

OPTIMA LIMPIEZA Y ESTABILIDAD DEL HOYO EN POZOS DE ALTO ANGULO E HIDRÁULICAS AVANZADAS

**Autores: Wilmerth Figueredo – Franklin Martinez
Halliburton
Venezuela**

RESUMEN

Cuando se perfora pozos de alto ángulo, tenemos que tener en cuenta que su construcción es mucho más complicada que la de los pozos verticales. Por esta razón la fase de planeamiento es la más importante. En esta fase es donde se deben de evaluar todos los factores que intervienen o que pueden afectar este tipo de perforación, entre ellos tenemos: La limpieza o transportación de recortes y la estabilidad del hueco. Estos a su vez pueden ser afectados por diversos parámetros: Caudal de Flujo, Densidad del Fluido, Propiedades Reológicas, Densidad, Tamaño y Forma de los recortes, Velocidad de penetración, Angulo del Pozo, Geometría de Pozo, Excentricidad del Pozo y Rotación de la Tubería. La incidencia de estos factores sobre la Limpieza y Estabilidad del Hueco pueden ser demostrados a través de los simuladores avanzados de Hidráulica. El DFG+, con el modulo de Hidráulica DrillAheadSM, permite simular exactamente las condiciones de fondo del pozo. El resultado es un estimado específico de la cantidad de recortes que hay presentes en el anular, arrojando valores más exactos de ECD (Densidad Equivalente de Circulación).

La información obtenida puede ser utilizada para poder diseñar programas de fluidos de perforación y diseñar mejores prácticas operacionales que maximicen la eficiencia de la perforación. Por ejemplo, el DFG+ puede simular la aplicación de píldoras de Barrido, que brindan una mejor limpieza en pozos de alto ángulo y deducir el ECD real.

La aplicación de mejores prácticas operacionales para pozos desviados, incluyendo la utilización del DFG+, han provocado una disminución de los problemas tales como: pega de tuberías, derrumbes y disminución de tiempo de perforación. Un caso histórico es la perforación de un pozo en Morichal, Venezuela, con longitud mayor de 4700 pies (1433 m) de sección horizontal y en 3D, el cual se perforó sin problemas y en donde se utilizó el DFG para su planificación.

INTRODUCCIÓN

La perforación de pozos de Alto Angulo, ha aumentado considerablemente con el transcurrir de los años. Este tipo de perforación es mucho más costosa y complicada en comparación con la perforación de pozos verticales, es por esta razón que su fase de planeamiento es de vital importancia.

Para la construcción de pozos de Alto Angulo, se deben considerar diversos aspectos al momento de diseñar el programa de perforación, entre los aspectos de mayor importancia tenemos, el fluido de perforación y el diseño hidráulico, los cuales nos van a garantizar, una óptima estabilidad y limpieza del hoyo, y protección del reservorio.

En este trabajo estudiaremos los factores que inciden en la estabilidad y limpieza del hueco, y la ventaja de utilizar simuladores avanzados de hidráulica en el diseño y planificación en pozos de este tipo.

POZOS DE ALTO ANGULO

Al grupo de pozos de alto ángulo pertenecen los siguientes tipos de pozos:

1. Pozos Horizontales
2. Pozos con Alcance Extendido
3. Hoyos cuyos ángulos son mayores a 70°

La construcción de pozos de este tipo es aplicada en los siguientes casos:

1. Yacimientos fracturados de forma natural
2. Formaciones con problemas de conificación de agua o gas
3. Zonas productoras de baja permeabilidad
4. Formaciones irregulares, Ejemplo: Arenas de Canal
5. Yacimientos de poca energía
6. Recuperación mejorada de petróleo
7. Revivir el caudal de producción de pozos viejos
8. Reducir el numero de pozos en los campos nuevos

Por todo lo antes mencionado es que su planificación es muy importante y son mucho mas costosos que los pozos verticales.

Existen dos factores de suma importancia y que deben ser tomados en cuenta al momento de diseñar el programa de fluidos de perforación y el programa hidráulico del pozo, estos son:

1. La Estabilidad del Hoyo
2. La Limpieza del Hoyo

ESTABILIDAD DEL HOYO

Esta viene a ser la base de los programas de fluidos de perforación. La estabilidad del hueco es una consecuencia de las características físicas y químicas de los fluidos de perforación, mas el uso de buenas prácticas de perforación.

La inestabilidad del hoyo, puede ser producida químicamente, mecánicamente o de ambas maneras.

Los hoyos pueden presentar fallas por compresión o tensión. Un hoyo se fractura cuando la presión de este exceden la resistencia a la tensión de las rocas circundantes. Cuando las presiones del hoyo son

muy bajas, puede excederse la resistencia a la compresión de las rocas circundantes y el hoyo colapsa. Es por ello que la densidad del lodo puede ser un factor crítico para controlar la estabilidad del pozo.

Como se muestra en la **Figura 1**, a medida que incrementa el ángulo de desviación del hoyo, mayor será la densidad requerida para estabilizar las presiones de formación.

El ángulo de desviación del pozo puede reducir considerablemente el intervalo de presiones seguras de construcción del pozo. Se debe tener en superficie una densidad que al momento de calcular el ECD, este sea menor que el gradiente de Fractura y mayor que la presión de poro.

Debe notarse que en pozos de alto ángulo existe una convergencia entre el gradiente de fractura y la densidad equivalente de circulación (ECD), con la diferencia que el gradiente de fractura depende de la profundidad vertical verdadera (TVD) y la densidad equivalente de circulación (ECD) depende de la profundidad medida (MD).

La estabilidad mecánica, dependerá de la densidad del lodo que se utilice y la mecánica de las rocas. Velocidades anulares excesivas pueden causar erosión de las formaciones pozo consolidadas. La perforación desbalanceada puede también causar inestabilidad de pozo. Es aquí donde juega un papel muy importante los sistemas avanzados de cálculos hidráulicas, los cuales son capaces de generar valores más reales de ECD.

Químicamente el fluido contribuye o no con la estabilidad del hoyo. La interacción química entre una formación reactiva y el fluido de formación puede también ser la causa de muchos problemas. Los tipos de formaciones que pueden causar problemas son formaciones reactivas y dispersables, tales como lutitas. Las arcillas se debilitan cuando entran en contacto con fluidos pobremente inhibidos.³

La reducción de las propiedades de la roca puede llevar a fallas mecánicas. Una vez que el pozo se ha desestabilizado, volverlo a estabilizar puede ser muy difícil y caro; por lo tanto es siempre recomendable el pre-tratamiento del fluido. Para conservar la competencia de las formaciones o de las rocas, se debe controlar el filtrado, incorporar al sistema iones inhibidores, agentes puenteantes y controlar el régimen de flujo.

Prevención y Cura de problemas de Estabilidad de hoyo

Para que un pozo sea estable durante su perforación, es necesario que este se inicie con valores adecuados de densidad, pérdida de filtrado API/APAT y composición química del fluido apropiada, sin dejar a un lado las propiedades reológicas del fluido.

1. **La densidad del Fluido:** Con el objeto de prevenir el desarrollo y complicación de problemas de inestabilidad de pozo, es importante el uso de densidades elevadas cuando se perfora pozos altamente desviados. La ventana de tiempo para el reconocimiento y control de problemas de inestabilidad es muy limitado. También en algunos casos una densidad excesiva puede originar problemas de inestabilidad. La presión hidrostática ejercida por la columna de fluido de perforación puede causar un incremento en la presión de poro cercana al pozo, que a su vez provocara una falla en la integridad de la formación. Modelos computarizados de cálculos hidráulicos como el DFG con el Modulo Avanzado DrillAhead, nos brindan la oportunidad de analizar los diferentes efectos provocados por la densidad, involucrando estudio de presiones, regimenes de flujo, gradientes de fracturas, etc.

2. **Química del Fluido:** Las propiedades químicas también afectan la estabilidad del hueco. Se debe garantizar la correcta inhibición, en el caso de perforar zonas de lutitas.⁵ Al perforar utilizando sales, es necesario controlar el nivel de salinidad del fluido, pues se puede originar problemas de inestabilidad por deshidratación de las arcillas. Si perforamos zonas de arenas muy poco consolidadas es necesario la incorporación de agentes de ponteo.
3. **Reología:** Utilizar para controlar formaciones pobremente cementadas o formaciones de superficie, viscosidades altas. Es importante tener suficiente reología para la limpieza del pozo cuando se encuentran formaciones no consolidadas, de forma tal que los derrumbes sean removidos del pozo. El pozo debería siempre ser circulado hasta retorno limpio antes de cada viaje.

LIMPIEZA DEL HOYO

La limpieza del pozo y el transporte de los recortes es una de las mayores funciones del fluido de perforación.

La eficiencia de la limpieza del pozo es la habilidad del fluido de perforación para transportar los recortes perforados a la superficie y suspenderlos cuando el fluido está en estado estático.²

La eficiencia de limpieza del hoyo es afectada por diversos factores:

1. Angulo de pozo
2. Galónaje o caudal de Flujo
3. Propiedades Reológicas y Densidad del Fluido
4. Densidad, tamaño y forma de los recortes
5. Velocidad de perforación
6. Excentricidad del pozo

La formación de lechos de recortes puede ocurrir aún cuando las propiedades del lodo y el caudal de flujo han sido optimizados. **Figura 2.**

La formación de lechos de recortes se manifiesta por un excesivo arrastre cuando el ensamblaje de fondo (BHA) se está sacando del pozo. Sin embargo, es posible detectarlo en su etapa de formación monitoreando la relación entre la presión y el caudal de flujo, a diferentes caudales de la bomba y correlacionando el volumen de recortes en la zaranda con la velocidad de perforación. Modelos computarizados de limpieza de pozo pueden ser utilizados para detectar la formación de lechos de recortes.²

Angulo del Pozo

En la medida que aumenta el ángulo de desviación de los pozos, en esa medida aumenta la dificultad de transportación de los recortes.

Para pozos con una desviación de 0 a 20°, generalmente los recortes son suspendidos por las propiedades reológicas del fluido. Angulos de pozo por encima de 20° pueden producir la caída de los recortes, separándolos del canal de flujo y formando lechos de recortes. Angulos de pozo de 40-60° son los más difíciles de limpiar con efectividad. A estos ángulos, los lechos de recortes pueden deslizarse o caer en forma de avalancha hacia la parte baja del pozo, complicando su limpieza y pueden generar problemas como la pega de tubería.

En la **Figura 3**, se muestra como puede ser el comportamiento de los recorte dependiendo del ángulo de desviación del pozo.

Consideraciones generales que debemos tomar en cuenta dependiendo del ángulo de desviación del pozo

Angulos entre 0° - 40°

Flujo laminar con mas altas relaciones PC/VP producen un mejor transporte de ripios. La formación de un lecho de recortes es más pronunciada cuando el ángulo de inclinación del pozo está por encima de 30°.

Angulos entre 40° - 60°

El flujo turbulento o de transición y un fluido de baja reología es el más efectivo para minimizar la formación de lechos de recortes, la remoción de los lechos de recortes y la limpieza de los pozos con alto ángulo. Recuerde que pozos con ángulos de 40-60° son los más difíciles de limpiar. Reologías más bajas (a las correspondientes velocidades de corte) serán requeridas para obtener un número de Reynolds por encima de 2,100 y conseguir la turbulencia. En este caso los recortes y los lechos de recortes serán removidos como si fueran dunas. **Figura 4.**

El flujo turbulento no puede conseguirse en la mayoría de los pozos de 17-1/2” y en algunos pozos de 12-1/4” debido a una variedad de razones, incluyendo limitaciones de equipos de superficie o de fondo, tuberías lavadas (washout), etc.

Angulos entre 60° – 90° (Pozos Horizontales)

Es importante darse cuenta que la sección horizontal no es la más difícil de limpiar. Problemas en la limpieza del pozo ocurren normalmente cuando el ángulo del pozo está entre 40° y 60°, es decir más arriba en el anular en la sección de elevación del ángulo, o cuando se realiza deslizamiento/orientación.¹

Para una mejor limpieza, el flujo turbulento es preferible al flujo laminar. Píldoras viscosas no aumentan y pueden realmente disminuir, los caudales de flujo debajo de la tubería de perforación donde se acumulan los lechos de recortes.

Para limpiar estos recortes se requerirá agitación mecánica, bombeando píldoras de baja viscosidad y rotando la tubería. Las píldoras de baja viscosidad son seguidas por píldoras de alta densidad para ayudar en la “flotación” de los recortes hacia afuera del pozo. Píldoras de barrido son otra técnica que ha sido utilizadas después de las píldoras viscosas. El pozo debe ser circulado hasta que esté limpio de manera regular. **Figura 5.**

Caudal de Flujo

El caudal de bombeo o galónaje es el factor más crítico para una limpieza exitosa, esta incide directamente sobre la velocidad anular del fluido, la cual es un parámetro clave en el transporte de recortes. Como una guía aproximada, la velocidad anular requerida para la limpieza de pozos desviados con 50-60° es aproximadamente el doble de la necesaria para pozos verticales. La velocidad de perforación debe ser controlada de forma tal que no exceda la capacidad de la bomba. Con el objeto de asegurar los máximos caudales, se deben realizar todos los esfuerzos necesarios para reducir los valores de pérdidas de presión y minimizar las limitaciones de presión, tanto en superficie como el fondo del pozo. Esto se logra con una buena optimización de los equipos de superficie (Bombas y Líneas), correctos diseños de BHA, propiedades del lodo optimas, etc.

Propiedades Reológicas y Densidad del Fluido

Las propiedades reológicas juegan un papel significativo en la capacidad de limpiar de un fluido de perforación. La reología debe ser finamente ajustada para maximizar la capacidad de transportación y minimizar las pérdidas de fricción.

Herramientas tales como el reómetro de alta presión y alta temperatura Fann 70, deben ser utilizadas en las etapas de planificación del pozo para medir la reología a condiciones de fondo de pozo.

Existen varios modelos reológicos aplicados a los fluidos de perforación, sin embargo, el mejor y más apropiado modelo para predecir la limpieza del pozo es el de Hershel-Bulkley. La utilización de este modelo permitió conocer el verdadero perfil reológico, el comportamiento del fluido a bajas tasas de corte y el efecto de los polímeros en las propiedades del fluido. Se debe prestar particular atención a los valores de n , K y τ_0 en contraposición a los valores tradicionales del punto cedente (PC). El Programa de Simulación de Hidráulica DFG+ incorpora la posibilidad de evaluar el comportamiento de los fluidos en condiciones estáticas y dinámicas, prediciendo valores reológicos mas exactos.

Cuando se trata de pozos Altamente Desviados u Horizontales, el valor que nos refleja la capacidad de limpieza es el τ_0 , mientras que el punto cedente aplica en pozos verticales.

El τ_0 es: es el esfuerzo de punto cedente del fluido (esfuerzo de corte a velocidad de corte cero) en $\text{lb}/100 \text{ pies}^2$. Se lo puede considerar también como una resistencia del gel en tiempo cero.

Como información adicional, el valor de τ_0 debe ser igual o ligeramente mayor al diámetro del hoyo que se este perforando

En lo que respecta a la densidad del lodo, un aumento en la densidad del fluido va a causar un incremento en la flotabilidad proporcionando una mejora en la limpieza del pozo a cualquier inclinación. En la mayoría de los casos, la selección de la densidad es usualmente predeterminada por la presión de poro, la mecánica de la roca, los esfuerzos tectónicos en el lugar, el gradiente de fractura, y la densidad requerida para estabilizar el pozo y evitar derrumbamientos para un pozo o un ángulo de buzamiento determinados.

Densidad, tamaño y forma de los recortes

La densidad, tamaño y forma de los recortes van a afectar la limpieza del pozo. Cuando los recortes son más pesados, más largos y más redondeados son más difíciles de transportar fuera del pozo. Las condiciones específicas del pozo pueden dictar el tamaño de los cortadores de la barrena.

Velocidad de Perforación

Un aumento en la velocidad de penetración resultará en una mayor concentración de recortes en el anular. A ángulos de pozo por debajo de 40° la velocidad de transporte crítica y los requerimientos de flujo crítico para limpiar aumentan con el aumento de la velocidad de penetración, asumiendo que no hay cambios en la viscosidad efectiva del lodo.

En pozos desviados con ángulo por encima de 40° , una velocidad de flujo sub-crítica y un aumento en la velocidad de perforación van a permitir que el lecho de recortes crezca más, debido a la mayor velocidad de generación de recortes.

Controlar la velocidad instantánea de perforación es mejor que controlar el promedio de pies perforados en una hora. Si se permite la formación de lechos de recortes profundos en pozos desviados, estos serán más difíciles de remover y pueden resultar en el empacamiento y el mayor riesgo de pega de tubería o pérdida de circulación.

Las velocidades factibles de perforación dependerán de la eficiencia de transporte del fluido. Con la utilización de simuladores avanzados como el DFG DrillSAhead, podemos determinar la máxima velocidad de penetración recomendada para un pozo de un diámetro dado, a un cierto ángulo de desviación y caudal de flujo.

Excentricidad del Pozo

El termino Excentricidad se refiere a la posición de la tubería de perforación en un espacio anular.

Cuando el tubo de perforación se encuentra justo en el medio del espacio anular, la posición del tubo de perforación es concéntrica y el factor de excentricidad es 0.

Al moverse el tubo de perforación hacia un lado del espacio anular, el tubo de perforación se vuelve cada vez más excéntrico. Si los costados del tubo de perforación hacen contacto con la pared del espacio anular, el tubo de perforación estará completamente excéntrico y el factor de excentricidad será igual a 1. **Figura 6.**

Con la creación del concepto de excentricidad, aparecieron conceptos nuevos como: Flujo Concéntrico, Flujo Excéntrico, Simulación del patrón de flujo y por ende se pensó en su efectos en la Densidad Equivalente de Circulación “ECD”.

Asociado a excentricidad aparece el tema de la cama de recortes, otro asunto que aparece a medida que se desarrolla la perforación de pozos de Alto Angulo y que día a día cobra vigencia y se evalúa y estudia.

No puede existir un análisis de hidráulica sin tener en cuenta la altura de la cama de los recortes, sin tener en cuenta las restricciones que se generan en el pozo por la acumulación de recortes y por la existencias de zonas donde, independientemente de reología o caudal de bombeo, jamás será posible llevar fluido a esos lugares.⁴ **Figura 7.**

La velocidad de formación del lecho de recortes es mayor cuando la tubería en el pozo tiene excentricidad positiva.

Carga de Recortes en el Anular

Esta no es mas que el porcentaje de ripios que queda en el espacio anular sin que representen un peligro y pongan en riesgo la vida del pozo por una deficiente limpieza del hueco. Este valor esta basado en velocidades de penetración, capacidad de arrastre del lodo, velocidades de ascenso y descenso de las partículas, tamaño, forma y densidad de los recortes y de la excentricidad y de la geometría del pozo. La experiencia ha mostrado que un promedio máximo de 3% de recortes, (para todo el pozo) debe permanecer en el anular. Por cada intervalo (sección de diámetro) un máximo de 10% puede ser manejado sin comprometer la limpieza del pozo. La **Figura 8**, muestra las diferentes formas como se depositan los recortes, de acuerdo con el diseño del pozo.⁴

Prevención y Cura de problemas de Limpieza del hoyo

Cuando se perfora pozos de Alto Angulo, no siempre es posible remover en su totalidad la cantidad de recortes generados, es por esos que se deben utilizar métodos de limpieza alternos:

1. **Rotación y Reciprocación de la Tubería:** La rotación de la tubería ayudará al disturbar mecánicamente los lechos de recortes, permitiendo una mejor remoción. Los estudios de campo indican que la rotación de la tubería mientras se perfora mejora la eficiencia de limpieza del pozo aproximadamente en un 25%.
2. **Viajes Cortos y Rimados:** Viajes cortos frecuentes y/o rimado hacia arriba son utilizados para remover los lechos de recortes por agitación mecánica. Esto es muy efectivo cuando se utiliza top drive, debido a que un viaje corto mientras se bombea, mejora la hidráulica y la remoción rotacional de los lechos de recortes. Se debe evitar un excesivo rimado hacia arriba, para prevenir el agrandamiento innecesario del hueco.
3. **Incremento de Hidráulica:** Utilice bombas suplementarias elevadoras de la hidráulica si fuera necesario, especialmente mientras se perforan los pozos de 12-1/4", 8-1/2", o secciones de menor tamaño. Optimizar el caudal de flujo, con el objeto de generar un flujo turbulento, esto en el caso de pozos desviados.
4. **Píldoras de limpieza:** Siempre observe los retornos de las píldoras en la superficie y evalúe su eficiencia. La clave para píldoras exitosas es asegurarse que se bombea lo suficiente, manteniendo la rotación de la tubería y el caudal de la bomba todo el tiempo para evitar el empacamiento del hueco con los recortes. En el caso de pozos desviados utilizar combinación de píldoras de baja reología, seguidas de píldoras pesadas, la primera facilita la agitación de los recortes acumulados y la segunda el empuje o flotabilidad, asegurando su transporte. Las píldoras viscosas son mas eficaces en pozos verticales. Antes de utilizar píldoras pesadas es necesario verificar si el ECD generado esta por debajo del gradiente de fractura, evitando así fracturas y perdidas de circulación. También se pueden utilizar píldoras de Barrido, con material de perdida fibroso, los cuales tienen una superficie de contacto mayor y proporcionan gran flotabilidad.
5. **Circular antes de los Viajes:** El mínimo tiempo de circulación antes de los viajes es influenciado por el diámetro del pozo y la inclinación. Los pozos desviados no estarán completamente limpios de recortes si se circula solamente el volumen anular teórico antes de los viajes.

HIDRAULICA AVANZADA

Los cálculos avanzados de Hidráulica combinan:

1. Geometría del Pozo
2. Angulo y Tamaño del Pozo
3. Modo de perforación: deslizamiento, rotación o mixto
4. Velocidad de penetración durante el deslizamiento y/o rotación
5. Densidades del Fluido en el fondo, basados en perfiles térmicos, bajo condiciones dinámicas y estáticas
6. Velocidad de Bombeo u Caudal de Flujo
7. Velocidad de rotación
8. Intervalos de circulación y estáticos (Perforación, deslizamiento, conexión de tuberías, etc)
9. Reologías de Fondo
10. Tamaño y densidad de los recortes
11. Excentricidad

El módulo de hidráulica avanzada DrillAheadSM permite que el usuario simule los efectos de estos factores combinados sobre la Densidad Equivalente de Circulación (ECD), la limpieza del pozo, la perforación y el deslizamiento, y la eficiencia del barrido.

Al entenderse y predecir el impacto combinado de los parámetros anteriormente mencionados, se puede modificar una o todas estas influencias a fin de obtener las mejores condiciones para una perforación rápida y sin problemas y la limpieza óptima del pozo.

La selección del fluido de perforación es clave para el éxito de cualquier pozo. Las propiedades y las reacciones de cualquier tipo de fluido pueden ser probadas en relación con las condiciones previstas para el pozo, lo cual permite que el ingeniero de fluidos de perforación prepare el fluido en la superficie, de manera que pueda mantener las propiedades deseadas en profundidad.

Esta herramienta de hidráulicas avanzada se puede usar para, planificar, implementar, optimizar, modelar y evaluar prácticas operacionales para la construcción de un pozo.

Carga de Recortes

Es uno de los puntos fuertes del sistema y de mayor importancia. Define ratas de penetración, eficiencia de barrido de píldoras o baches, densidades equivalentes de perforación. Se puede coordinar la relación de deslizamiento a perforación en los pozos desviados para asegurarse de que la limpieza del pozo es adecuada y que los barridos apropiados son ejecutados en el momento oportuno y de la

manera correcta. El programa DFG con el módulo de hidráulica DrillAhead calcula y simula los resultados de un rango de relaciones de deslizamiento a perforación, incluyendo la carga de recortes y el impacto sobre la ECD.

En la **Figura 10** anexa se muestra uno de los reportes generados por el sistema avanzado de Hidráulica DrillAheadSM, el mismo además de mostrar la carga de recortes en el anular, involucra graficas de ECD. Geometría del pozo, desviación, factores de levantamiento, todo en forma grafica de muy fácil lectura.

Baches o Píldoras de Barrido

Este programa nos permite simular los efectos de las píldoras de barrido antes de bombearlas y simular tiempos de circulación.

El objeto es: Reducir la velocidad de caída de los recortes mas levantar/ erosionar la cama de recortes, Minimizar el impacto sobre el ECD y Eliminar mediante una sola pasada por la zarandas

Las variables que se pueden evaluar son: Densidad, Viscosidad, Volumen, Caudal, Velocidad de rotación y Tiempo de circulación.

En la **Figura 11**, se muestra una simulación de una píldora pesada. La línea roja indica el ECD a medida que el barrido circula hacia arriba en el espacio anular. La línea amarilla es el ECD del lodo incluyendo el contenido de ripios y la Azul claro, el ECD del lodo.

Con esta herramienta también se pueden simular fondos arribas, lo que ayuda a verificar la eficiencia de limpieza del fluido y si es o no necesario el bombeo de píldoras.

Reologías a Presión y Temperatura

Cada intervalo durante la perforación de un pozo, debe ser evaluado con su propia reología. El modulo de predicción de reología esta basado en la información obtenida de viscosímetros de alta presión alta temperatura, FANN 70/75, permite predecir con exactitud los valores reológicos de cualquier fluido a cualquier condición de presión y temperatura. **Figura 12.**

Excentricidad

También podemos evaluar la altura de la cama de recortes y áreas de flujos. Con el objeto de determinar las fuerzas necesarias para removerlas. **Figura 13.**

Simulador de Perforación

Finalmente todo esta información esta integrada en un simulador de perforación, que permite definir velocidades de penetración óptimas. Siempre basados en las condiciones de presión de fractura, potencia de la bomba, limites de presión de stand pipe y por supuesto acumulación de recortes. En resumen: “Define condiciones de trabajo, para los equipos de superficie disponibles y las condiciones de fondo de pozo”. **Figura 14.**

Casos Históricos

1. La perforación de un pozo en Morichal, Venezuela, con longitud mayor de 4700 pies (1433 m) de sección horizontal y en 3D, el cual se perforo sin problemas y en el cual se utilizo el DFG para su planificación y control. Con la utilización del DFG+ se redujo el tiempo de perforación en 5 días.
2. El DFG con el modulo DrillAhead se utilizo también en el diseño del programa de perforación para un pozo en OVERBALANCE en el Area Norte de Monagas, Venezuela. Con este se verifico y diseño el programa hidráulico, BHA, densidades, pues se iba perforar un intervalo con diferencial de 3000 psi, con rata controlada y caudal mínimo. Se logro perforar 560 pies (171 m) a una rata de 13 pph (4 mph). Al utilizar esta herramienta en conjunto con otras tecnologías, se redujo el costo en un 36% por concepto de lodo.
3. También se esta utilizando en la Plataforma Deltaza, en un pozo Exploratorio de Statoil.

CONCLUSIONES

La perforación de pozos de Alto Angulo, en la actualidad es de mucha importancia para la industria petrolera. Como se mencionó en este trabajo su construcción debe ser diseñada con mucho cuidado y especial atención. Se estudiaron los factores de mayor importancia que afecta su construcción, como lo son la Estabilidad del Hoyo y su Limpieza.

La estabilidad del hoyo y la limpieza son los que definen el éxito de la perforación de pozos desviados, en este trabajo se analizaron diversos aspectos que de alguna manera contribuyen a la optimización de estos factores de riesgo, reduciéndolos al mínimo. Al suministrar mas estabilidad al hoyo y una mejor limpieza, se reduce el riesgo de pegas de tubería y perdidas de circulación.

Se demostró que el diseño hidráulico, afecta directamente la perforación de este tipo de pozos, por lo que fue necesario mejorarlos y adaptarlos a las necesidades de la perforación actual. Es allí donde surge el DFG con el Modulo de Hidraulica Avanzada DrillAheadSM, con el que no dejando ningún parámetro de perforación al azar se puede simular condiciones reales de pozo. La exactitud de los cálculos de arrojados por el DrillAheadSM, ha sido comprobada por las lecturas del PWD, creando un nuevo entendimiento de los conceptos de limpieza de pozo.

Todo lo antes expuesto trae asociado un significativo ahorro de tiempo y costos de las operaciones, haciendo que la perforación sea mas segura y mas productiva.

CONTRIBUCIONES TÉCNICAS

1. Aplicación de nuevas tecnologías en el área de simuladores avanzados de Hidráulica.
2. Crea un nuevo entendimiento de los conceptos de limpieza y estabilidad de hoyo.
3. Ayuda con el diseño de los programas de perforación, comprobando y ajustando parámetros de perforación.
4. Brinda soluciones en tiempo real, pues se puede ir evaluando e ir simulando situaciones antes de que ocurran.

CONTRIBUCIONES ECONOMICAS

1. Reducción del Costo global del pozo en función del tiempo
2. Bajo costos en lo que respecta al fluido de perforación, ya que se reduce el riesgo de pérdidas de circulación.
3. Al garantizar una buena limpieza y estabilidad del hoyo, hay menos daños en el pozo, lo que se garantiza una mayor producción, y mayor ganancia de dinero.

BIBLIOGRAFÍA

1. Well BlueprintTM Drilling Condition. Horizontal Drilling. SOP code HD, 05/14/1999
2. Well BlueprintTM Drilling Condition. Hole Cleaning. SOP code HC, 05/14/1999
3. Well BlueprintTM Drilling Condition. Hole Stability. SOP code HC, 02/12/1997
4. Hidráulica Avanzada de Perforación. Christian Ferreira, SPE, Mario Serrano, SPE. Baroid Drilling Fluids, Halliburton. 2004
5. Borehole Stability Model to couple the Mechanisms and Chemistry of Drilling Fluid/Shale Interactions”. F. K. Mody - Baroid Drilling Fluids; A.H. Hale - Shell Development Company

ANEXOS (FIGURAS)

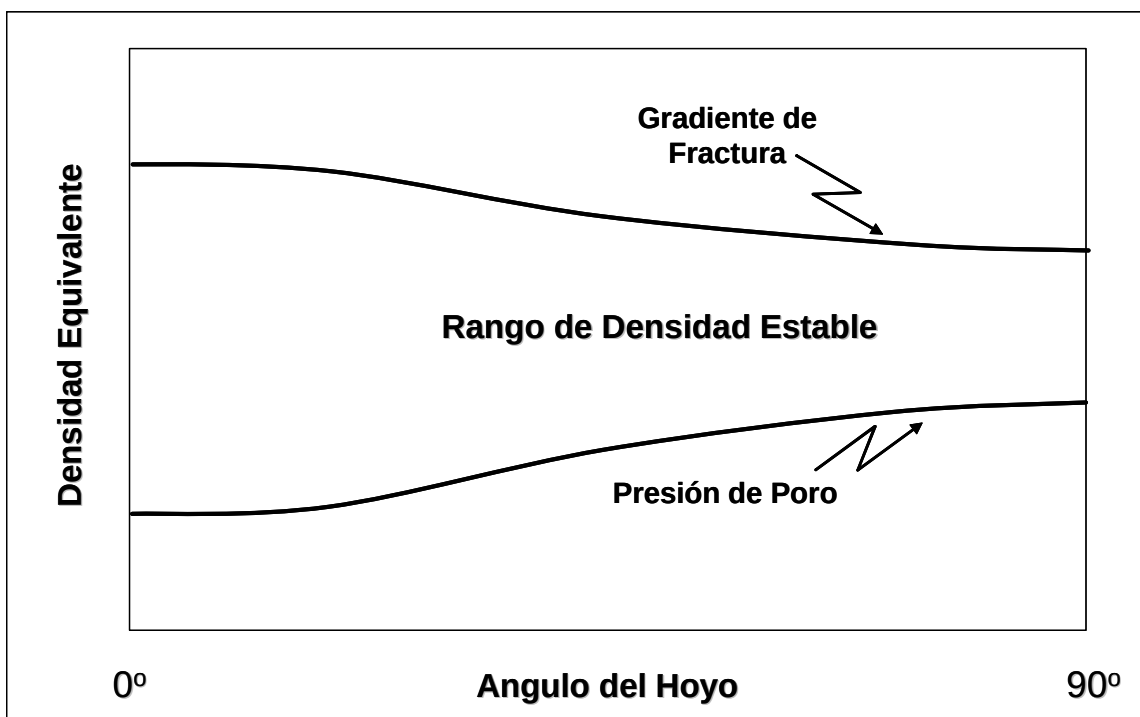


Figura 1: Rango de Densidad según el ángulo de Inclinación del Hoyo

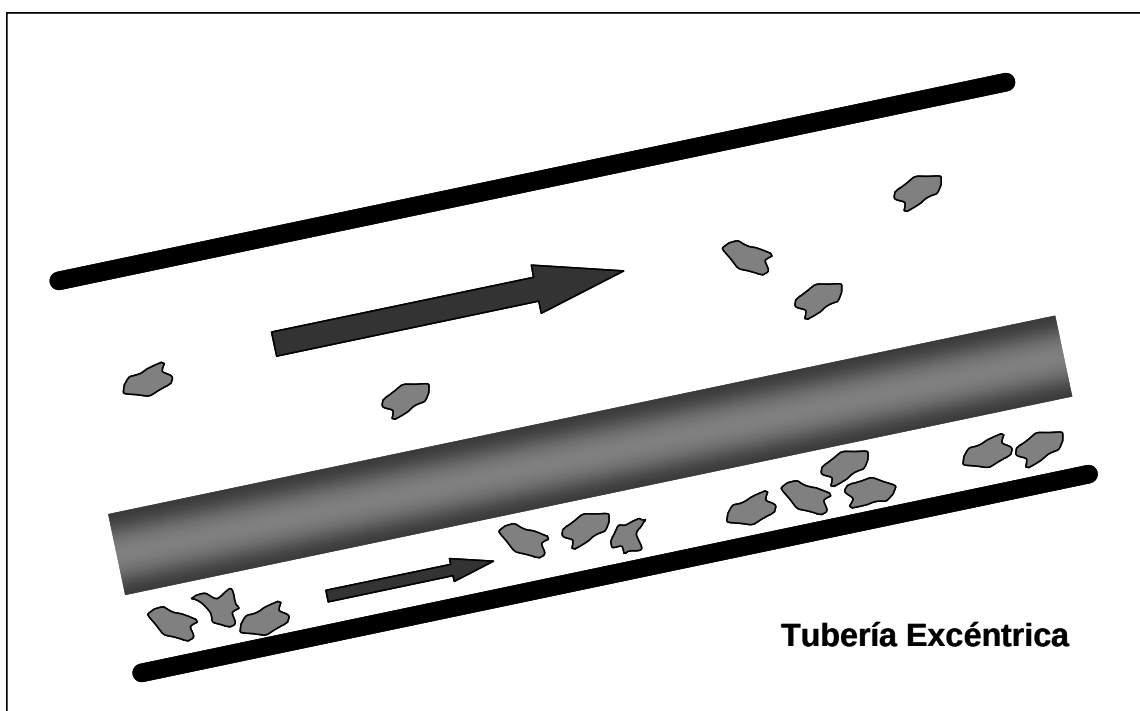


Figura 2: Acumulación de Ripios en hoyos Altamente desviados

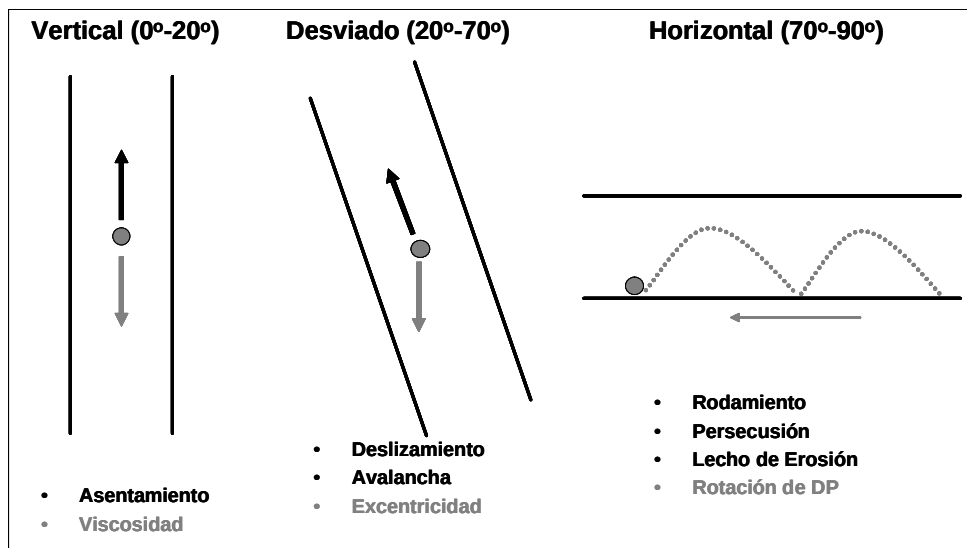


Figura 3: Comportamiento de los Recortes

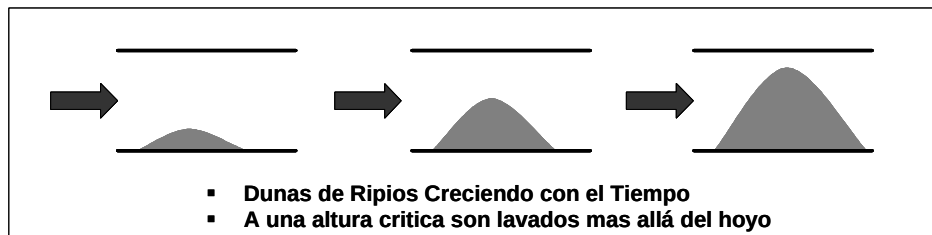


Figura 4: Formación de Dunas en pozo de Alto Angulo

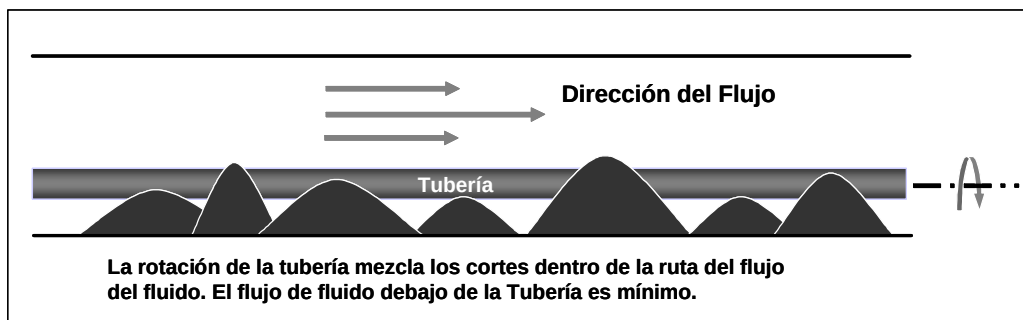


Figura 5: Transportación de Recortes en pozos Desviados

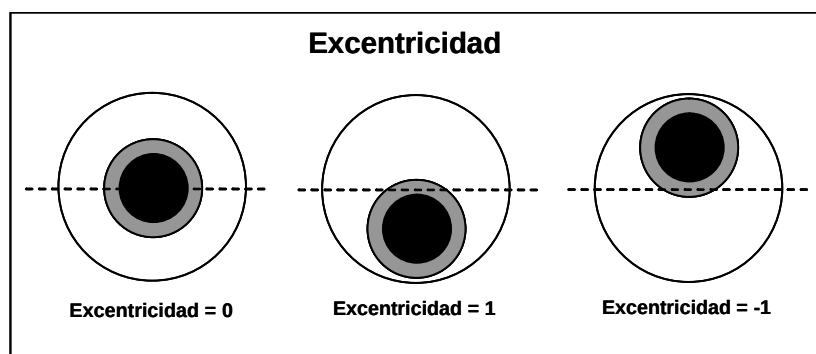


Figura 6: Excentricidad de la Tubería

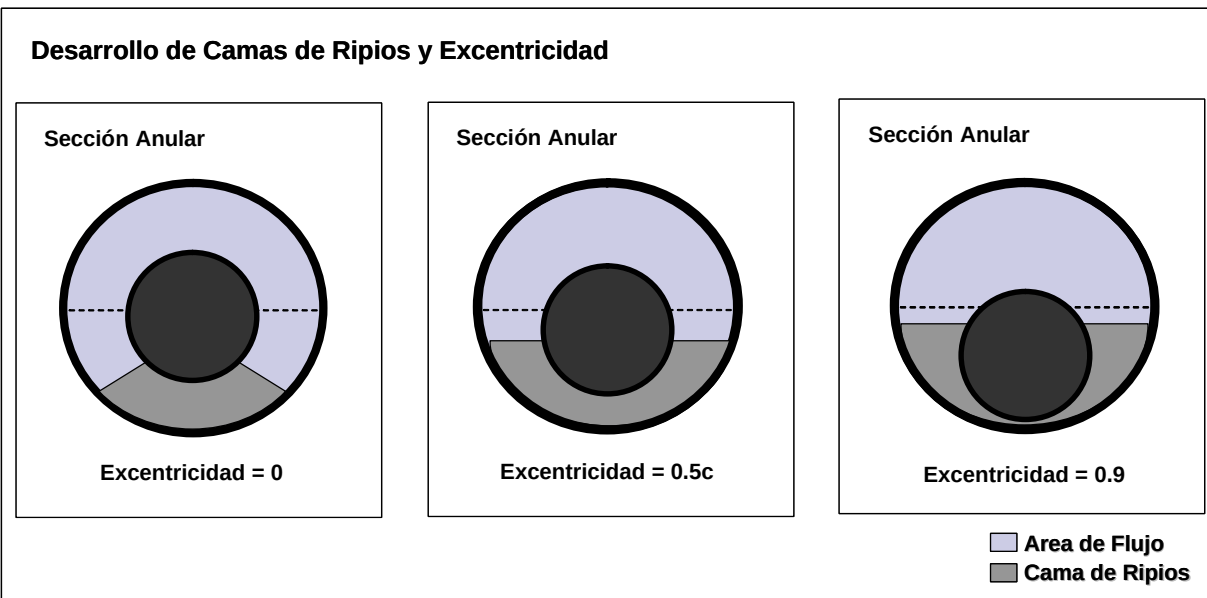


Figura 7: Camas de Ripios

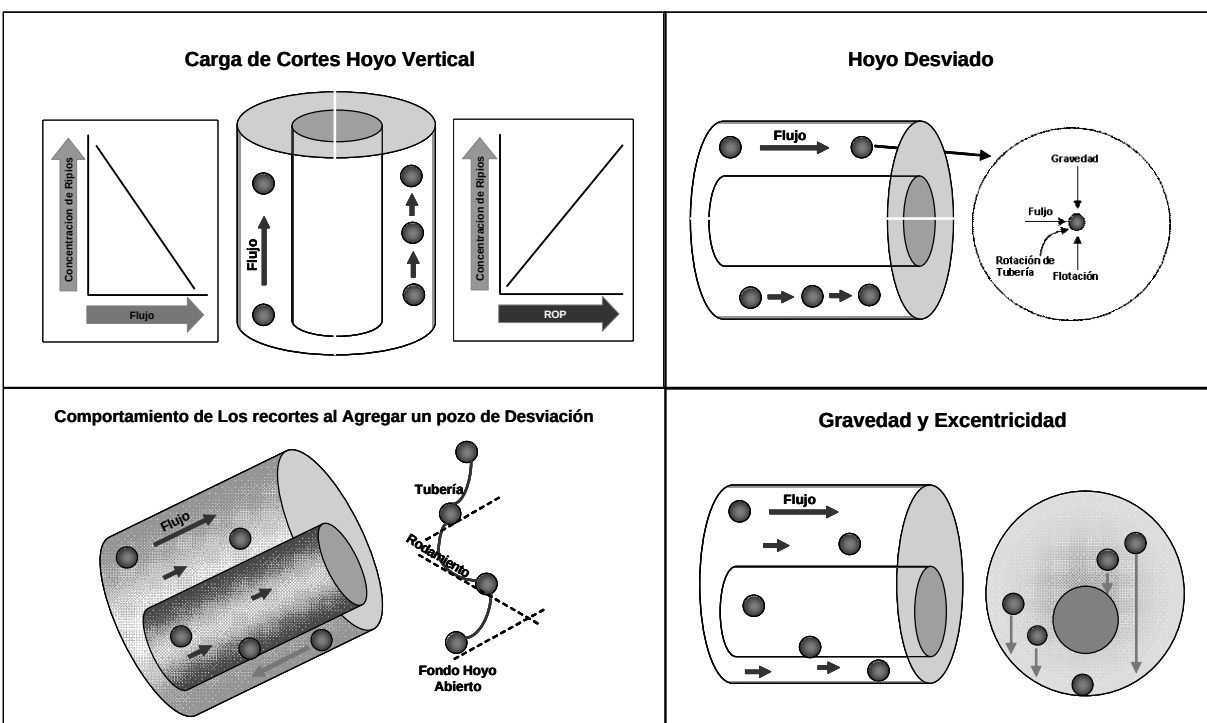


Figura 8: Acumulación de Ripios Según el Angulo de Desviación

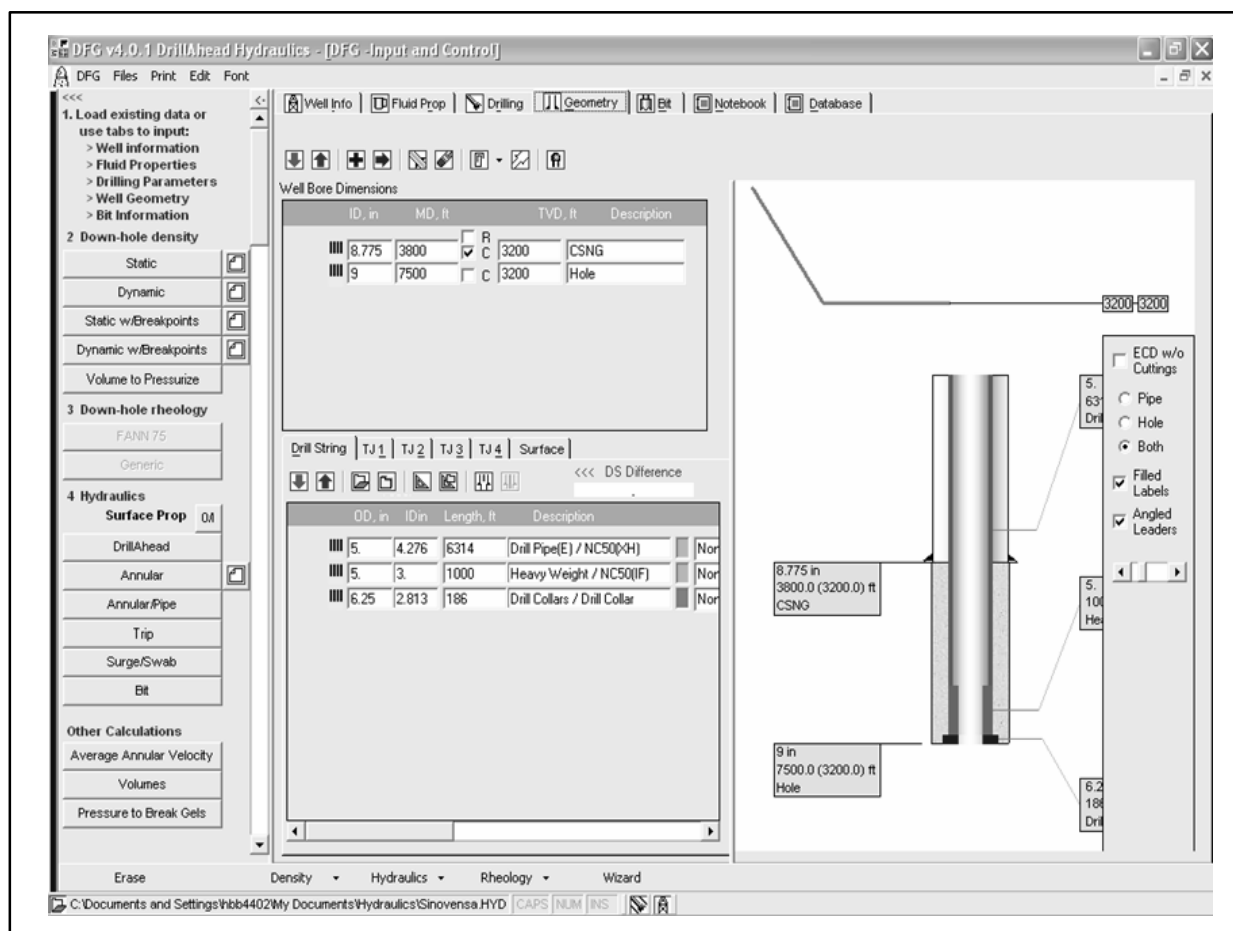


Figura 9: Ambiente del Sistema Avanzado de Hidráulica

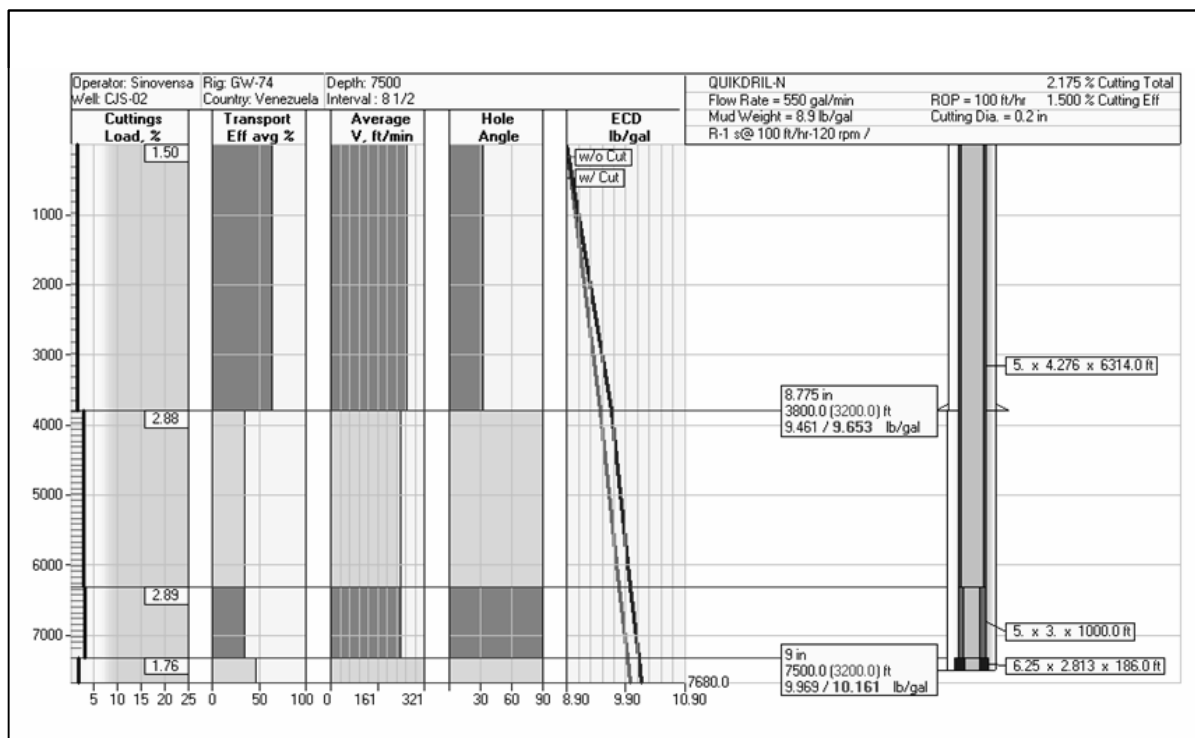


Figura 10: Reporte Grafico de Hidráulica

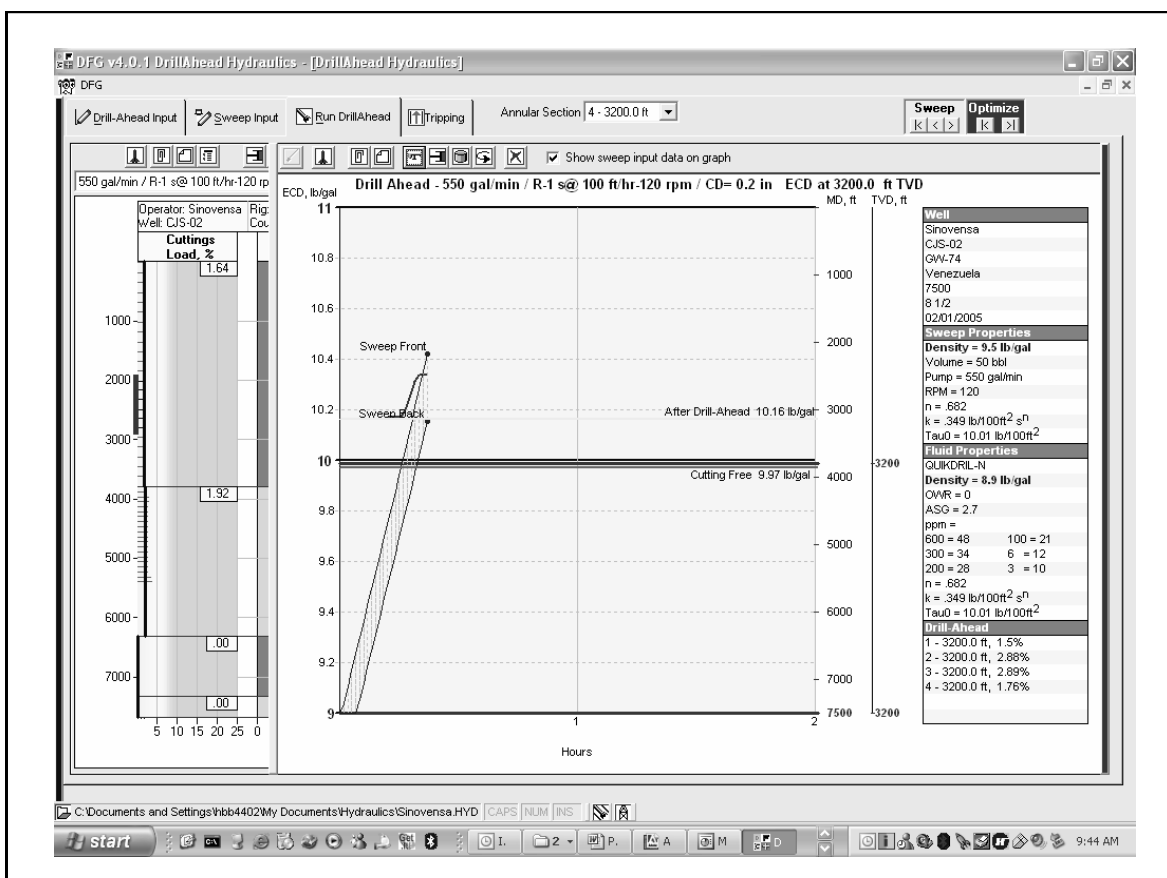


Figura 11: Simulación de Píldora Pesada

Predicted Rheology Using Fann70/75

Temperature, F Pressure, psi

Fann Dial Readings

	Old 35	Fann70/75 #1 @ [] psi	Fann70/75 #2 @ [] psi	Fann70/75 #3 @ [] psi	Current 35	Predicted
Temp, F	[]	[]	[]	[]	[]	[]
600	[]	[]	[]	[]	[]	[]
300	[]	[]	[]	[]	[]	[]
200	[]	[]	[]	[]	[]	[]
100	[]	[]	[]	[]	[]	[]
6	[]	[]	[]	[]	[]	[]
3	[]	[]	[]	[]	[]	[]

to Current-> Predict constant T

Get Current Modeling

Exit

Figura 12: Modulo de Predicción reológica

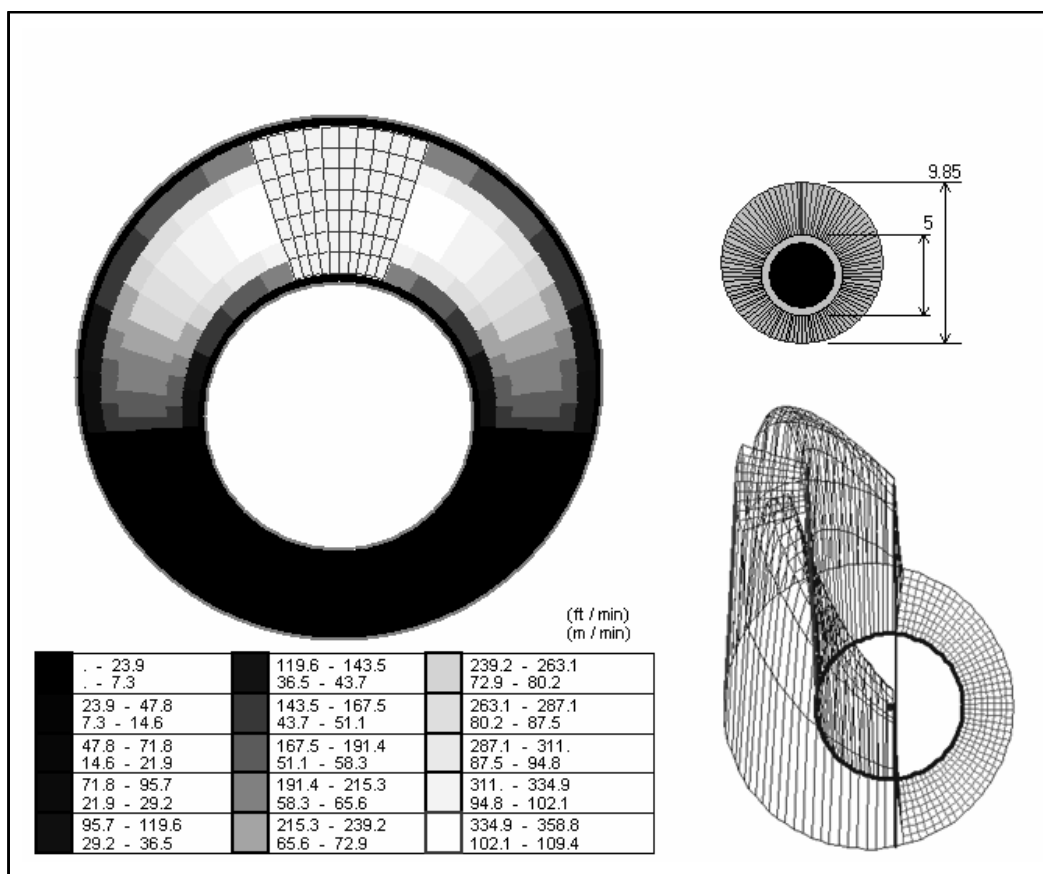


Figura 13: Excentricidad y Cama de Ripio

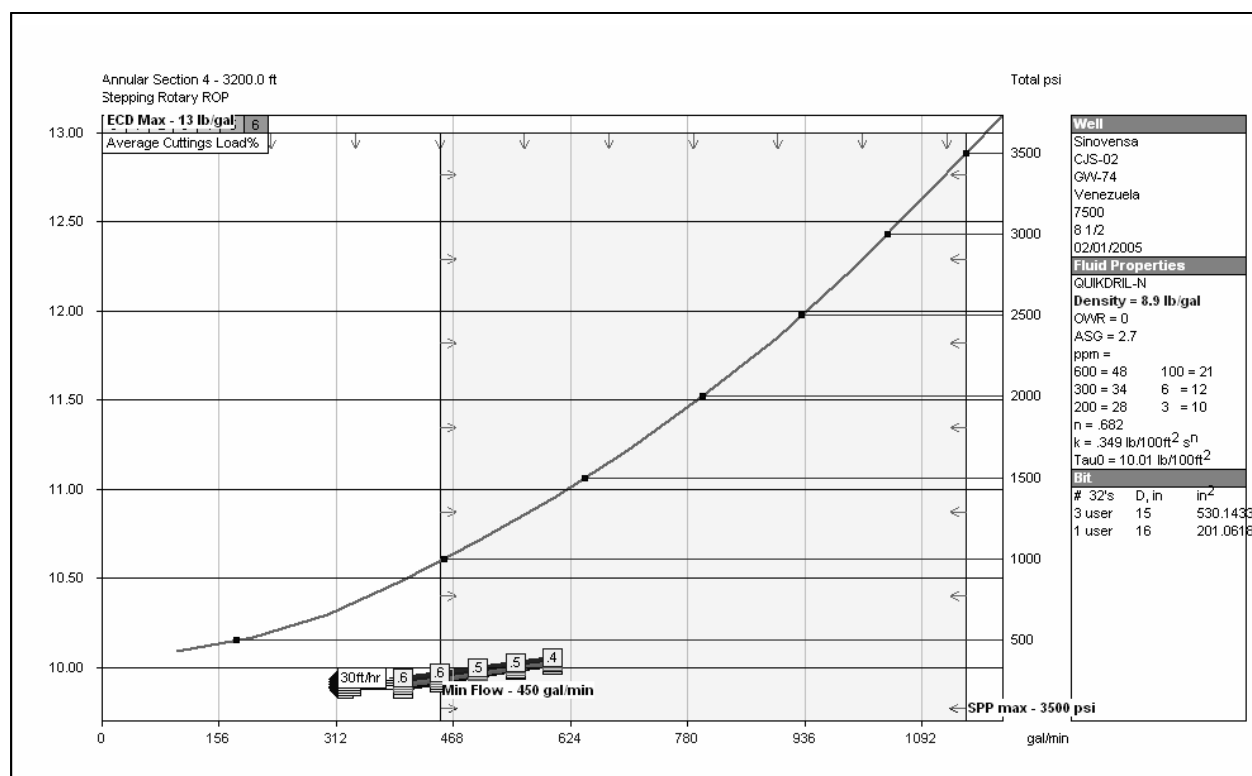


Figura 14: Simulador de Perforación