.4. ESTIMADO DE PRESIONES DEL POZO "SAYRI 4A"
(SECCION 12 1/4" x 14 3/4")**

formaciones	metros TVD	presión poral (ppg)	presión poral (PSI)	presión de fractura (ppg)	presión de fractura (PSI)	PÉRDIDA POR FRICCIÓN (PSI)	DISEÑO DE LODO CONVENCIONAL (PPG)	ECD (PSI)
IPURURO	3060					175	15	8004
	3070					175	15	8029
	3080					175	15	8055
	3090					175	15	8080
	3100					180	15	8111
Yahuarango	3140					187	15	8297
	3180					187	15	8323
	3190					187	15	8348
	3200					187	15	8374
	3210					187	15	8399
	3220					187	15	8425
	3230					187	15	8451
	3240					195	15	8484
	3250					195	15	8510
	3260					195	15	8535
	3270					195	15	8561
	3280					195	15	8587
	3290					195	15	8612
	3300					195	15	8638
	3310					202	15	8670
	3320					202	15	8696
	3330					202	15	8721
	3340					202	15	8747
	3350					202	15	8773
	3360					202	15	8798
	3370					202	15	8824
	3380					206	15	8853
	3390					206	15	8879
	3400					206	15	8905
	3410					206	15	8930
	3420					206	15	8956
	3430					206	15	8981
	3440					206	15	9007
	3450					215	15	9041
	3460					215	15	9067
	3470					215	15	9093
	3480					215	15	9118
	3490					215	15	9144
	3500					215	15	9169
	3510					215	15	9195
3520					223	15	9229	
3530					223	15	9254	
3540					223	15	9280	
3550					223	15	9305	
3560					223	15	9331	
3570					223	15	9356	
3580								9382
3590								9415
3600					230	15		9440
3610					230	15		9466
3620					230	15		9491
3630					230	15		9517
3640					230	15		9543
3650					230	15		9568

PP=0.052 * 3.28 * TVD * (PPG)

PP=0.052 * 3.28 * TVD * (PPG)

ECD=PP + Pérdida por Fricción

**La densidad de lodo fue calculada como:
MW= MAX (PP) + 0.5**

MÁXIMA PRESIÓN DE PORO

	3660	14.5	9052	19.5	12173	238	15	9602
	3670	14.4	9052	19.9	12457	238	15	9627
	3680	14.2	8913	19.9	13181	238	15	9653
	3690	14	8811	21.5	13181	238	15	9678
	3700	13.8	8709	18.7				9704
	3710	13.6	8606	18.6				9730
	3720	13.1	8312	21.5				9755
	3730	13.4	8525	18.7				9790
	3740	13.8	8803	18.6	11865	247	15	9815
	3750	13.9	8890	19.0	12152	247	15	9841
	3760	14.3	9171	19.6	12570	247	15	9867
	3770	14.4	9259	20.5	13182	247	15	9892
	3780	14.2	9155	21.0	13539	247	15	9918
	3790	14	9050	21.4	13833	247	15	9943
	3800	13.8	8944	21.5	13935	255	15	9977
	3810	13.6	8838	21.0	13647	255	15	10003
	3820	13.1	8535	21.0	13682	255	15	10028
	3830	13	8492	20.0	13065	255	15	10054
	3840	13.8	9038	20.5	13426	255	15	10079
	3850	13.9	9128	20.4	13396	255	15	10105
	3860	14.2	9349	20.6	13562	255	15	10130
	3870	13.8	9109	20.0	13201	263	15	10164
	3880	13.3	8802	21.0	13897	263	15	10190
	3890	13	8625	21.0	13933	263	15	10215
	3900	14.2	9446	19.5	12971	263	15	10241
	3910	14.1	9403	19.4	12938	263	15	10266
	3920	14	9360	18.4	12302	263	15	10292
	3930	13.8	9250	18.9	12669	263	15	10318
	3940	14.2	9542	18.5	12432	275	15	10355
	3950	13.8	9297	18.3	12329	275	15	10381
	3960	13.6	9186	18.7	12630	275	15	10406
	3970	14	9480	19.4	13136	275	15	10432
	3980	13	8825	21.0	14255	275	15	10457
	3990	14.1	9596	19.0	12930	275	15	10483
	4000	14	9551	18.5	12621	275	15	10509
	4010	14.3	9780	18.7	12790	280	15	10539
	4020	13.8	9462	19.0	13027	280	15	10565
	4030	13.4	9211	19.6	13472	280	15	10590
	4040	14	9647	19.5	13437	280	15	10616
	4050	13.8	9533	19.9	13746	280	15	10642
	4060	13.2	9141	21.0	14542	280	15	10667
	4070	13.8	9580	21.5	14925	285	15	10698
	4080	12.4	8629	18.7	13013	285	15	10723
	4090	12.8	8929	18.6	12975	285	15	10749
	4100	13.4	9371	21.5	15035	285	15	10774
	4110	13.8	9674	18.7	13109	285	15	10800
	4120	14	9838	18.6	13070	285	15	10826
	4130	11.4	8030	19.0	13384	293	15	10859
	4140	11.5	8120	19.6	13840	293	15	10885
	4150	11.7	8282				15	10910
	4160	11.2	7947				15	10936
	4170	10.8	7681				15	10962
	4180	10.5	7486		13546	293	15	10987
	4190	10.1	7218	19.0	13578	293	15	11013
	4200	9.5	6800	19.6	14040	300	15	11045
	4210	9	6700	19.5	14002	300	15	11071
	4220	9	6478	19.9	14323	300	15	11096
	4230	8.3	5988	21.0	15151	300	15	11122
	4240	8.3	6002	21.5	15548	300	15	11148
	4250	8.4	6089	18.3	13265	300	15	11173
	4260	8.3	6031	18.7	13587	307	15	11206
UPPER VIVIAN	4270	8.2	5972	19.4	14129	307	15	11231
	4280	8.3	6059	21.0	15330	307	15	11257
	4290	8.3	6073	18.7	13683	307	15	11283
LOWER VIVIAN	4300	8.4	6161	18.6	13641	307	15	11308
	4310	8.3	6101	19.0	13967	307	15	11334
	4320	8.3	6116	19.6	14442	307	15	11359
UPPER CHONTA	4330	8.3	6130	20.5	15140	307	15	11385

MÁXIMA PRESIÓN DE
PORO

MÍNIMA PRESIÓN
DE PORO

CHAROPHYTES

PROGNOSIS GEOMECÁNICA DEL POZO "SAYRI 4A"

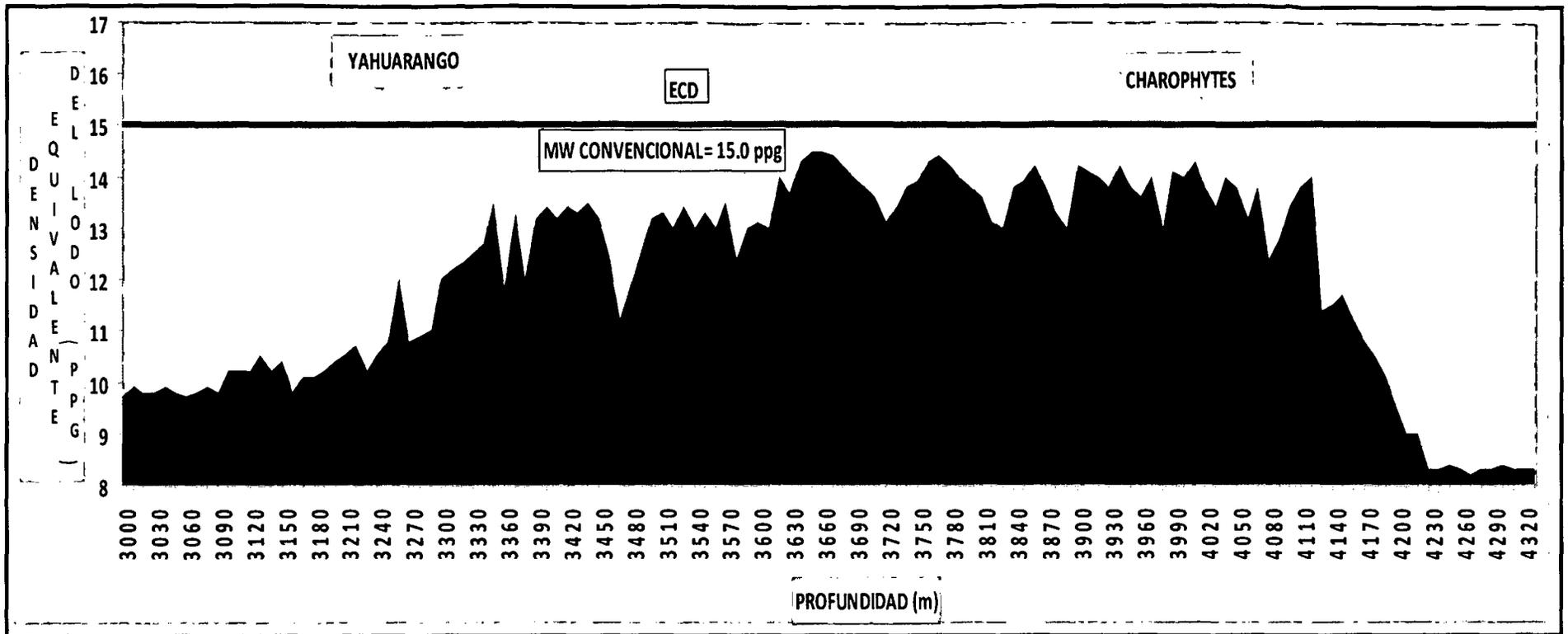
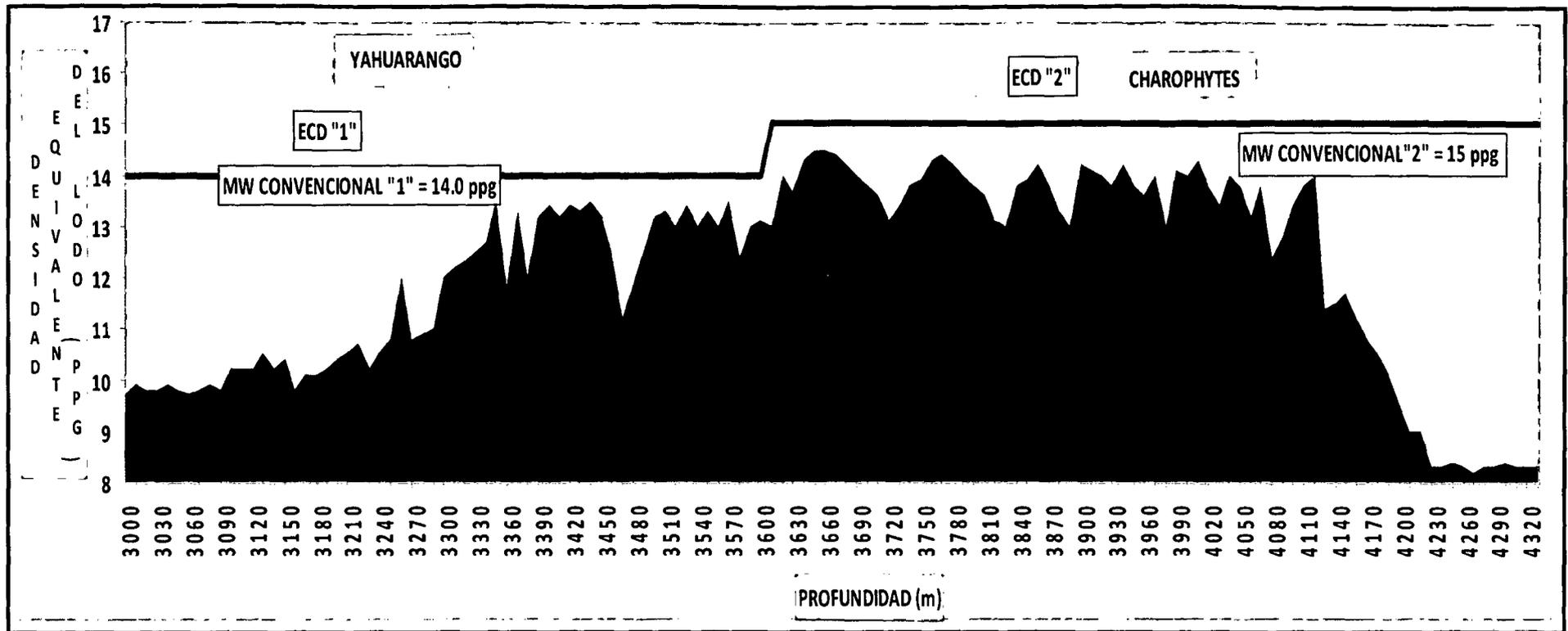


GRAFICO 45

PRIMER CASO: El peso de lodo que se debería trabajar es de 15 ppg, porque la máxima presión de poro es de 14,5 ppg, y por seguridad se agrega 0,5 ppg en toda operación de sobrebalance. Escogeríamos trabajar con un mismo peso de lodo, para evitar el cambio de peso de lodo, que tarda unas 12 horas, teniendo un costo de 100 mil dólares por cambio de lodo. Pero ocasionaría un ROP bajo debido a la alta diferencia del ECD y la Presión de Poro.

PROGNOSIS GEOMECÁNICA DEL POZO "SAYRI 4A"



SEGUNDO CASO: El primer peso de lodo que podríamos trabajar en la sección de 3000 mts a 3600 mts sería de 14.0 ppg (ya que la máxima presión de poro es de 13.5 ppg), y la segunda sección de 3600 mts a 4250 mts utilizaríamos un lodo de 15.0 ppg (como la máxima presión de poro es de 14.5 ppg), debido a que hay cambio de lodo, tardaría en cambiar el lodo unas 12 horas, lo cual genera un costo aproximado de 100 mil dolares, en el primer tramo se podría ganar un poco de ROP.

7.5. ANÁLISIS DE LA PROGNOSIS GEOMECÁNICA

7.5.1. RESUMEN DEL ANÁLISIS GEOMECÁNICO DE LA FORMACIONES YAHUARANGO Y CHAROPHYTES

Los resultados presentados en el gráfico 45 fueron producto de los eventos e información obtenida del pozo de correlación “NINA 3X”. En la figura se observa que el comportamiento del perfil de presión de poro en la formación Yahuarango y Charophytes varía desde un valor cercano a 10.2 ppg a 3 100 mts MD hasta un valor máximo de 14.50 ppg hacia los 3 650 mts MD, esto; debido principalmente al agua de formación presurizada encontrada en esta zona. Posteriormente hacia el fondo de la sección, la presión de poro disminuirá hasta valores de presión normal en la formación Vivian (8.3 ppg). Este comportamiento de presión de poro ubica a las formaciones Yahuarango y Charophytes en el rango de formaciones anormalmente sobre presurizadas.

Los gradientes de fractura se evaluaron y ajustaron de acuerdo a la prueba de integridad de formación (FIT) desarrollada, estimándose para la formación de Yahuarango y Charophytes una presión de fractura de aproximadamente 21.5 ppg y con un valor mínimo de 18.30 ppg para las formaciones arenosas del yacimiento.

Así mismo, el gradiente de colapso para estas formaciones oscila entre 12.00 ppg y 15.00 ppg de acuerdo al estudio de geo mecánica del gráfico 40. Sin embargo a través de estas formaciones se observan cuerpos arcillosos caracterizados por poseer importantes concentraciones de Torio y Uranio; esto cuerpos arcillosos se caracterizan por ser altamente reactivos y/o fácilmente hidratables en presencia de agua; lo que sugiere que mucha de la inestabilidad presente en esta sección de hoyo no es por esfuerzos mecánicos de la roca sino debido a un efecto químico producto de la interacción entre las arcillas reactivas y el medio líquido usado como fluido de perforación; de aquí la importancia de tener excelentes inhibidores de arcillas en el fluido de perforación para evitar o mitigar esta interacción química y finalmente evitar el hinchamiento de los cuellos arcillosos.

Finalmente, en la tabla se presentan los riesgos potenciales en la perforación de la sección de 12 ¼” x 14 ¾”, así como las acciones para su mitigación, y las recomendaciones para la perforación de la sección; se recomienda ampliamente implementar las prácticas operativas para una buena limpieza del pozo y la minimización de “back reaming”.

7.5.1.1. DETALLES FINALES

PERFIL DE PRESION DE PORO	PPG	PROFUNDIDAD (M)
MÍNIMO	10.2	3100
MÁXIMO	14.5	3650

PRESION DE FRACTURA	PPG
MÍNIMO	18.3
MÁXIMO	21.5

FORMACIÓN	TOPE (M)	BASE (M)	LONGITUD DE LA SECCIÓN (MTS)
YAHUARANGO	3100	3900	800
CHAROPHYTES	3900	4250	350

7.6. EVALUACIÓN DE RIESGOS DURANTE LA PERFORACIÓN; SECCIÓN 12 ¼ X 14 3/4

TABLA DE RIESGOS		RIESGO		ACCIONES	
FORMACION	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	RESUMEN	PREVENTIVO:	REMEDIAL:
YAHUARANGO	ALTA	CRITICA	Puntos apretados durante viajes de tubería / empaquetamiento de la sarta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear el comportamiento del torque en la sarta. 2. En lo posible NO realizar Back Reaming frente a las formaciones inestables. 3. Utilizar y mantener el peso de fluido planeado. 4. Mantener la presión de fondo constante durante las conexiones (CBHP) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar el peso del lodo al plan de contingencia. 2. Realizar Reaming y/o Back Reaming muy lentamente. 3. Si se tiene circulación, proceder a circular el pozo para descargar los cortes del anular. 4. Activar martillo hidráulico.
	BAJA	SERIA	Pega de tubería por Presión Diferencial debido al alto over balance	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evitar en lo posible mantener el BHA estático frente a las arenas conglomeráticas. 2. realizar las conexiones lo mas rápido posible. 3. utilizar el Peso de lodo inicial de acuerdo al plan. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir la presión en cabeza (SBP) hasta el valor mínimo establecido en el plan MPD. 2. Aplicar procedimiento de la compañía operadora para liberar sarta atrapada por presión diferencial.
	ALTA	SERIA	Kick / Influjos de agua	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mantener constante el monitoreo del pozo a través del Sistema Inteligente del MPD. 2. Controlar adecuadamente el efecto swab. 3. Mantener la presión de fondo constante. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Controlar dinámicamente el pozo a través del Sistema Inteligente del MPD. 2. Densificar el lodo de acuerdo a la información del Sistema Inteligente del MPD.
	MEDIA	MODERADA	Taponamiento de Chokes del Manifold	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear certeramente la presión anular. 2. Circular en lo posible por los dos chokes del manifold. 3. Mantener la concentración adecuada de inhibidores de arcillas en el fluido de perforación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Levantar sarta, disminuir el galonaje, mantenerse rotando. 2. Aplicar procedimiento para aislar chocke tapado, abrirlo y remover el material de obstrucción.
CHAROPHYTES	ALTA	CRITICA	Puntos apretados durante viajes de tubería / empaquetamiento de la sarta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitorear el comportamiento del torque en la sarta. 2. En lo posible NO realizar Reaming ni Back Reaming frente a las formaciones inestables. 3. Utilizar y mantener el peso de fluido planeado. 4. mantener la presión de fondo constante durante las conexiones (CBHP). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar el peso del lodo al plan de contingencia. 2. Realizar Reaming y/o Back Reaming muy lentamente. 3. Si se tiene circulación, proceder a circular el pozo para descargar los cortes del anular. 4. Activar martillo hidráulico.
	BAJA	MODERADA	Riesgo de perdidas parciales	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estar atento al monitoreo continuo del sistema del MPD. 2. Controlar la velocidad de bajada de tubería 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilizar material punteante (LCM) de acuerdo al plan de fluidos de perforación. 2. Reducir la presión en cabeza(SBP)hasta el valor mínimo establecido en el plan MPD.
	BAJA	SERIA	Pega de tubería por Presión Diferencial debido al alto overbalance.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Controlar la velocidad de bajada de sarta. 2. Realizar las conexiones lo mas rápido posible. 3. Evitar en lo posible mantener el BHA estático frente a las arenas conglomeraticas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir la presión en cabeza (SBP) hasta el valor mínimo establecido en el plan MPD. 2. Aplicar procedimiento de la operadora para liberar sarta atrapada por presión diferencial.

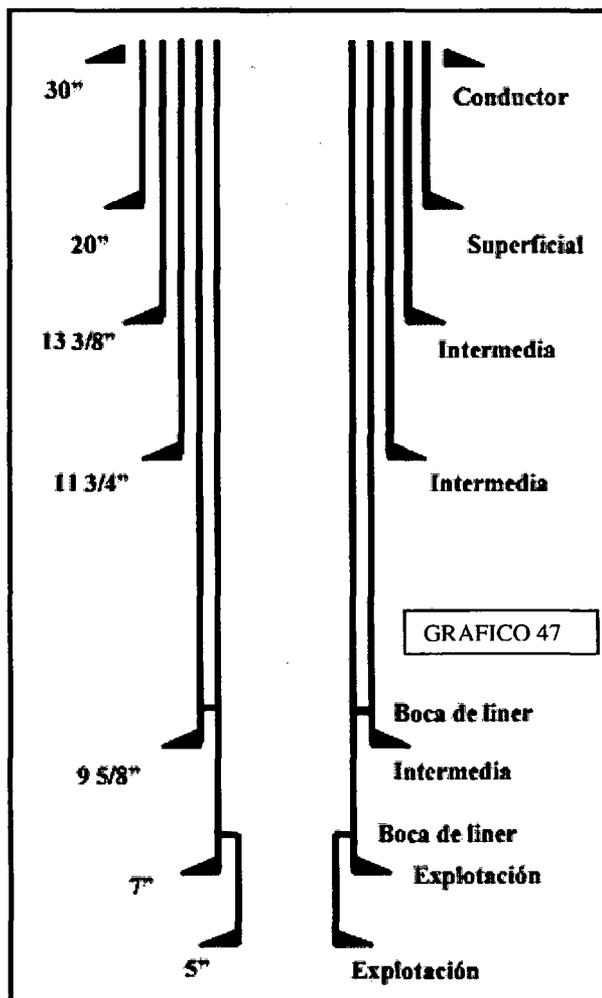
7.7. PARÁMETROS EN DISEÑO DE OPERACIÓN

7.7.1. DISEÑO DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO

La tabla que se muestra es el diseño de tubería de revestimiento programado una vez perforada la sección de 12 ¼" x 14 ¾":

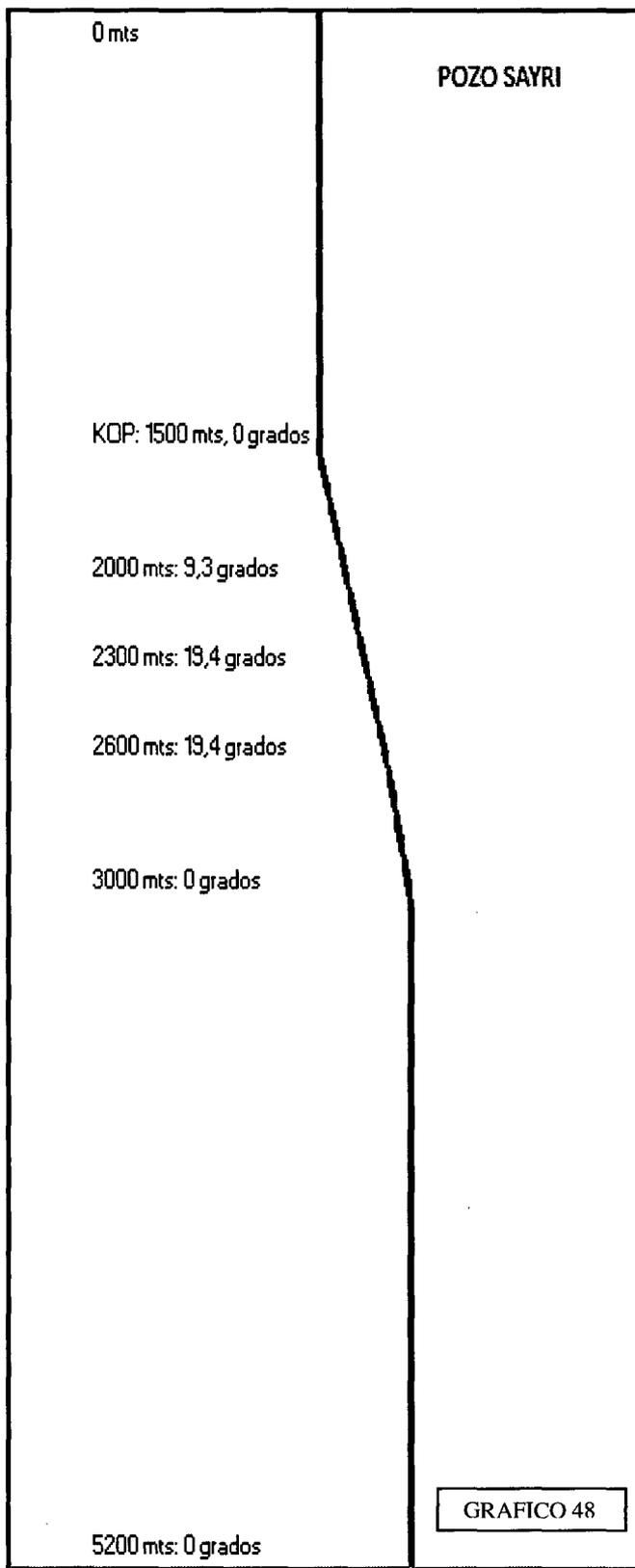
POZO "SAYRI" - PROGRAMA DE TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO			
Díam Hoyo (Pulg)	Cuerpo OD (Pulg)	Desde (m)	Hasta (m)
36"	30	8	60
26	20	8	1000
17 1/2	13 3/8	8	3300
12 1/4 x 14 3/4	Lnr 11 3/4	3200	4300
10 5/8 x 12 1/4	Csg 11 3/4	8,00	4200
10 5/8 x 12 1/4	Lnr 9 5/8	4200	4800
8-1/2	Liner 7	4700	5200

La sección de 12 ¼" x 14 ¾" será revestida con liner de 11 ¾", para efectos de cálculos de hidráulica en el espacio anular; el flujo de fluidos será entre: **Hoyo abierto de 12 ¼" – BHA; Hoyo abierto de 14 ¾" – BHA; ID de casing 13 ¾" – BHA.**



7.7.2. TRAYECTORIA DIRECCIONAL:

El Objetivo de la perforación direccional es perforar la sección de 12 ¼" x 14 ¾" en forma vertical manteniendo un azimuth de 270°, La sección tendrá una longitud total de **1500 Mts MD.**



7.7.3. SECCIÓN 12 ¼" X 14 ¾":

Esta es una sección intermedia, aquí se perforaran las formaciones presentes en el siguiente orden: **Yahuarango; Charophytes** para luego asentar liner de 11 ¾". Un resumen de las formaciones es como sigue:

Formación Yahuarango:

La parte superior de esta formación está conformada por arcillas rojizas, intercaladas con niveles tufáceos, areniscas bien definidas y limolitas en partes finamente arenosas conglomeraticas; en la parte media e inferior se presentan cuerpos delgados de areniscas intercaladas con capas arcillosas. En esta formación existen yacimientos conteniendo agua con presiones porales anormalmente alta.

Formación Charophytes:

Esta formación consiste de intercalaciones de arcillas, limolita y finas capas de areniscas de grano fino, bien seleccionado moderadamente consolidado; esta formación está caracterizada por la presencia de Charophytes, incremento de anhidrita y nódulos calcáreos.

La sección de 12 ¼" x 14 ¾" tendrá una longitud total de 1 150 Mts MD.

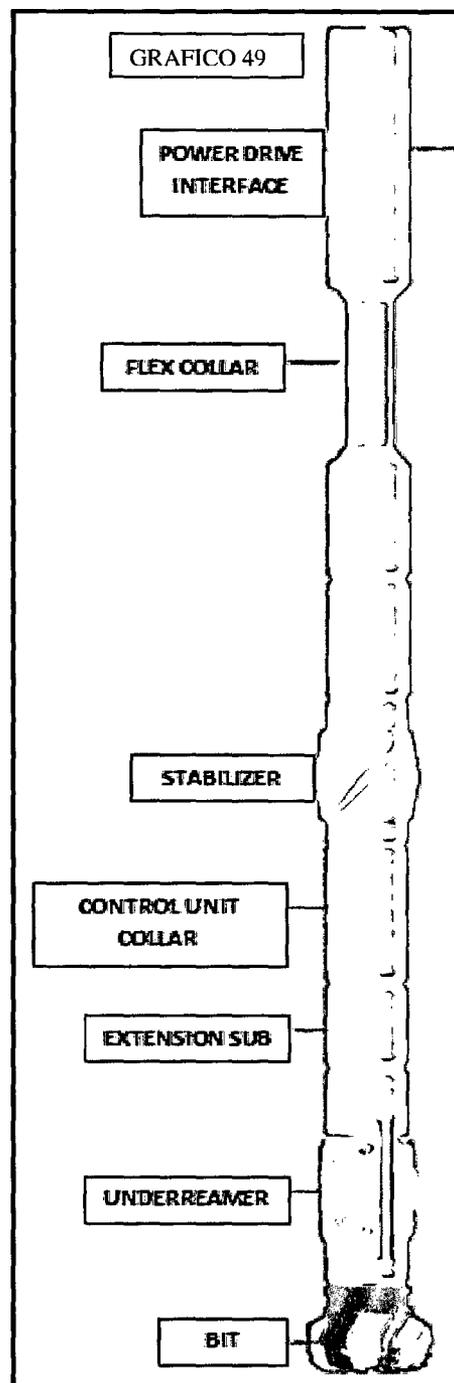
Nota:

Los riesgos principales en esta sección de 12 ¼" x 14 ¾" son principalmente: inestabilidad de hoyo (Break out; principalmente por efectos químicos); influjo de agua de formación; mala limpieza del hoyo con tendencia al empaquetamiento de la sarta; en esta sección los valores de presión de colapso son relativamente altos; ubicándose estos valores ligeramente por encima de la presión de poro en las formaciones de interés; debido a esto, hay que mantener la presión de fondo en un valor adecuado para conservar el hoyo estable pero sin inducir a pérdidas parciales de circulación. Por otro lado, la presión de fractura se presenta con valores moderadamente altos y casi uniformes a través de toda la sección. La formación Charophytes sería la formación que podría manifestar inestabilidad de hoyo

7.7.4. BHA SECCIÓN 12 ¼" X 14 ¾":

En el BHA está compuesto principalmente por: **Power Drive, APWD, Telescope, Ampliador (Anderreamer 12 ¾")**, Hydraulic Jar, Drill Pipe OD = 6 7/8".

El galonaje óptimo definido para esta sección fue de **850 GPM con posibilidades de aumentarlo a 900 gpm**, la determinación de este galonaje se realizó considerando el requerimiento de caudal de las herramientas del BHA, correcta limpieza de hoyo y el patrón de flujo a obtener en el espacio anular.



7.7.5. FLUIDO DE PERFORACIÓN

Para la perforación de la sección de 12 ¼" x 14 ¾" se utilizó un lodo de perforación Base Agua (Perflex) el cual se densificó con Barita. En esta sección se continúan perforando arcillas reactivas, por lo que se inyectara al sistema Terra-Rate para prevenir el embolamiento de la broca y el BHA.

Se agregará **Max-Guard** al sistema para realizar el proceso de estabilización-inhibición deseado para evitar el hinchamiento de las arcillas presentes en el intervalo.

Para la perforación de la sección de 12 ¼" x 14 ¾" desde 3,100 Mts MD hasta 4,250 Mts MD (Longitud= 1 150 mts) se usará un lodo de perforación con las siguientes propiedades:

PROPIEDAD	VALOR	INTERVALO / PROF MD (Mts)
Densidad del Lodo (ppg)	13.2	Desde 3100 Mts hasta 4250 Mts
Viscosidad Plástica (Cp)	34-36	
Punto Cedente (Lb/100ft ²)	27-30	

Una vez se llegó a la profundidad total de 4,250 Mts MD se deberá densificar el lodo de perforación según las siguientes propiedades reológicas:

PROPIEDAD	VALOR	INTERVALO / PROF MD (Mts)
Densidad del Lodo (ppg)	14.6	Al llegar al TD de la sección
Viscosidad Plástica (Cp)	38-42	
Punto Cedente (Lb/100ft ²)	32-34	

Con base en la información del sistema de lodo base agua (YP y VP), se realizaron las simulaciones para evaluar los parámetros de hidráulica en el fondo del hoyo, así como definir el peso de lodo apropiado según la formación y profundidad y también permitió evaluar el comportamiento de limpieza del hoyo.

7.8. DISEÑO HIDRÁULICO

En esta sección se presentan los parámetros del diseño hidráulico definidos para perforar la sección de 12 ¼" x 14 ¾". Para llevar a cabo este diseño se tomaron los parámetros definidos en el programa MPD y los suministrados por Petrobras los cuales se muestran a continuación.

PROPIEDAD	VALOR
Formación a Perforar	Yahuarango / Charophytes
Max. Presión. Equiv. De Poro	14.5 ppg @ 3750 Mts TVD (Formación Yahuarango)
Min. Presión Equiv. De Poro	10.2 ppg @ 3100 Mts TVD (Formación Yahuarango)
Max. Presión equiv de colapso de Formación presente en la sección (interpretada)	12 ppg @ 3950 Mts (Formación Yahuarango)
Tope de la Sección	3100 Mts MD / 3085 Mts TVD
Fondo de la Sección	4250 Mts MD / 4230 Mts TVD
Longitud de la sección	1150 Mts
Densidad Fluido de Perforación	13.2 ppg
Viscosidad del Lodo de Perforación	35 Cp @ 120 °F
Yield Point	28 lbs/100 ft ²
θ 300 rpm	62 @ 120°F
θ 600 rpm	97 @ 120°F
Densidad Equivalente de Lodo deseada (ECDs)	13.6 ppg - 14.5 ppg
Densidad Estática de Equivalente Deseada (ESDs)	13.6 ppg - 14.5 ppg (CBHP)
Rango de SBP a usar (Dinámico)	40 PSI a 600 PSI
Rango de SBP a usar (Estático)	600 PSI a 900 PSI
Gradiente Geotérmico	0.0358 °F/mt
Temperatura en Superficie	82°F / 28°C
Fluido de Perforación	Lodo Base Agua (WBM: Perflex)
Galonaje Inicial	875 gpm / Rango Optimo = 850 - 900 gpm
Max. ROP efectiva esperada sostenida	4 mts /hr
Tamaño de Cortes de Perforación	0.30 inches / 0.761 cms (tamaño promedio estimado)

Con estos datos, y los suministrados por el estudio de Geo mecánica realizado en las Formaciones Yahuarango y Charophytes, se realizó las simulaciones necesarias para determinar el comportamiento de la presión de fondo (ECD / ESD) y/o definir la ventana operativa MPD.

CAPÍTULO VIII VENTANA OPERATIVA MPD EN POZO “SAYRI 4A”

En esta sección se presentan los resultados de las simulaciones realizadas para determinar los límites de la ventana operativa a las condiciones requeridas para la perforación de la sección 12 ¼” x 14 ¾”; más adelante se presentaran las gráficas que muestran el comportamiento del ECD / ESD perforando esta sección desde el zapato del casing 13 3/8” @ 3,100 Mts MD hasta la profundidad total de 4,250 Mts MD, los datos de entrada utilizados para realizar estas simulaciones se presentan en la tabla 4 de parámetros de diseño.

Para la perforación de la formación **Yahuarango** entre 3,100 Mts MD (zapata del casing de 13 3/8”) y 3,600 Mts MD (Punto previo al incremento abrupto en la presión de poro) se definió utilizar un peso de fluido de perforación de 13.20 ppg / ECD = 13.60 ppg y cerrar el pozo durante las conexiones con una equivalente estática **ESD = 13.60 ppg** por las siguientes razones:

1. A la profundidad de 3,600 mts MD con un peso de lodo de **13.20 ppg** se obtendría un **ECD = 13.60 ppg @ 875 gpm**, este ECD se obtiene con una contrapresión natural en cabeza de pozo de 40 Psi, así mismo con este ECD se estaría mitigando el potencial influjo de agua aprox. a 3,440 mts TVD cuya presión equivalente es aprox. 13.50 ppg.
2. A la profundidad de 3,600 mts MD con un peso de lodo de **13.20 ppg** se obtendría un **ECD = 13.60 ppg @ 875 gpm** y se ejercería un **ESD = 13.60 ppg**, con este ECD / ESD se estaría controlando ampliamente la potencial inestabilidad mecánica; por otro lado optimizando la presión total en circulación en el fondo y manteniendo el peso de lodo en un valor tal que su reología y contenido de sólidos puedan ser fácilmente controlables; se estaría induciendo a un aumento en la ROP producto de la menor carga hidrostática sobre la cara de la formación y por un mayor impacto hidráulico sobre esta.
3. Presión adicional requerida en fondo sería colocada inicialmente a través del **Sistema Inteligente del MPD** mediante contrapresión en cabeza de pozo.

Para la perforación de la formación Yahuarango desde 3,600 mts MD hasta la base de la formación Charophytes a 4,250 Mts MD (TD de la sección) se utilizará el mismo peso de lodo = **13.20 ppg con un ECD = 14.50 ppg** y se cerrará el pozo durante las conexiones con una equivalente estática **ESD = 14.50 ppg** por las siguientes razones :

1. Con un equivalente estática **ESD = 14.50 ppg** se estaría cubriendo al 100 % la potencial zona de influjo de agua; de acuerdo a la prognosis de Geo mecánica el

segundo potencial influjo de agua presente a 3,690 mts TVD y cuya presión equivalente de poro sería aprox: 14.00 ppg.

2. Con el peso de lodo = **13.20 ppg** / **ECD = 14.5 ppg** se estaría mitigando ampliamente los potenciales eventos de inestabilidad mecánica de formación de acuerdo a la prognosis geo mecánica de la figura 6; sin embargo se insiste en que los problemas de inestabilidad de formación vistos en pozos anteriores perforados en la zona; son debido mayoritariamente a inestabilidad química producto del hinchamiento de las arcillas reactivas; por lo que hay que poner especial atención en la capacidad inhibitoria en el fluido de perforación.

3. Presión adicional requerida en fondo sería colocada inicialmente a través del **Sistema Inteligente del MPD** mediante contrapresión en cabeza de pozo.

8.1. PROGNOSIS GEOMECÁNICA DEL POZO "SAYRI 4A" CON ANÁLISIS HIDRÁULICO PARA EL MPD

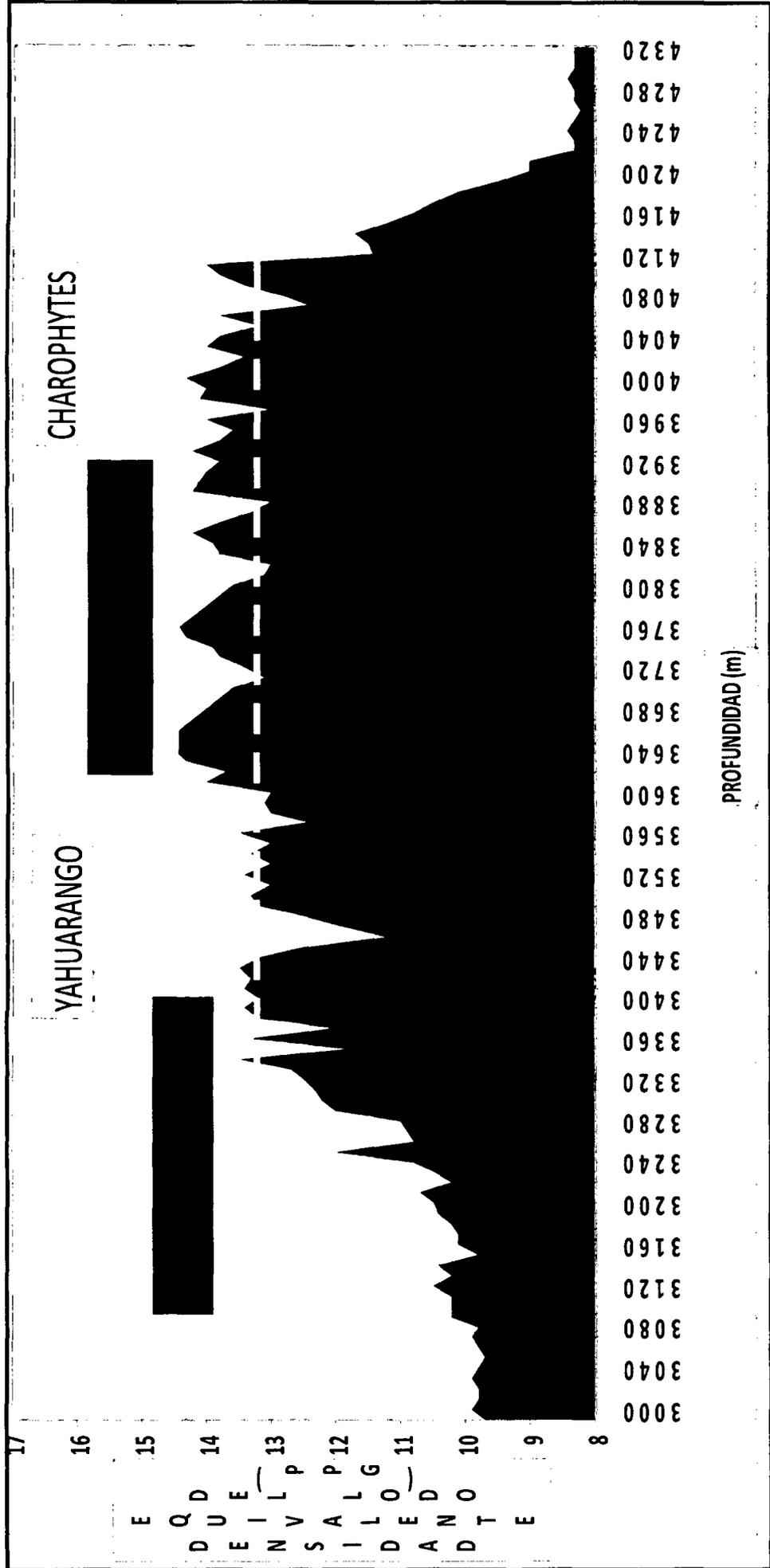


GRAFICO 50

FORMACIÓN	PROFUNDIDAD AD (MTS)	presión poral (ppg)	presión poral (PSI)	PERDIDA POR FRICCIÓN (PSI)	DISEÑO DE LODO CON MPD	ECD (ppg) según gráfico	PRESION DINAMICA SIN SBP (para MPD)	DIFERENCIA DE LA PRESION DE PORO Y LA PRESION DINAMIA	SBP (PSI)	PRESION DE FONDO CON MPD (PSI)	PRESION DE FONDO - PRESION DE PORO (PSI)	ECD FINAL CONFIRMADO	
Yahuarango	3100	10.2	5393	180	13.2	13.6	7159	-1766	40	7199	1806	13.6	
	3110	10.2	5411	180	13.2	13.6	7182	-1777	40	7222	1811	13.6	
	3120	10.2	5428	180	13.2	13.6	7204	-1788	40	7244	1816	13.6	
	3130	10.2	5605	180	13.2	13.6	7227	-1799	40	7267	1661	13.6	
	3140	10.2	5463	180	13.2	13.6	7249	-1810	40	7289	1827	13.6	
	3150	10.4	5588	180	13.2	13.6	7272	-1821	40	7312	1724	13.6	
				5282	180	13.2	13.6	7294	-1832	40	7334	2052	13.6
				5461	187	13.2	13.6	7324	-1843	40	7356	1903	13.6
				5478	187	13.2	13.6	7346	-1854	40	7378	1908	13.6
							13.6	7369	-1819	40	7409	1859	13.6
							13.6	7391	-1715	40	7431	1755	13.6
							13.6	7414	-1665	40	7454	1705	13.6
				5876	187	13.2	13.6	7436	-1560	40	7476	1600	13.6
				5619	187	13.2	13.6	7459	-1440	40	7499	1490	13.6
				5802	195	13.2	13.6	7482	-1320	40	7522	1380	13.6
				5987	195	13.2	13.6	7505	-1200	40	7545	1270	13.6
				6672	195	13.2	13.6	7528	-1080	40	7568	1160	13.6
				6023	195	13.2	13.6	7551	-960	40	7591	1050	13.6
				6098	195	13.2	13.6	7574	-840	40	7614	940	13.6
				6173	195	13.2	13.6	7597	-720	40	7637	830	13.6
				6754	195	13.2	13.6	7620	-600	40	7660	720	13.6
				6888	202	13.2	13.6	7643	-480	40	7683	610	13.6
				6965	202	13.2	13.6	7666	-360	40	7706	500	13.6
				7100	202	13.2	13.6	7689	-240	40	7729	390	13.6
				7235	202	13.2	13.6	7712	-120	40	7752	280	13.6
				7714	202	13.2	13.6	7735	0	40	7775	170	13.6
				6762	202	13.2	13.6	7758	120	40	7798	60	13.6
				7645	202	13.2	13.6	7781	240	40	7821	-50	13.6
			6918	206	13.2	13.6	7804	360	40	7844	-160	13.6	
			7632	206	13.2	13.6	7827	480	40	7867	-270	13.6	
			7771	206	13.2	13.6	7850	600	40	7890	-380	13.6	
			7677	206	13.2	13.6	7873	720	40	7913	-490	13.6	
			7816	206	13.2	13.6	7896	840	40	7936	-600	13.6	
			7781	206	13.2	13.6	7919	960	40	7959	-710	13.6	
			7921	206	13.2	13.6	7942	1080	40	7982	-820	13.6	
			7767	215	13.2	13.6	7965	1200	40	8005	-930	13.6	

Depende de la rugosidad de la formación y el tipo de flujo

= 0.052 * 3.28 * (DISEÑO DE LODO CON MPD) * PROFUNDIDAD + PF

Con esta diferencia de la presión de poro y la presión dinámica, determinaremos cual va a ser nuestra máxima contra-presión en superficie

Es la contra-presión en superficie, el cual operaremos con el choque manifold.

Esta es la contra-presión mínima que genera el diámetro de la tubería del choque manifold

Yahuarango

3460	12.5	7377	215	13.2	13.6	8005	-628	40	8045	668	13.6
3470	11.2	6629	215	13.2	13.6	8027	-1399	40	8067	1439	13.6
3480	11.9	7063	215	13.2	13.6	8050	-987	40	8090	1027	13.6
3490	12.5	7441	215	13.2	13.6	8072	-632	40	8112	672	13.6
3500	13.2	7880	215	13.2	13.6	8095	-215	40	8135	255	13.6
3510	13.3	7962	215	13.2	13.6	8117	-155	40	8157	195	13.6
3520	13	7805	223	13.2	13.6	8148	-343	40			
3530	13.4	8068	223	13.2	13.6	8170	-103	40			
3540	13	7849	223	13.2	13.6	8193	-344	40			
3550	13.3	8053	223	13.2	13.6	8215	-162	40			
3560	13	7894	223	13.2	13.6	8238	-344	40			
3570	13.5	8220	223	13.2	13.6	8260	-40	40			
3580	12.4	7571	223			8283	-711	40			
3590	13	7960	230			8312	-352	40	8312	392	13.6
3600	13.1	8044	230			8335	-291	600	8335	891	14.6
3610	13	8004	230			8358	-353	600	8358	953	14.5
3620	14	8644	230	13.2	14.5	8380	264	600	8380	336	14.5
3630	13.7	8482	230	13.2	14.5		80	600	8380	520	14.5
3640	14.3	8878	230	13.2	14.5	8425	453	600	8425	147	14.5
3650	14.5	9027	230	13.2	14.5	8448	579	600	8448	21	14.5
3660	14.5	9052	238	13.2	14.5	8478	574	600	8478	26	14.5
3670	14.4	9014	238	13.2	14.5	8501	513	600	8501	87	14.5
3680	14.2	8913	238	13.2	14.5	8523	390	600	8523	210	14.5
3690	14	8811	238	13.2	14.5	8546	265	600	8546	335	14.5
3700	13.8	8709	238	13.2	14.5	8568	141	600	8568	459	14.5
3710	13.6	8606	238	13.2	14.5	8591	15	600	8591	585	14.5
3720				13.2	14.5	8613	-301	600	8613	901	14.5
3730				14.5		8645	-120	600	8645	720	14.5
3740						8667	136	600	8667	464	14.5
3750				14.5		8690	201	600	8690	399	14.5
3760				14.5		8712	458	600	8712	142	14.5
3770				14.5		8735	525	600	8735	75	14.5
3780				14.5		8757	398	600	8757	202	14.5
3790				14.5		8780	270	600	8780	330	14.5
3800				14.5		8810	134	600	8810	466	14.5
3810	13.6	8658	255	13.2	14.5	8833	5	600	8833	595	14.5
3820	13.1	8535	255	13.2	14.5	8855	-320	600	8855	920	14.5
3830	13	8492	255	13.2	14.5	8878	-386	600	8878	986	14.5
3840	13.8	9038	255	13.2	14.5	8900	138	600	8900	462	14.5
3850	13.9	9128	255	13.2	14.5	8923	205	600	8923	395	14.5
3860	14.2	9349	255	13.2	14.5	8945	403	600	8945	197	14.5

Es la máxima contra-
presión en superficie.

Como vemos que se necesita una contra-
presión máxima de 574 psi, por medidas de
seguridad tomaremos 600 psi de contra-
presión, lo cual es un valor adecuado para
trabajarlo en superficie ya que por seguridad
operacional lo máxima presión permitida que
se trabaja en varios países es de 700 psi.

Como se puede apreciar, se va a
perforar con una mínima
diferencia de presiones entre el
ECD y la presión de poro, por
consecuencia esto optimizara mi

charophytes	3870	263	13.2	14.5	8976	133	600	9576	467	14.5
	3880	263	13.2	14.5	8998	-197	600	9598	797	14.5
	3890	263	13.2	14.5	9021	-396	600	9621	996	14.5
	3900	263	13.2	14.5	9043	402	600	9643	198	14.5
	3910	263	13.2	14.5	9066	337	600	9666	263	14.5
	3920	263	13.2	14.5	9088	272	600	9688	328	14.5
	3930	263	13.2	14.5	9111	139	600	9711	461	14.5
	3940	275	13.2	14.5	9145	397	600	9745	203	14.5
	3950	275	13.2	14.5	9168	129	600	9768	471	14.5
	3960	275	13.2	14.5	9191	-5	600	9791	605	14.5
	3970	275	13.2	14.5	9213	267	600	9813	333	14.5
	3980	275	13.2	14.5	9236	-411	600	9836	1011	14.5
	3990	275	13.2	14.5	9258	337	600	9858	263	14.5
	4000	275	13.2	14.5	9281	271	600	9881	329	14.5
	4010	275	13.2	14.5	9308	472	600	9908	128	14.5
	4020	275	13.2	14.5	9331	131	600	9931	469	14.5
	4030	280	13.2	14.5	9353	-143	600	9953	743	14.5
	4040	280	13.2	14.5	9376	271	600	9976	329	14.5
	4050	280	13.2	14.5	9398	134	600	9998	466	14.5
	4060	280	13.2	14.5	9421	-280	600	10021	880	14.5
	4070	285	13.2	14.5	9448	132	600	10048	468	14.5
	4080	285	13.2	14.5	9471	-842	600	10071	1442	14.5
	4090	285	13.2	14.5	9493	-564	600	10093	1164	14.5
	4100	285	13.2	14.5	9516	-145	600	10116	745	14.5
	4110	285	13.2	14.5	9538	136	600	10138	464	14.5
	4120	285	13.2	14.5	9561	277	600	10161	323	14.5
	4130	293	13.2	14.5	9591	-1561	600	10191	2161	14.5
	4140	293	13.2	14.5	9614	-1493	600	10214	2093	14.5
	4150	293	13.2	14.5	9636	-1355	600	10236	1955	14.5
	4160	293	13.2	14.5	9659	-1712	600	10259	2312	14.5
4170	293	13.2	14.5	9681	-2000	600	10281	2600	14.5	
4180	293	13.2	14.5	9704	-2218	600	10304	2818	14.5	
4190	293	13.2	14.5	9726	-2508	600	10326	3108	14.4	
4200	300	13.2	14.5	9756	-2951	600	10356	3551	14.5	
4210	300	13.2	14.5	9778	-3316	600	10378	3916	14.5	
4220	300	13.2	14.5	9801	-3323	600	10401	3923	14.5	
4230	300	13.2	14.5	9823	-3835	600	10423	4435	14.4	
4240	300	13.2	14.5	9846	-3844	600	10446	4444	14.4	
4250	300	13.2	14.5	9868	-3779	600	10468	4379	14.4	

Como se puede apreciar, se va a perforar con una minima diferencia de presiones entre el ECD y la presión de poro, por consecuencia esto optimizara mi ROP.

8.2. PROYECTO EXPLORATORIO PERU . BLOCK A ESTIMADO DE TIEMPO POZO "SAYRI 4A" SECCIÓN 12 1/4" x 14 3/4"

PLAN DE TRABAJO - OPERACIONES CON TIEMPOS MÁXIMOS

DE	HASTA		Max.	AVANCE
Ms	ms	DESCRIPCION OPERACIONES	hrs	ms
3100	3100	Monta & Prueba Equipos MPD	24.00	3100
3100	3100	Pruebas de BOP y Chocke Manifold . Instala Buje	12.00	3100
3100	3100	Arma y baja Tricono 12 1/4". Rota Plugs a +/-1350m	8.00	3100
3100	3100	Baja al fondo. Rota resto tapones, cmt hasta collar	8.00	3100
3100	3100	1era Prueba de casing	2.00	3100
3100	3100	Rota tapones, collar, cmt hasta 5 m encima Shoe	5.00	3100
3100	3100	2da Prueba de casing	2.00	3100
3100	3100	Rota 5 m cmt + zapato	3.00	3100
3100	3100	Circulación, cambio de lodo acondicionado	12.00	3100
3100	3100		0.00	3100
3100	3105	Perfora formación, de 3100 - 3105 m (5 m/hr)	1.50	3105
3105	3105	Arma Equipo de Cementación	2.00	3105
3105	3105	Realiza LOT	1.00	3105
3105	3105	Viaje a superficie para RREE y cambio de BHA	12.00	3105
3105	3105	Charla Seguridad+Poleas + RREE (IBC/CBL-VDL-GR-CCL) csg 13 3/8	12.00	3105
3105	3105	Arma y baja con PDC 12 1/4"+ UR 14 3/4 hasta 3305m	16.00	3105
3105	3165	Perfora de 3105 - 3165m (10/8/6 m/hr). Lanza bola	12.00	3165
3165	3220	Perfora y ensancha de 3165 - 3220 m (5 m/hr)	12.00	3220
3220	3220	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	3220
3220	3300	Perfora y ensancha de 3220 - 3300 m (5m/hr)	20.00	3300
3300	3300	Cambia caucho MPD	3.00	3300
3300	3300	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	3300
3300	3360	Perfora y ensancha de 3300 - 3360m (5 m/hr)	12.00	3360
3360	3360	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	3360
3360	3360	2do Viaje de calibración al zapato	5.00	3360
3360	3450	Perfora y ensancha de 3360 -3450 m (5 m/hr)	18.00	3450
3450	3450	Cambia caucho MPD	3.00	3450
3450	3450	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	3450
3450	3530	Perfora y ensancha de 3450 - 3530 m (5 m/hr)	16.00	3530
3530	3530	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	3530
3530	3600	Perfora y ensancha de 3530 - 3600 m (5 m/hr)	14.00	3600
3600	3600	Cambia caucho MPD	3.00	3600
3600	3600	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.50	3600
3600	3600	3er Viaje de calibración	8.00	3600
3600	3800	Perfora y ensancha de 3600 - 3800 m (3.3 m/hr)	60.61	3800
3800	3800	Cambia caucho MPD	3.00	3800
3800	3800	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	3800
3800	3860	Perfora y ensancha de 3800 - 3860 m (3.3 m/hr)	18.18	3860
3860	3860	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	3860
3860	3860	4to Viaje de calibración al zapato	11.00	3860
3860	3900	Perfora y ensancha de 3860 - 3900 m (3.3 m/hr)	12.12	3900

3900	3900	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	3900
3900	3900	Cambia caucho MPD	3.00	3900
3900	3960	Perfora y ensancha de 3840 - 3900 m (3.3 m/hr)	18.18	3960
3960	3960	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	3960
3960	3960	5to Viaje a superficie por cambio de broca	35.00	3960
3960	4070	Perfora y ensancha de 3900 - 4070 m (3.3 m/hr)	24.24	4070
4070	4070	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.50	4070
4070	4070	Cambia caucho MPD	3.00	4070
4070	4100	Perfora y ensancha de 3070 - 4100 m (3.3 m/hr)	39.39	4100
4100	4100	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	4100
4100	4100	6to Viaje de calibración	13.00	4100
4100	4170	Perfora y ensancha de 4100 - 4170 m (3.3 m/hr)	21.21	4170
4170	4170	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	4170
4170	4170	Cambia caucho MPD	3.00	4170
4170	4210	Perfora y ensancha de 4170 - 4210 m (3.3 m/hr)	12.12	4210
4210	4210	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	4210
4210	4210	Cambia caucho MPD	3.00	4210
4210	4210	Viaje de calibración al zapato	12.00	4210
4210	4230	Perfora y ensancha de 4210 - 4230 m (3.3 m/hr)	6.06	4230
4230	4230	Bombea píldora viscosa, circula, survey	3.00	4230
4230	4250	Perfora de 4230 - 4250 m (3.3 m/hr)	6.06	4250
4250	4250	Bombea píldora viscosa, circula, survey	4.00	4250
4250	4250	8vo Viaje de calibración hasta el zapato	15.00	4250
4250	4250	Bombea píldora viscosa, circula	4.00	4250
4250	4250	9no Viaje a superficie para perfiles	16.00	4250
4250	4250	Desarma Equipos MPD	24.00	4250

Como se puede ver se cambiaran 9 veces el caucho del MPD ya que este se gasta conforme rote la sarta de perforación.

DE (mts)	HASTA (mts)	CAMBIO DE CAUCHO DEL MPD	TRAMO PERFORADO CON EL CAUCHO (mts)
3100	3300	primer caucho	200.00
3300	3450	segundo caucho	150.00
3450	3600	tercer caucho	150.00
3600	3800	cuarto caucho	200.00
3800	3900	quinto caucho	100.00
3900	4070	sexto caucho	170.00
4070	4170	séptimo caucho	100.00
4170	4210	octavo caucho	40.00
4210	4250	noveno caucho	40.00

8.3. LIMPIEZA DE HOYO Y TRANSPORTE DE RECORTES

De acuerdo tanto a la teoría como a las experiencias de perforación, se considera una adecuada limpieza de pozo cuando la velocidad de la fase líquida supera en pozos verticales los 50m/min. (160 ft/min.) y en pozos horizontales los 70 m/min. (240 ft/min.).

La limpieza del hoyo de acuerdo al simulador de hidráulica debería ser excelente con un caudal 850 GPM (**caudal más bajo a usar potencialmente**) y con la reología del fluido de perforación planeado. La velocidad mínima requerida para una excelente limpieza en pozos con una inclinación máxima de 19° es 160 Ft/min; así con las condiciones de perforación que se tendrán en el pozo "SAYRI 4A" las simulaciones indican que la velocidad anular promedio será aprox. **240 ft/min.**

El cambio en la velocidad del flujo que se refleja en forma de escalones es por el cambio de área de flujo a través de: BHA – hoyo abierto, DP- ID casing 13 3/8", notándose una disminución de velocidad a medida que incrementa el área de flujo anular

8.4. Procedimiento durante las conexiones de tubería:

En el momento en que se deba parar circulación y/o parar las bombas ya sea para realizar conexión ó por cualquier otra condición, y dependiendo lo que indique el procedimiento operativo MPD; hay que sumarle a la contra presión natural que se tenía en cabeza de pozo cuando se estaba perforando, la contra presión en cabeza necesaria para obtener un equivalente igual a **ESD 1 = 13. 90 ppg / ESD 2 = 14.30 ppg**; en el fondo del hoyo. Este procedimiento nos asegurará de que se mantengan las presiones de fondo dentro de la ventana operativa MPD previamente definida, por otro lado no se somete a las formaciones al constante stress producto de los cambios de presión en fondo de hoyo producidos cuando se apagan y prenden bombas para hacer conexiones de tubería, por ejemplo para los 875 GPM y usando una contra presión dinámica en cabeza igual a **255 Psi** y una contrapresión estática igual a **600 psi.**

CAPÍTULO IX: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los datos mostrados son de los pozos "ASIRI 2A" y "NINA 3A" que estamos tomando como referencia, ya que en estos pozos tenemos la misma formación Yahuarango y Charophytes en "SAYRI 4A", donde estos pozos se encuentran en el mismo lote A.

	POZOS	DEHISIDAD (ppg)	ECD (ppg)	ROP (mts/hr)	ESPESOR (mts)	DIAS PERFORADOS
DATO	ASIRI 2A	13,2	14	4	1000	25
	NINA 3A	14,3	15,1	2	1160	60

9.1. COMPARATIVA DE TIEMPOS DE LA FASE DE 12 1/4" X 14 3/4" NINA 3A, ASIRI 2A Y PUSHAQ 1A

El pozo "NINA 3A" tuvo el mayor tiempo de perforación comparado a los pozos anteriores "PUSHAQ 1A" y "ASIRI 2A". Se debe notar que la longitud perforada fue ligeramente superior en 80 a 160 metros. Sin embargo el tiempo de perforación neto en "NINA 3A" (60 días) fue un poco mas del doble en comparación con el pozo "ASIRI 2A" (25 días). Cabe resaltar que las presiones porales de esta sección que viene ser Yahuarango y Charophytes fueron mayores en "NINA 3A" (14,3 ppg) en comparación del "ASIRI 2A" (13,8 ppg)

POZO NINA 3A			
FASE 12 1/4" X 14 3/4"	PROGRAMADO (DIAS)	REAL (DIAS)	DIFERENCIA (DIAS)
FASE TOTAL	31	60	29
FASE ROTATIVA	19	35	16

FASE 12 1/4" X 14 3/4" CASING 11 3/4"			
POZO	BASE (mts)	TOPE (mts)	LONGITUD (mts)
PUSHAQ 1A	3200	2280	920
ASIRI 2A	3500	2500	1000
NINA 3A	3900	2740	1160
SAYRI 4A	4250	3100	1150

9.2. INFLUJOS DE AGUA (SURGENCIA DE POZO) EN SECCION 12 1/4" X 14 3/4" POZO "NINA 3A"

El influjo de agua no es beneficioso para la perforación. Tiene 2 agravantes para el proyecto: riesgo de una surgencia prolongada y sus correspondientes peligros para la seguridad del personal y el equipo de perforación. El otro agravante es la generación de tiempos no productivos al tratar de corregir este problema.

INFLUJOS Y TIEMPOS PERDIDOS EN "NINA 3A"	
PROFUNDIDAD (metros)	TIEMPO PERDIDO (horas)
SURGENCIA A 3285	10
SURGENCIA A 3396	8,5
SURGENCIA A 3582	12

9.3. ANÁLISIS DEL ROP A LA FORMACIÓN YAHUARANGO

En la investigación se tomó recomendación del paper SPE-124545 **“Managed Pressure Drilling Applications Proves Successful in the Middle East and North Africa Region”** el cual muestra una ecuación de como estimar el ROP a partir del ECD, en el también hace referencia al CAPITULO 5: **“Rotary Drilling Bits (pag 226), LIBRO: Applied Drilling Engineering”**

Para poder estimar mi ROP en las formaciones analizadas yahuarango y Charophytes, hacemos uso de la siguiente ecuación $ROP2 = ROP1 * EXP [C * D (ECD1 - ECD2)]$, que esta publicado en el CAPITULO 5 : ROTARY DRILLING BITS (pag 226), LIBRO: APPLIED DRILLING ENGINEERING.

ROP1 = Rate de penetración en condición Overbalance.

ROP2 = Rate de penetración en condición Near Balance.

ECD1 = Densidad de circulación equivalente del lodo pesado.

ECD2 = Densidad equivalente de circulación del lodo ligero.

C = Constante que depende del tipo de formación,

tipo de broca y peso sobre la broca.

D = Profundidad del pozo

Las asunciones para poder estimar el ROP, a partir de la ecuación de **Bourgoyne Jr, et al**, en 1991, que correlaciona el ROP y el ECD esta ecuación se muestra en el **Applied Drilling Engineering**.

1. Requiere dato de ROP de los pozos vecinos de la formación en estudio.
2. Requiere dato de la densidad de lodo utilizada, para perforar las formaciones en estudio.
3. Requiere dato de la profundidad media de las formaciones en estudio.
4. Se asume el un peso de lodo ligero con respecto a los pozos vecinos para calcular el nuevo ROP.
5. No considera el peso sobre la broca
6. No considera los efectos de presión y temperatura de fondo en el ECD.
7. No considera diámetro de la broca.
8. No considera el tipo de broca.
9. No considera los efectos del RPM en el ECD.
10. No considera el Rate de Flujo.
11. No considera las desviaciones del hoyo.

En el pozo "NINA 3A" se tuvo problemas de injuntos en las Formaciones Yahuarango y Charophytes, debido a la alta presión de poro, y según pronosticamos la presión de poro en el pozo "SAYRI 4A", será un poco mayor al pozo "NINA 3A". Tomando como referencia una profundidad de 3700 metros el cual representa una profundidad del ROP promedio que se obtuvo en la Formación Charophytes.

con este ROP de 2 mts/hr perforamos en "NINA", lo cual nos confirma aplicando la ecuacion.

	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
NINA 3X	4	3700	5.19227E-05	14	15.1	2
SAYRI 4A (CONVENCIONAL)	4	3700	5.19227E-05	14	15.8	1.3

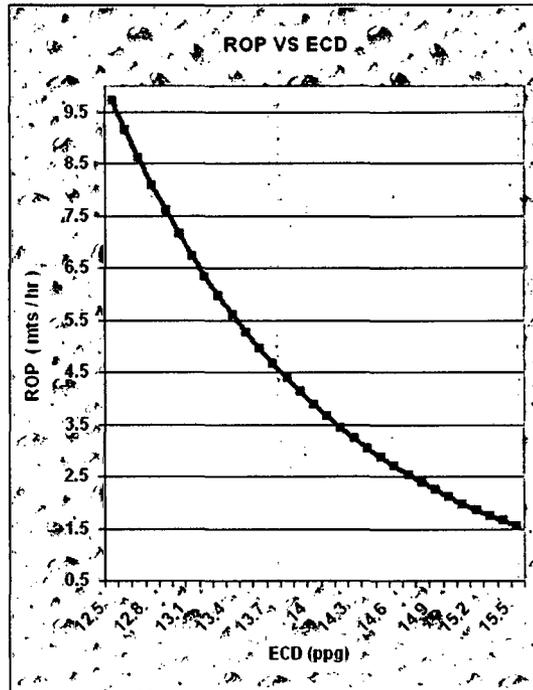
Si nosotros perforariamos de modo convencional, lo hariamos con un ECD de 15.8 ppg, estimando un ROP de 1.3 mts/hr (perforacion convencional)

Aquí presento los cálculos del ROP que representara perforando la Formación Yahuarango en el pozo SAYRI lo cual empleamos la ecuación de Garnier, Maurer y Cunningham. Donde el ROP que obtendremos en Yahuarango a la profundidad de 3600 mts será de 5 mts/hr utilizando la técnica del MPD como muestra en el grafico.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
UNDERBALANCE	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	12,5	9,7
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	12,6	9,2
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	12,7	8,6
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	12,8	8,1
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	12,9	7,6
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	13	7,2
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	13,1	6,7
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	13,2	6,3
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	13,3	6,0
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	13,4	5,6
NEARBALANCE (MPD)	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	13,5	5,3
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	13,6	5,0
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	13,7	4,7
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	13,8	4,4
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	13,9	4,1
OVERBALANCE	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	14	3,9
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	14,1	3,6
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	14,2	3,4
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	14,3	3,2
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	14,4	3,0
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	14,5	2,9
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	14,6	2,7
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	14,7	2,5
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	14,8	2,4
	1.3	3600	5,19227E-05	15,8	14,9	2,2
1.3	3600	5,19227E-05	15,8	15	2,1	

Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 13.6 ppg, lo que me generaria un ROP de 5.0 ft/hr

El siguiente grafico que se muestra representa como varia el ROP respecto al ECD, son los datos que estamos simulando del grafico anterior. Donde confirma la teoría de Garnier, Maurer y Cunningham, que a menor ECD mayor ROP, el ECD optimo que se tomará será el que se acerque a la presión de poro, el cual es el valor de 13,6 ppg que representa la máxima presión de poro en la Formación Yahuarango.



La siguiente tabla que se muestra, representa una sensibilidad de las profundidades tomando como base la profundidad de 3600 metros, por si la formación se encontrase a una desfase de -300, -250, -200, -150, -100, -50, 0, +50, -100, +150, +200, +250, +300 metros de profundidad.

TABLA DE SENSIBILIDAD PARA LA PRIMERA SECCION		
DESFASE	ECD (ppg)	ROP (mts / hr)
300	13.6	5.5
250	13.6	5.4
200	13.6	5.3
150	13.6	5.2
100	13.6	5.1
50	13.6	5.1
0	13.6	5
-50	13.6	4.9
-100	13.6	4.8
-150	13.6	4.7
-200	13.6	4.6
-250	13.6	4.5
-300	13.6	4.4

Veamos de donde salen los datos de ROP mostrados en el tabla anterior, lo cual obtuvimos a partir de cambiar la profundidad a las diferentes desfase, como se muestran en las tablas siguientes. En cada uno de los cálculos mostrados se ha empleado la ecuación de Garnier, Maurer y Cunningham, lo cual es recomendado por el paper del SPE-124545 llamado **“Managed Pressure Drilling Applications Proves Successful in the Middle East and North Africa Region”**.

Tomando como profundidad base 3 600 metros (Formación Yahuarango), para un desfase de -300 metros, es decir a una profundidad de 3 300 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 13,6 ppg debido a que la presión de poro es 13,6 ppg , obtendremos un ROP de 4,4 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
UNDERBALANCE	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	12,5	8,2
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	12,6	7,8
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	12,7	7,3
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	12,8	6,9
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	12,9	6,6
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	13	6,2
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	13,1	5,9
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	13,2	5,5
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	13,3	5,2
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	13,4	5,0
NEARBALANCE (MPD)	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	13,5	4,7
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	13,6	4,4
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	13,7	4,2
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	13,8	4,0
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	13,9	3,7
OVERBALANCE	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	14	3,5
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	14,1	3,3
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	14,2	3,2
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	14,3	3,0
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	14,4	2,8
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	14,5	2,7
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	14,6	2,5
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	14,7	2,4
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	14,8	2,3
	1,3	3300	5,19227E-05	15,8	14,9	2,1
1,3	3300	5,19227E-05	15,8	15	2,0	

Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 13.6 ppg, lo que me generaria un ROP de 4.4 ft/hr

Tomando como profundidad base 3 600 metros (Formación Yahuarango), para un desfase de -250 metros, es decir a una profundidad de 3 350 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 13,6 ppg debido a que la presión de poro es 13,6 ppg , obtendremos un ROP de 4,5 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
UNDERBALANCE	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	12,5	8,5
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	12,6	8,0
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	12,7	7,5
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	12,8	7,1
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	12,9	6,7
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	13	6,4
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	13,1	6,0
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	13,2	5,7
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	13,3	5,4
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	13,4	5,1
NEARBALANCE (MPD)	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	13,5	4,8
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	13,6	4,5
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	13,7	4,3
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	13,8	4,0
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	13,9	3,8
OVERBALANCE	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	14	3,6
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	14,1	3,4
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	14,2	3,2
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	14,3	3,0
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	14,4	2,9
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	14,5	2,7
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	14,6	2,6
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	14,7	2,4
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	14,8	2,3
	1,3	3350	5,19227E-05	15,8	14,9	2,2
1,3	3350	5,19227E-05	15,8	15	2,0	

Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 13.6 ppg, lo que me generaria un ROP de 4.5 ft/hr

Tomando como profundidad base 3 600 metros (Formación Yahuarango), para un desfase de -200 metros, es decir a una profundidad de 3 400 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 13,6 ppg debido a que la presión de poro es 13,6 ppg , obtendremos un ROP de 4,6 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
UNDERBALANCE	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	12,5	8,7
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	12,6	8,2
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	12,7	7,7
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	12,8	7,3
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	12,9	6,9
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	13	6,5
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	13,1	6,1
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	13,2	5,8
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	13,3	5,5
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	13,4	5,2
NEARBALANCE (MPD)	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	13,5	4,9
	1,3	3408	5,19227E-05	15,8	13,6	4,6
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	13,7	4,3
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	13,8	4,1
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	13,9	3,9
OVERBALANCE	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	14	3,6
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	14,1	3,4
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	14,2	3,2
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	14,3	3,1
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	14,4	2,9
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	14,5	2,7
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	14,6	2,6
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	14,7	2,4
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	14,8	2,3
	1,3	3400	5,19227E-05	15,8	14,9	2,2
1,3	3400	5,19227E-05	15,8	15	2,0	

Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 13.6 ppg, lo que me generaria un ROP de 4.6 ft/hr

Tomando como profundidad base 3 600 metros (Formación Yahuarango), para un desfase de -150 metros, es decir a una profundidad de 3 450 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 13,6 ppg debido a que la presión de poro es 13,6 ppg , obtendremos un ROP de 4,7 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
UNDERBALANCE	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	12,5	8,9
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	12,6	8,4
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	12,7	8,0
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	12,8	7,5
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	12,9	7,1
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	13	6,7
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	13,1	6,3
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	13,2	5,9
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	13,3	5,6
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	13,4	5,3
NEARBALANCE (MPD)	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	13,5	5,0
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	13,6	4,7
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	13,7	4,4
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	13,8	4,2
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	13,9	3,9
OVERBALANCE	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	14	3,7
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	14,1	3,5
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	14,2	3,3
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	14,3	3,1
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	14,4	2,9
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	14,5	2,8
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	14,6	2,6
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	14,7	2,5
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	14,8	2,3
	1,3	3450	5,19227E-05	15,8	14,9	2,2
1,3	3450	5,19227E-05	15,8	15	2,1	

Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 13.6 ppg, lo que me generaria un ROP de 4.7 ft/hr

Tomando como profundidad base 3 600 metros (Formación Yahuarango), para un desfase de -100 metros, es decir a una profundidad de 3 500 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 13,6 ppg debido a que la presión de poro es 13,6 ppg , obtendremos un ROP de 4,8 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	12,5	9,2
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	12,6	8,7
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	12,7	8,2
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	12,8	7,7
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	12,9	7,2
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	13	6,8
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	13,1	6,4
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	13,2	6,1
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	13,3	5,7
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	13,4	5,4
NEARBALANCE (MPD)	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	13,6	4,8
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	13,7	4,5
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	13,8	4,2
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	13,9	4,0
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	14	3,8
OVERBALANCE	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	14,1	3,5
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	14,2	3,3
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	14,3	3,1
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	14,4	3,0
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	14,5	2,8
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	14,6	2,6
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	14,7	2,5
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	14,8	2,3
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	14,9	2,2
	1.3	3500	5,19227E-05	15,8	15	2,1

Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 13.6 ppg, lo que me generaria un ROP de 4.8 ft/hr

Tomando como profundidad base 3 600 metros (Formación Yahuarango), para un desfase de -50 metros, es decir a una profundidad de 3 550 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 13,6 ppg debido a que la presión de poro es 13,6 ppg , obtendremos un ROP de 4,9 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	12,5	9,5
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	12,6	8,9
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	12,7	8,4
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	12,8	7,9
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	12,9	7,4
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	13	7,0
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	13,1	6,6
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	13,2	6,2
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	13,3	5,8
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	13,4	5,5
NEARBALANCE (MPD)	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	13,5	5,2
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	13,6	4,9
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	13,7	4,6
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	13,8	4,3
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	13,9	4,1
OVERBALANCE	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	14	3,8
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	14,1	3,6
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	14,2	3,4
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	14,3	3,2
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	14,4	3,0
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	14,5	2,8
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	14,6	2,7
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	14,7	2,5
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	14,8	2,4
	1.3	3550	5,19227E-05	15,8	14,9	2,2
1.3	3550	5,19227E-05	15,8	15	2,1	

Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 13.6 ppg, lo que me generaria un ROP de 4.9 ft/hr

Tomando como profundidad base 3 600 metros (Formación Yahuarango), para un desfase de +50 metros, es decir a una profundidad de 3 650 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 13,6 ppg debido a que la presión de poro es 13,6 ppg , obtendremos un ROP de 5,1 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
UNDERBALANCE	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	12,5	10,0
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	12,6	9,4
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	12,7	8,8
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	12,8	8,3
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	12,9	7,8
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	13	7,3
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	13,1	6,9
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	13,2	6,5
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	13,3	6,1
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	13,4	5,7
NEARBALANCE (MPD)	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	13,5	5,4
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	13,6	5,1
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	13,7	4,7
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	13,8	4,5
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	13,9	4,2
OVERBALANCE	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	14	3,9
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	14,1	3,7
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	14,2	3,5
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	14,3	3,3
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	14,4	3,1
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	14,5	2,9
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	14,6	2,7
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	14,7	2,5
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	14,8	2,4
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	14,9	2,3
	1,3	3650	5,19227E-05	15,8	15	2,1

Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 13.6 ppg, lo que me generaria un ROP de 5.1 ft/hr

Tomando como profundidad base 3 600 metros (Formación Yahuarango), para un desfase de +100 metros, es decir a una profundidad de 3 700 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 13,6 ppg debido a que la presión de poro es 13,6 ppg , obtendremos un ROP de 5,1 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
UNDERBALANCE	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	12,5	10,3
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	12,6	9,7
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	12,7	9,1
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	12,8	8,5
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	12,9	8,0
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	13	7,5
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	13,1	7,1
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	13,2	6,6
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	13,3	6,2
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	13,4	5,8
NEARBALANCE (MPD)	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	13,5	5,5
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	13,6	5,1
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	13,7	4,8
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	13,8	4,5
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	13,9	4,3
OVERBALANCE	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	14	4,0
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	14,1	3,8
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	14,2	3,5
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	14,3	3,3
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	14,4	3,1
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	14,5	2,9
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	14,6	2,7
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	14,7	2,6
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	14,8	2,4
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	14,9	2,3
	1,3	3700	5,19227E-05	15,8	15	2,1

Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 13.6 ppg, lo que me generaria un ROP de 5.1 ft/hr

Tomando como profundidad base 3 600 metros (Formación Yahuarango), para un desfase de +150 metros, es decir a una profundidad de 3 750 metros con la técnica del MPD a un óptimo ECD de 13,6 ppg debido a que la presión de poro es 13,6 ppg , obtendremos un ROP de 5,2 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
UNDERBALANCE	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	12,5	10,6
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	12,6	9,9
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	12,7	9,3
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	12,8	8,7
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	12,9	8,2
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	13	7,7
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	13,1	7,2
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	13,2	6,8
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	13,3	6,4
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	13,4	6,0
NEARBALANCE (MPD)	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	13,5	5,6
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	13,6	5,2
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	13,7	4,9
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	13,8	4,6
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	13,9	4,3
OVERBALANCE	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	14	4,1
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	14,1	3,8
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	14,2	3,6
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	14,3	3,4
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	14,4	3,1
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	14,5	3,0
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	14,6	2,8
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	14,7	2,6
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	14,8	2,4
	1,3	3750	5,19227E-05	15,8	14,9	2,3
1,3	3750	5,19227E-05	15,8	15	2,1	

Tomando como profundidad base 3 600 metros (Formación Yahuarango), para un desfase de +200 metros, es decir a una profundidad de 3 800 metros con la técnica del MPD a un óptimo ECD de 13,6 ppg debido a que la presión de poro es 13,6 ppg , obtendremos un ROP de 5,3 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
UNDERBALANCE	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	12,5	10,9
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	12,6	10,2
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	12,7	9,6
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	12,8	9,0
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	12,9	8,4
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	13	7,9
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	13,1	7,4
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	13,2	6,9
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	13,3	6,5
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	13,4	6,1
NEARBALANCE (MPD)	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	13,5	5,7
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	13,6	5,3
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	13,7	5,0
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	13,8	4,7
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	13,9	4,4
OVERBALANCE	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	14	4,1
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	14,1	3,9
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	14,2	3,6
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	14,3	3,4
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	14,4	3,2
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	14,5	3,0
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	14,6	2,8
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	14,7	2,6
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	14,8	2,5
	1,3	3800	5,19227E-05	15,8	14,9	2,3
1,3	3800	5,19227E-05	15,8	15	2,2	

Tomando como profundidad base 3 600 metros (Formación Yahuarango), para un desfase de +250 metros, es decir a una profundidad de 3 850 metros con la técnica del MPD a un óptimo ECD de 13,6 ppg debido a que la presión de poro es 13,6 ppg , obtendremos un ROP de 5,4 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	12,5	11,2
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	12,6	10,5
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	12,7	9,8
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	12,8	9,2
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	12,9	8,6
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	13	8,1
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	13,1	7,6
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	13,2	7,1
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	13,3	6,6
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	13,4	6,2
NEARBALANCE (MPD)	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	13,6	5,4
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	13,7	5,1
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	13,8	4,8
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	13,9	4,5
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	14	4,2
OVERBALANCE	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	14,1	3,9
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	14,2	3,7
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	14,3	3,4
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	14,4	3,2
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	14,5	3,0
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	14,6	2,8
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	14,7	2,6
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	14,8	2,5
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	14,9	2,3
	1,3	3850	5,19227E-05	15,8	15	2,2

Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 13.6 ppg, lo que me generaria un ROP de 5.4 ft/hr

Tomando como profundidad base 3 600 metros (Formación Yahuarango), para un desfase de +300 metros, es decir a una profundidad de 3 800 metros con la técnica del MPD a un óptimo ECD de 13,6 ppg debido a que la presión de poro es 13,6 ppg , obtendremos un ROP de 5,5 mts/hr.

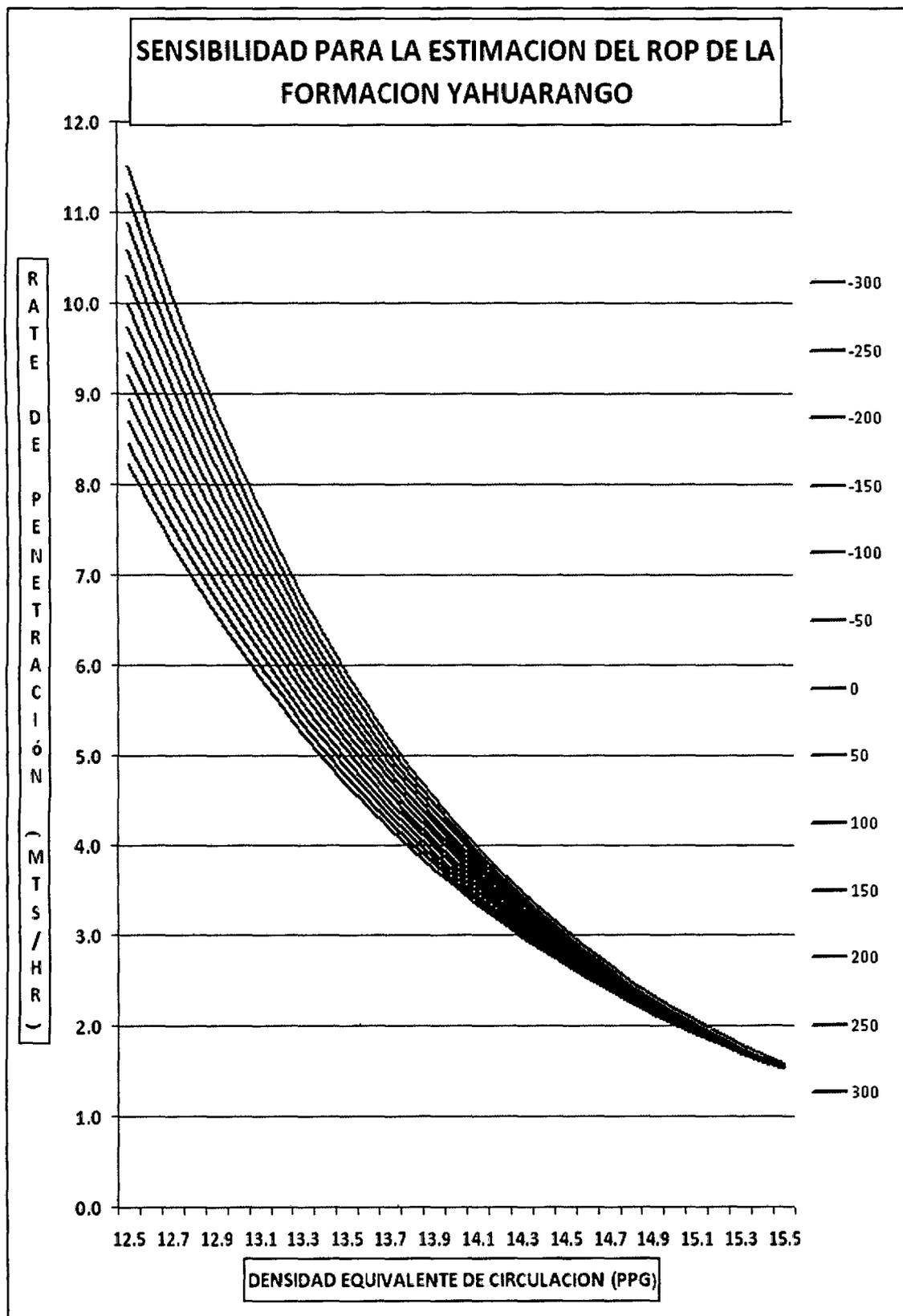
ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION YAHUARANGO (PRESION DE PORO MAX = 13.6 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	12,5	11,5
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	12,6	10,8
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	12,7	10,1
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	12,8	9,4
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	12,9	8,8
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	13	8,3
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	13,1	7,7
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	13,2	7,2
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	13,3	6,8
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	13,4	6,3
NEARBALANCE (MPD)	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	13,5	5,9
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	13,6	5,5
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	13,7	5,2
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	13,8	4,9
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	13,9	4,5
OVERBALANCE	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	14	4,3
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	14,1	4,0
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	14,2	3,7
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	14,3	3,5
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	14,4	3,3
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	14,5	3,1
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	14,6	2,9
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	14,7	2,7
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	14,8	2,5
	1,3	3900	5,19227E-05	15,8	14,9	2,3
1,3	3900	5,19227E-05	15,8	15	2,2	

Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 13.6 ppg, lo que me generaria un ROP de 5.5 ft/hr

La siguiente tabla es un resumen de las desfase a las diferentes profundidades, tomando como profundidad base 3 600 metros para estimar el ROP en la Formación Yahuarango como vemos el ROP varia en un ± 0.5 mts/hr respecto al ROP de 5 mts/hr a la profundidad de 3 600 metros.

TABLA DE SENSIBILIDAD PARA LA ESTIMACION DEL ROP DE LA FORMACION YAHUARANGO															
ROP (MTSIHR)	TÉCNICA DE PERFORACION	DESFASE DE PROFUNDIDAD (mts)													
			-300	-250	-200	-150	-100	-50	0	50	100	150	200	250	300
RO P (M T S I H R) N O E S T I M A D O	UNDER BALANCE	12.5	8.2	8.5	8.7	8.9	9.2	9.5	9.7	10.0	10.3	10.6	10.9	11.2	11.5
		12.6	7.8	8.0	8.2	8.4	8.7	8.9	9.2	9.4	9.7	9.9	10.2	10.5	10.8
		12.7	7.3	7.5	7.7	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1
		12.8	6.9	7.1	7.3	7.5	7.7	7.9	8.1	8.3	8.5	8.7	9.0	9.2	9.4
		12.9	6.6	6.7	6.9	7.1	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8
		13	6.2	6.4	6.5	6.7	6.8	7.0	7.2	7.3	7.5	7.7	7.9	8.1	8.3
		13.1	5.9	6.0	6.1	6.3	6.4	6.6	6.7	6.9	7.1	7.2	7.4	7.6	7.7
		13.2	5.5	5.7	5.8	5.9	6.1	6.2	6.3	6.5	6.6	6.8	6.9	7.1	7.2
		13.3	5.2	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	6.0	6.1	6.2	6.4	6.5	6.6	6.8
		13.4	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	6.0	6.1	6.2	6.3
	13.5	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	
	13.6	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	
	13.7	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	
	13.8	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	
	13.9	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	
	14	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2	4.3	
	14.1	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0	
	14.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	
	14.3	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	
	14.4	2.8	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	
	14.5	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	
	14.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	
	14.7	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	
	14.8	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	
	14.9	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
15	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2		
15.1	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0		
15.2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9		
15.3	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8		
15.4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7		
15.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6		

El siguiente grafico muestra el resumen de la sensibilidad a diferentes profundidades, el comportamiento de estas curvas son similares a los estudios hechos por Garnier, Maurer y Cunningham, lo cual muestra que a menor sea el ECD mayor será el ROP, tomando un ECD óptimo de 13,6 ppg, lo cual viene ser la máxima presión de poro en la Formación Yahuarango.



9.4. ANÁLISIS DEL ROP A LA FORMACIÓN CHAROPHYTES

Los datos que se muestran de los pozos "ASIRI 2A" y "NINA 3A" son

	POZOS	DEHISIDAD (ppg)	ECD (ppg)	ROP (mts/hr)	ESPESOR (mts)	DIAS PERFORADOS
DATO	ASIRI 2A	13,2	14	4	1000	25
	NINA 3A	14,3	15,1	2	1160	60

tomados como referencia, porque tiene las formaciones Yahuarango y Charophytes.

Tomando recomendación del paper SPE-124545 "Managed Pressure Drilling Applications Proves Successful in the Middle East and North Africa Region" para estimar el ROP a partir del ECD.

Para poder estimar mi ROP en las formaciones analizadas yahuarango y Charophytes, hacemos uso de la siguiente ecuacion $ROP2 = ROP1 * EXP [C * D (ECD1 - ECD2)]$, que esta publicado en el CAPITULO 5 : ROTARY DRILLING BITS (pag 226), LIBRO: APPLIED DRILLING ENGINEERING.

En el pozo "NINA 3A" se tuvo problemas de influjos en las Formaciones Yahuarango y Charophytes, debido a la alta presión de poro, y según pronosticamos la presión de poro en el pozo "SAYRI 4A", será un poco mayor al pozo "NINA 3A". Tomando como referencia una profundidad de 3700 metros el cual representa una profundidad del ROP promedio que se obtuvo en la Formación Charophytes.

con este ROP de 2 mts/hr perforamos en "NINA", lo cual nos confirma aplicando la ecuacion.

	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
NINA 3X	4	3700	5.19227E-05	14	15.1	2
SAYRI 4A (CONVENCIONAL)	4	3700	5.19227E-05	14	15.8	1.3

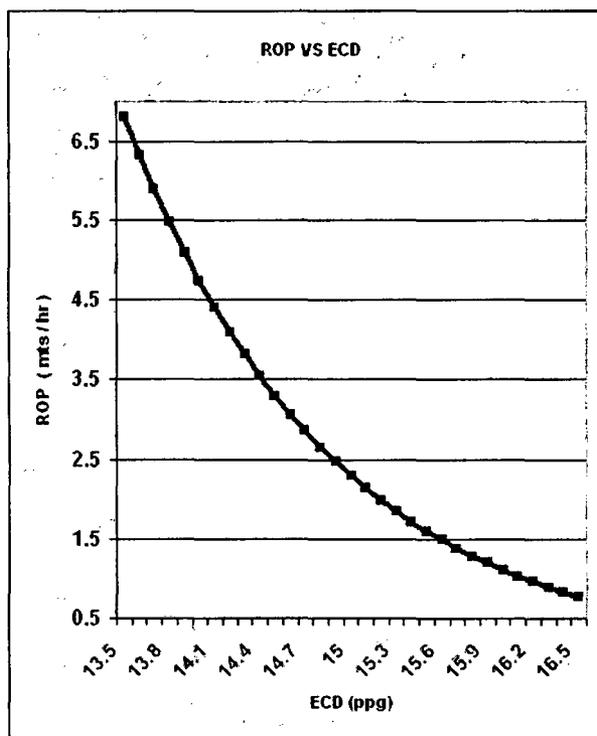
Si nosotros perforaríamos de modo convencional, lo haríamos con un ECD de 15.8 ppg, estimando un ROP de 1.3 mts/hr (perforacion convencional)

Aquí presento los cálculos del ROP para la Formación Charophytes en el pozo "SAYRI 4A" empleando la ecuación de Garnier, Maurer y Cunningham. Donde el ROP que obtendremos en Charophytes a la profundidad de 4250 mts será de 3.3 mts/hr utilizando la técnica del MPD como muestra en la siguiente tabla.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
UNDERBALANCE	1,3		5.19227E-05	15,8	13,5	6,8
	1,3		5.19227E-05	15,8	13,6	6,3
	1,3		5.19227E-05	15,8	13,7	5,9
	1,3		5.19227E-05	15,8	13,8	5,5
	1,3		5.19227E-05	15,8	13,9	5,1
	1,3		5.19227E-05	15,8	14	4,7
	1,3		5.19227E-05	15,8	14,1	4,4
	1,3		5.19227E-05	15,8	14,2	4,1
	1,3		5.19227E-05	15,8	14,3	3,8
	1,3		5.19227E-05	15,8	14,4	3,5
NEARBALANCE (MPD)	1,3		5.19227E-05	15,8	14,5	3,3
	1,3		5.19227E-05	15,8	14,6	3,1
	1,3		5.19227E-05	15,8	14,7	2,9
	1,3		5.19227E-05	15,8	14,8	2,7
	1,3		5.19227E-05	15,8	14,9	2,5
	1,3		5.19227E-05	15,8	15	2,3
OVERBALANCE	1,3		5.19227E-05	15,8	15,1	2,1
	1,3		5.19227E-05	15,8	15,2	2,0
	1,3		5.19227E-05	15,8	15,3	1,8
	1,3		5.19227E-05	15,8	15,4	1,7
	1,3		5.19227E-05	15,8	15,5	1,6
	1,3		5.19227E-05	15,8	15,6	1,5
	1,3		5.19227E-05	15,8	15,7	1,4
	1,3		5.19227E-05	15,8	15,8	1,3
	1,3		5.19227E-05	15,8	15,9	1,2
	1,3		5.19227E-05	15,8	16	1,1

Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 14.5 ppg, lo que me generaria un ROP de 3.3 ft/hr

El siguiente gráfico que se muestra representa como varía el ROP respecto al ECD, son los datos que estamos simulando del gráfico anterior. Donde confirma la teoría de Garnier, Maurer y Cunningham, que a menor ECD mayor ROP, el ECD óptimo que se tomará será el que se acerque a la presión de poro, el cual es el valor de 14,5 ppg que representa la máxima presión de poro en la Formación Charophytes.



La siguiente tabla que se muestra, representa una sensibilidad de las profundidades tomando como base la profundidad de 3600 metros, por si la formación se encontrase a una desfase de -300, -250, -200, -150, -100, -50, 0, +50, -100, +150, +200, +250, +300 metros de profundidad.

TABLA DE SENSIBILIDAD PARA LA PRIMERA SECCION		
DESFASE	ECD (ppg)	ROP (mts / hr)
300	14.5	3.5
250	14.5	3.5
200	14.5	3.4
150	14.5	3.4
100	14.5	3.4
50	14.5	3.3
0	14.5	3.3
-50	14.5	3.3
-100	14.5	3.2
-150	14.5	3.2
-200	14.5	3.2
-250	14.5	3.1
-300	14.5	3.1

Veamos de donde salen los datos de ROP mostrados en el tabla anterior, lo cual obtuvimos a partir de cambiar la profundidad a las diferentes desfase, como se muestran en las tablas siguientes. En cada uno de los cálculos mostrados se ha empleado la ecuación de Garnier, Maurer y Cunningham, lo cual es recomendado por el paper del SPE-124545 llamado "**Managed Pressure Drilling Applications Proves Successful in the Middle East and North Africa Region**".

Tomando como profundidad base 4 250 metros (Formación Charophytes), para un desfase de -300 metros, es decir a una profundidad de 3 950 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 14,5 ppg debido a que la presión de poro es 14,5 ppg , obtendremos un ROP de 3,1 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A							
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)							
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	13,5	6,0	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	13,6	5,7	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	13,7	5,3	
	Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 14.5 ppg, lo que me generaria un ROP de 3.1 ft/hr				15,8	13,8	4,9
					15,8	13,9	4,6
					15,8	14	4,3
					15,8	14,1	4,0
					15,8	14,2	3,8
					15,8	14,3	3,5
					15,8	14,4	3,3
NEARBALANCE (MPD)	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	14,5	3,1	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	14,6	2,9	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	14,7	2,7	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	14,8	2,5	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	14,9	2,4	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	15	2,2	
OVERBALANCE	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	15,1	2,1	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	15,2	1,9	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	15,3	1,8	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	15,4	1,7	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	15,5	1,6	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	15,6	1,5	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	15,7	1,4	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	15,8	1,3	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	15,9	1,2	
	1,3	3950	5,19227E-05	15,8	16	1,1	

Tomando como profundidad base 4 250 metros (Formación Charophytes), para un desfase de -250 metros, es decir a una profundidad de 4 000 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 14,5 ppg debido a que la presión de poro es 14,5 ppg , obtendremos un ROP de 3,1 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A							
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)							
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	13,5	6,2	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	13,6	5,8	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	13,7	5,4	
	Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 14.5 ppg, lo que me generaria un ROP de 3.1 ft/hr				15,8	13,8	5,0
					15,8	13,9	4,7
					15,8	14	4,4
					15,8	14,1	4,1
					15,8	14,2	3,8
					15,8	14,3	3,6
					15,8	14,4	3,3
NEARBALANCE (MPD)	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	14,5	3,1	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	14,6	2,9	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	14,7	2,7	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	14,8	2,5	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	14,9	2,4	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	15	2,2	
OVERBALANCE	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	15,1	2,1	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	15,2	1,9	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	15,3	1,8	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	15,4	1,7	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	15,5	1,6	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	15,6	1,5	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	15,7	1,4	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	15,8	1,3	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	15,9	1,2	
	1,3	4000	5,19227E-05	15,8	16	1,1	

Tomando como profundidad base 4 250 metros (Formación Charophytes), para un desfase de -200 metros, es decir a una profundidad de 4 050 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 14,5 ppg debido a que la presión de poro es 14,5 ppg , obtendremos un ROP de 3,2 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A							
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)							
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	13,5	6,3	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	13,6	5,9	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	13,7	5,5	
	Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 14.5 ppg, lo que me generaria un ROP de 3.2 ft/hr				15,8	13,8	5,1
					15,8	13,9	4,8
					15,8	14	4,5
					15,8	14,1	4,2
					15,8	14,2	3,9
					15,8	14,3	3,6
					15,8	14,4	3,4
NEARBALANCE (MPD)	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	14,5	3,2	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	14,6	2,9	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	14,7	2,7	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	14,8	2,6	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	14,9	2,4	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	15	2,2	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	15,1	2,1	
OVERBALANCE	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	15,2	1,9	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	15,3	1,8	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	15,4	1,7	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	15,5	1,6	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	15,6	1,5	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	15,7	1,4	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	15,8	1,3	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	15,9	1,2	
	1,3	4050	5,19227E-05	15,8	16	1,1	

Tomando como profundidad base 4 250 metros (Formación Charophytes), para un desfase de -150 metros, es decir a una profundidad de 4 000 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 14,5 ppg debido a que la presión de poro es 14,5 ppg , obtendremos un ROP de 3,2 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A							
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)							
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	13,5	6,4	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	13,6	6,0	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	13,7	5,6	
	Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 14.5 ppg, lo que me generaria un ROP de 3.2 ft/hr				15,8	13,8	5,2
					15,8	13,9	4,8
					15,8	14	4,5
					15,8	14,1	4,2
					15,8	14,2	3,9
					15,8	14,3	3,7
					15,8	14,4	3,4
NEARBALANCE (MPD)	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	14,5	3,2	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	14,6	3,0	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	14,7	2,8	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	14,8	2,6	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	14,9	2,4	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	15	2,2	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	15,1	2,1	
OVERBALANCE	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	15,2	2,0	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	15,3	1,8	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	15,4	1,7	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	15,5	1,6	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	15,6	1,5	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	15,7	1,4	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	15,8	1,3	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	15,9	1,2	
	1,3	4100	5,19227E-05	15,8	16	1,1	

Tomando como profundidad base 4 250 metros (Formación Charophytes), para un desfase de -100 metros, es decir a una profundidad de 4 150 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 14,5 ppg debido a que la presión de poro es 14,5 ppg , obtendremos un ROP de 3,2 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
UNDERBALANCE	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	13,5	6,5
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	13,6	6,1
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	13,7	5,7
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	13,8	5,3
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	13,9	4,9
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	14	4,6
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	14,1	4,3
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	14,2	4,0
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	14,3	3,7
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	14,4	3,5
NEARBALANCE (MPD)	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	14,5	3,2
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	14,6	3,0
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	14,7	2,8
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	14,8	2,6
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	14,9	2,4
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	15	2,3
OVERBALANCE	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	15,1	2,1
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	15,2	2,0
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	15,3	1,8
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	15,4	1,7
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	15,5	1,6
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	15,6	1,5
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	15,7	1,4
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	15,8	1,3
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	15,9	1,2
	1,3	4150	5,19227E-05	15,8	16	1,1

Tomando como profundidad base 4 250 metros (Formación Charophytes), para un desfase de -50 metros, es decir a una profundidad de 4 200 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 14,5 ppg debido a que la presión de poro es 14,5 ppg , obtendremos un ROP de 3,3 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A						
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)						
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)
UNDERBALANCE	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	13,5	6,7
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	13,6	6,2
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	13,7	5,8
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	13,8	5,4
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	13,9	5,0
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	14	4,7
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	14,1	4,3
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	14,2	4,0
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	14,3	3,8
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	14,4	3,5
NEARBALANCE (MPD)	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	14,5	3,3
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	14,6	3,0
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	14,7	2,8
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	14,8	2,6
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	14,9	2,4
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	15	2,3
OVERBALANCE	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	15,1	2,1
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	15,2	2,0
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	15,3	1,8
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	15,4	1,7
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	15,5	1,6
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	15,6	1,5
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	15,7	1,4
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	15,8	1,3
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	15,9	1,2
	1,3	4200	5,19227E-05	15,8	16	1,1

Tomando como profundidad base 4 250 metros (Formación Charophytes), para un desfase de +50 metros, es decir a una profundidad de 4 000 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 14,5 ppg debido a que la presión de poro es 14,5 ppg , obtendremos un ROP de 3,3 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A							
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)							
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	13,5	6,9	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	13,6	6,4	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	13,7	6,0	
	Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 14.5 ppg, lo que me generaria un ROP de 3.3 ft/hr				15,8	13,8	5,6
					15,8	13,9	5,2
					15,8	14	4,8
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	14,1	4,5	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	14,2	4,2	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	14,3	3,9	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	14,4	3,6	
NEARBALANCE (MPD)	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	14,5	3,3	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	14,6	3,1	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	14,7	2,9	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	14,8	2,7	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	14,9	2,5	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	15	2,3	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	15,1	2,1	
OVERBALANCE	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	15,2	2,0	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	15,3	1,9	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	15,4	1,7	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	15,5	1,6	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	15,6	1,5	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	15,7	1,4	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	15,8	1,3	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	15,9	1,2	
	1,3	4300	5,19227E-05	15,8	16	1,1	

Tomando como profundidad base 4 250 metros (Formación Charophytes), para un desfase de +100 metros, es decir a una profundidad de 4 000 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 14,5 ppg debido a que la presión de poro es 14,5 ppg , obtendremos un ROP de 3,4 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A							
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)							
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	13,5	7,1	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	13,6	6,6	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	13,7	6,1	
	Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 14.5 ppg, lo que me generaria un ROP de 3.4 ft/hr				15,8	13,8	5,7
					15,8	13,9	5,3
					15,8	14	4,9
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	14,1	4,5	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	14,2	4,2	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	14,3	3,9	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	14,4	3,6	
NEARBALANCE (MPD)	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	14,5	3,4	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	14,6	3,1	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	14,7	2,9	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	14,8	2,7	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	14,9	2,5	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	15	2,3	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	15,1	2,2	
OVERBALANCE	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	15,2	2,0	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	15,3	1,9	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	15,4	1,7	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	15,5	1,6	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	15,6	1,5	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	15,7	1,4	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	15,8	1,3	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	15,9	1,2	
	1,3	4350	5,19227E-05	15,8	16	1,1	

Tomando como profundidad base 4 250 metros (Formación Charophytes), para un desfase de +150 metros, es decir a una profundidad de 4 000 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 14,5 ppg debido a que la presión de poro es 14,5 ppg , obtendremos un ROP de 3,4 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A							
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)							
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	13,5	7,2	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	13,6	6,7	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	13,7	6,2	
	Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 14.5 ppg, lo que me generaria un ROP de 3.4 ft/hr				15,8	13,8	5,8
					15,8	13,9	5,3
					15,8	14	5,0
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	14,1	4,6	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	14,2	4,3	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	14,3	4,0	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	14,4	3,7	
NEARBALANCE (MPD)	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	14,5	3,4	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	14,6	3,2	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	14,7	2,9	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	14,8	2,7	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	14,9	2,5	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	15	2,3	
OVERBALANCE	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	15,1	2,2	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	15,2	2,0	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	15,3	1,9	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	15,4	1,7	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	15,5	1,6	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	15,6	1,5	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	15,7	1,4	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	15,8	1,3	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	15,9	1,2	
	1,3	4400	5,19227E-05	15,8	16	1,1	

Tomando como profundidad base 4 250 metros (Formación Charophytes), para un desfase de +200 metros, es decir a una profundidad de 4 450 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 14,5 ppg debido a que la presión de poro es 14,5 ppg , obtendremos un ROP de 3,4 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A							
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)							
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	13,5	7,4	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	13,6	6,8	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	13,7	6,3	
	Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 14.5 ppg, lo que me generaria un ROP de 3.4 ft/hr				15,8	13,8	5,9
					15,8	13,9	5,4
					15,8	14	5,0
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	14,1	4,7	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	14,2	4,3	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	14,3	4,0	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	14,4	3,7	
NEARBALANCE (MPD)	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	14,5	3,4	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	14,6	3,2	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	14,7	3,0	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	14,8	2,7	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	14,9	2,5	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	15	2,4	
OVERBALANCE	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	15,1	2,2	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	15,2	2,0	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	15,3	1,9	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	15,4	1,7	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	15,5	1,6	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	15,6	1,5	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	15,7	1,4	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	15,8	1,3	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	15,9	1,2	
	1,3	4450	5,19227E-05	15,8	16	1,1	

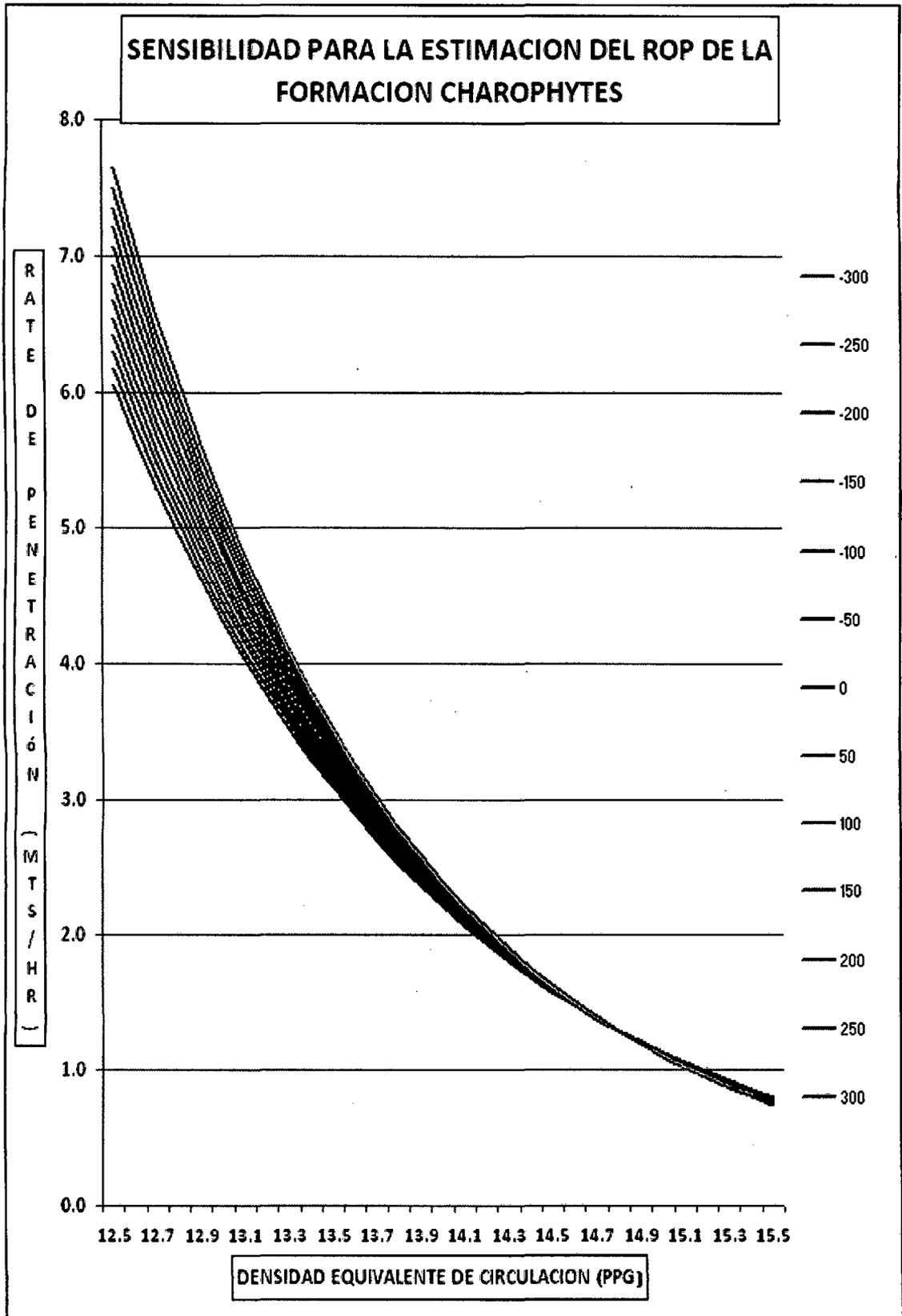
Tomando como profundidad base 4 250 metros (Formación Charophytes), para un desfase de +250 metros, es decir a una profundidad de 4 500 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 14,5 ppg debido a que la presión de poro es 14,5 ppg , obtendremos un ROP de 3,5 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A							
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)							
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	13,5	7,5	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	13,6	6,9	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	13,7	6,4	
	Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 14.5 ppg, lo que me generaria un ROP de 3.5 ft/hr				15,8	13,8	6,0
					15,8	13,9	5,5
					15,8	14	5,1
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	14,1	4,7	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	14,2	4,4	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	14,3	4,1	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	14,4	3,8	
NEARBALANCE (MPD)	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	14,5	3,5	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	14,6	3,2	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	14,7	3,0	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	14,8	2,8	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	14,9	2,6	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	15	2,4	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	15,1	2,2	
OVERBALANCE	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	15,2	2,0	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	15,3	1,9	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	15,4	1,7	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	15,5	1,6	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	15,6	1,5	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	15,7	1,4	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	15,8	1,3	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	15,9	1,2	
	1,3	4500	5,19227E-05	15,8	16	1,1	

Tomando como profundidad base 4 250 metros (Formación Charophytes), para un desfase de +300 metros, es decir a una profundidad de 4 550 metros con la técnica del MPD a un optimo ECD de 14,5 ppg debido a que la presión de poro es 14,5 ppg , obtendremos un ROP de 3,5 mts/hr.

ESTIMANDO EL ROP DEL POZO SAYRI 4A							
FORMACION CHAROPHYTES (PRESION DE PORO MAX = 14.5 PPG)							
TECNICAS DE PERFORACION	ROP 1 (mts/hr)	PROFUNDIDAD (mts)	CONSTANTE	ECD 1 (ppg)	ECD 2 (ppg)	ROP 2 (mts/hr)	
UNDERBALANCE	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	13,5	7,6	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	13,6	7,1	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	13,7	6,5	
	Como nosotros vamos a utilizar la tecnica del MPD, iremos cerca de la presion de poro, es decir con un ECD de 14.5 ppg, lo que me generaria un ROP de 3.5 ft/hr				15,8	13,8	6,1
					15,8	13,9	5,6
					15,8	14	5,2
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	14,1	4,8	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	14,2	4,4	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	14,3	4,1	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	14,4	3,8	
NEARBALANCE (MPD)	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	14,5	3,5	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	14,6	3,3	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	14,7	3,0	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	14,8	2,8	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	14,9	2,6	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	15	2,4	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	15,1	2,2	
OVERBALANCE	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	15,2	2,0	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	15,3	1,9	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	15,4	1,8	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	15,5	1,6	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	15,6	1,5	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	15,7	1,4	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	15,8	1,3	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	15,9	1,2	
	1,3	4550	5,19227E-05	15,8	16	1,1	

El siguiente grafico muestra el resumen de la sensibilidad a diferentes profundidades, el comportamiento de estas curvas son similares a los estudios hechos por Garnier, Maurer y Cunningham, lo cual muestra que a menor sea el ECD mayor será el ROP, tomando un ECD óptimo de 14,5 ppg, lo cual viene ser la máxima presión de poro en la Formación Yahuarango.



9.5 COMPARATIVA DE LOS ROP ESTIMADO Y REAL

- La siguiente tabla muestra los resultados de ROP estimados mediante la ecuación de **Bourgoyne Jr, et al**, que correlaciona el ROP y el ECD, y el ROP real que se obtuvo.

COMPARANDO EL ROP ESTIMADO Y REAL				
POZO	FORMACION	TECNICA	ROP ESTIMADO (mts/hr)	ROP REAL (mts/hr)
SAYRI 4A	YAHUARANGO	MPD	5	4,5
	CHAROPHYTES	MPD	3,3	3,1

- Por medio de la siguiente tabla, se da a conocer el ahorro de tiempo de perforación que se generaría por la aplicación de la tecnología del MPD, en reservorios con alta presión de poro como es Yahuarango y Charophytes (arcillas presurizadas)

RESULTADOS DE LA INVESTIGACION DEL PERFORMANCE DE LA PERFORACION DE LA FASE 12 1/4" X 14 3/4" (LINER 11 3/4")										
POZO	FORMACION	TECNICA	ROP (mts/hr)	LONGITUD (mts)	TIEMPO SIN CONEXIONES (dias)	TIEMPO DE CONEXIONES (dias)	TIEMPO REPASO POR STALL (dias)	TIEMPO DE CIRCULACION (dias)	TIEMPO DE VIAJE (dias)	TIEMPO TOTAL (dias)
SAYRI 4A	YAHUARANGO	MPD	4,5	500	4,6	0,1	0,1	2,5	4	11,3
	YAHUARANGO	CONVENCIONAL	1,3	500	16,0	0,1	0,1	2,5	2,0	20,7
	CHAROPHYTES	MPD	3,1	650	8,7	0,1	0,2	3,4	4,0	16,4
	CHAROPHYTES	CONVENCIONAL	1,3	650	20,8	0,1	0,2	3,4	2,5	27,0

Concluimos que con la técnica del MPD ahorramos 20 días del equipo de perforación, como muestra en la tabla siguiente.

CONCLUSION FASE 12 1/4" X 14 3/4"			
POZO	TECNICA	TIEMPO TOTAL (DIAS)	DIFERENCIA DE DIAS
SAYRI 4A	MPD	27,7	20,0
	CONVENCIONAL	47,7	

- La aplicación de la tecnología del MPD no solo nos permite ahorrar tiempos en la perforación de reservorios con alta presión de poro (como lo demostramos en el enunciado anterior, sino que, además, nos permite ahorrar costos, tal y como lo exponemos en la siguiente tabla.

COMPARACION DE TIEMPOS FASE 12 1/4" X 14 3/4" (LINER 11 3/4")									
POZOS	MAX PRESION PORAL	DENSIDAD (ppg)	ECD (ppg)	ROP (mts/hr)	ESPESOR (mts)	TIEMPO TOTAL (dias)	COSTO (dia)	MPD (dia)	TOTAL MILLONES (DOLARES)
ASIRI 2A	13,8	14	14,5	3	1000	25	150000	0	3,75
NINA 3A	14,3	14,3	15	2	1160	60	150000	0	9,00
SAYRI 4A (CONVENCIONAL)	14,5	15	15,8	1,3	1150	47,7	150000	0	7,15
SAYRI 4A (MPD)	14,5	13,2	13,6 / 14,5	4,4 / 3,1	1150	27,7	150000	30000	4,98

AHORRO = 2,17 MMUS\$

CAPÍTULO X: CONCLUSIONES

1. Podemos concluir que hay muchos factores que afectan el Rate de Penetración (ROP). Algunos de estos factores son: el tipo de broca, condiciones de operación, características de la formación y propiedades de roca, y el fluido de perforación “**densidad**” el cual es determinante en el ECD.
2. Las propiedades del fluido de perforación que afectan el ROP son las propiedades de flujo reológico, características de filtración, contenidos de sólido, composición química, y la “**densidad**”. Un incremento en la densidad del fluido de perforación causa un incremento en la presión de fondo del pozo bajo la broca, de esa manera incrementa la presión diferencial entre la presión del fluido de perforación y la presión del fluido de formación.
3. El Rate de Penetración (ROP) significativamente se incrementa mientras menos positiva es la presión diferencial y se incrementa mas, cuando la presión diferencial es negativa (Underbalance), y con la técnica del Manejo de Presión Controlada (MPD), la presión hidrostática y la presión dinámica normalmente se mantiene cerca a la condición de balance.
4. La aplicación de la tecnología del MPD no solo nos permite ahorrar tiempos en la perforación de reservorios con alta presión de poro que en nuestro claro ejemplo permitio ahorrar 20 dias en equipo de perforacion, lo cual represento represento un ahorro de 2,17 MMU\$\$.
5. Se concluye que la ecuación de **Bourgoyne Jr, et al**, que correlaciona el ROP y el ECD, es un buen estimador de ROP.
6. Se concluye que tendremos mayor ROP (alcanzando una mayor eficiencia de perforación) con la técnica de Manejo de Perforación con Presión controlada, porque se perfora cerca de la presión de poro de la formación, evitando los inlfujos, eliminado los Tiempos No Productivos, y reducir costos operacionales en formaciones altamente presurizadas como es el caso de Yahuarango y Charophytes.
7. Se concluye que la tecnología MPD es la manera en que los perforadores la han adoptado en todo el mundo, ya que tiende a disminuir los TNP, mejora el control del pozo y ayuda a perforar aquellos prospectos difíciles lo que permite acceder a activos que de otra forma no serían recuperables. En resumen, podemos aseverar que MPD es una tecnología que resuelve problemas

CAPÍTULO XI: RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de MPD para las formaciones presurizadas a fin de mejorar (reducir) el tiempo de perforación de dicha fase y optimizar el ROP de dicha formaciones.
2. Se recomienda el uso de MPD para reducir **“Tiempo No Productivo”** y disminución de riesgos de **“surgencia de pozo”**
3. No aplica a pozos someros por el costo que demanda el equipo de MPD.
4. Se recomienda una contra-presión menor a 700 psi por medidas de seguridad.

CAPÍTULO XII: BIBLIOGRAFÍA

M. Arnone, P. Vieira, F. Torres, and H. Qutob, SPE, Weatherford International; S. Babajan, Shell Abu Dhabi (2009). **“Managed Pressure Drilling Applications Proves Successful in the Middle East and North Africa Region”**, SPE-124545, prepared for presentation at the 2009 SPE Offshore Europe Oil & Gas Conference & Exhibition held in Aberdeen. UK, 8-11 September 2009.

M. Arnone and P. Vieira; Weatherford International; **“Drilling Wells With Narrow Operations Windows Applying the MPD Constant Bottom Hole Pressure technology- How Much Temperature and Pressure Affects the Operation Design?”**, SPE/IADC 119882, presented at the 2008 SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition held in Amsterdam, the Netherlands, 17-19 March 2009.

P. Vieira, M. Arnone, B. Russell, I. Cook, K. Moyse and F. Torres; Weatherford International; H. Wu Haojie, C. Yuesheng and C. Qing; Sino Saudi Gas: **“Constant Bottom Hole Pressure – Managed Pressure Drilling Technique Applied in an Exploratory Well in Saudi Arabia”**, SPE/IADC 113679, presented at the 2008 SPE/IADC Managed Pressure Drilling and Underbalanced Operations Conference and Exhibition held in Abu Dhabi, UAE, 28-29 January 2008.

Foster j.k. and Steiner A.: **“The Use of MPD and an Unweighted Fluid System for Drilling ROP Improvement”**, IADC/SPE 108343, presented at the 2007 IADC/SPE Managed Pressure Drilling and Underbalanced Operations Conference and Exhibition held in Galveston, Texas U.S.A, 28-29 march 2007.

Bourgoyne Jr. A, Chenevert M., Millheim K. and Young Jr. F. S.: **“Applied Drilling Engineering”**, SPE Textbook Series, Vol. 2, Chapter 4, 1991.

J. Ramalho, R. Catchpole, A. Houlbrook and A. Lyon; IADC UBO and MPD Operations Committee: **“Underbalanced and Managed pressure Drilling Operations, HSE Planning and Guidelines”**, Rev 1, January 2007.

A. Miller, G. Boyce, L. Moheno, J. Arellano, and J. Murillo, Halliburton Energy Services Inc., and M.A.A. de la Serna, A.U. Lopez, and A.M. Corona, Pemex.: **“Innovative MPD Techniques Improve Drilling Success in Mexico”**, SPE-104030, presented at the 2006 IADC/SPE at the First International Oil Conference and Exhibition in Mexico held in Cancun, Mexico, 31 August-2 September 2006.

International Association of Drilling Contractors (IADC): **“UBO&MPD Glossary”**, April 2006.

Saponja, J., Adeleye, A., Hucik Trials, B, “**Managed Pressure Drilling Field Trials Demonstrate Technology Value**”, SPE 98787, presented at SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition, Miami, USA.

Rommetviet, R., Bjorkeboll, K.S.: “**Temperature and Pressure Effects on Drilling Fluid Rheology and ECD in Very Deep Wells**”, paper SPE/IADC 39282, present at the 1997 SPE/AIDC Middle East Drilling Technology Conference held in Bahrain 23-25 November, 1997.

Hernandez, J., Tellez, C.P., Lupo, C., et al.: “**Successful Application of Automated Choke MPD System to Prevent Salt Water Kicks While Drilling in a High-Pressure Tertiary Salt Diapir with OBM in Southern Mexico**”, paper IADC/SPE 122211, presented at the IADC/SPE Managed Pressure Drilling and Underbalanced Operations Conference and Exhibition held in San Antonio, Texas, 12-13 February, 2009.

Longlian Cui Haige Wang Yuhua Ge, Drilling Research Institute, CNPC, Jingxinyuan Park, A 25, Beiwucum Road, Beijing, P.R. China 10019 “**Detailed Hydraulic Simulation of MPD Operation in Narrow Pressure Windows**” SPE 131846, presented at the CPS/SPE International Oil & Gas Conference and Exhibition in China held in Beijing, China, 8-10 June 2010.

Sagar Nauduri, SPE, TAMU, George H. Medley, SPE, Signa Engineering Corp., Jerome J. Schubert, SPE, TAMU.: “**MPD: Beyond Narrow Pressure Windows**” IADC/SPE 122276, presented at the IADC/SPE Managed Pressure Drilling and Underbalanced Operations Conference and Exhibition held in San Antonio, Texas, 12-13 February 2009.

Medley, George H., Moore, Dennis, and Nauduri, Sgar, 2008: “**Simplifying MPD-Lessons Learned**” SPE/IADC 113689, presented at the 2008 IADC/SPE Managed Pressure Drilling and Underbalanced Operations Conference and Exhibition. Abu Dhabi, UAE, January 28-29, 2008.

Nauduri, Sagar, and medley, George, 2008: “**Managed Pressure Drilling: Chapter Ten-MPD Candidate Selection**”, published by Gulf Publishing Company, pp. 261-284.

Tian, Shifeng, Medley, George H., and Stone, Charles R., 2007: “**Parametric Analysis of MPD Hydraulics**” IADC/SPE 108354, presented at the 2007 IADC/SPE Managed Pressure Drilling and underbalanced Operations conference and Exhibition, Galveston, Texas, March 28-29, 2007.

R. Soto, SPE, J. Malavé, SPE, M. Medina, SPE, and C. Diaz, PDVSA: “**Managed Pressure Drilling (MPD): Planning a solution for Joaquin Field, Venezuela**”

IADC/SPE 99116, presented at the IADC/SPE Drilling Conference held in Miami, Florida, U.S.A., 21-23 February 2006.

Paul Spriggs and Philip J. Frink, Blade Energy Partners: **“MPD Planning: How Much Is Enough?”** **IADC/SPE 113682**, presented at the 2008 SPE/IADC Managed Pressure Drilling and Underbalanced Operations and Exhibition held in Abu Dhabi, UAE, 28-29 January 2008.

John-Morten Godhavn, SPE, StatoilHydro ASA: **“Control Requirements for High-End Automatic MPD Operations”** **IADC/SPE 119442**, presented at the SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition held in Amsterdam, The Netherlands, 17-19 March 2009.

Sagar Nausuri, SPE, and George H. Medley, SPE, Sigana Engineering Corp., and Jerome J. Schubert, SPE, TAMU: **“MPD Candidate Identification: To MPD or Not To MPD”**, **IADC/SPE 100330**, presented SPE/IADC managed Pressure Drilling and Underbalanced Operations Conference and Exhibition held in Kuala Lumpur, Malaysia, 24-25 February 2010.

Dave Elliott, Julio Montilva, Paul Frnacis, Don Reitsma, Jaye Shelton, Vincent Roes (Talisman Energy), (2011). **“Manejo de la Presion durante la Perforacion”**
http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish11/spr11/02_el_manejo.ashx

Artículos de Weatherford International:

<http://www.weatherford.com/ECMWEB/groups/web/documents/weatherfordcorp/WFT065670.pdf>

<http://www.weatherford.com/ECMWEB/groups/web/documents/weatherfordcorp/WFT095778.pdf>

<http://www.weatherford.com/ECMWEB/groups/web/documents/weatherfordcorp/WFT082453.pdf>

Bourgoyne Jr. A, Chenevert M., Millheim K. and Young Jr. F. S.: **“Applied Drilling Engineering”**, SPE Textbook Series, Vol. 2, Chapter 5 **“Rotary Drilling Bits”**, 1991 pp 223-226.

Articulos de Schlumberger:

http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish00/sum00/p2_19.ashx

<http://biblioteca.iapg.org.ar/ArchivosAdjuntos/Petrotecnica/2002-3/Procap.pdf>

Bill Rehm, Jerome Schubert, Arash haghshenas, Amir Saman Paknejad, Jim Hughes **GULF DRILLING SERIES “MANAGED PRESSURE DRILLING”**. Developed under the auspices of the IADC Technical Publication Committee. Gulf publishing company.