

LECCIONES APRENDIDAS EN LA PERFORACIÓN DE POZOS CON DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL EXTENDIDO EN LA CUENCA AUSTRAL, UTILIZANDO UN SISTEMA ROTATIVO DIRECCIONAL – RSS

Autores : K.Coghill, PAE; C.Speranza, PAE; C.López, Schlumberger

Resumen

La identificación de prospectos de petróleo y gas a partir de la interpretación de sísmicas 3D offshore e intermareal registradas recientemente por la UTE Tierra del Fuego formada por Pan American Fuegoina (PAE - Operador), Pioneer Natural Resources y Repsol-YPF, en la Bahía de San Sebastián en la provincia de Tierra del Fuego, requirió de la perforación desde tierra de dos pozos con un desplazamiento horizontal de 2800 y 3300 m (1670 y 1790 mTVD) respectivamente.

Estos pozos representaron un desafío, dado que en la cuenca existían antecedentes tanto positivos como negativos. Estos se referían a pozos perdidos (verticales y horizontales), debido a la inestabilidad (química y mecánica) de las formaciones a perforar, como a pozos que lograron records mundiales de extensión horizontal. La experiencia de estos pozos no fue capitalizada a modo de disminuir la curva de aprendizaje, debido, entre otros factores, a la falta de continuidad de las operaciones y de la gente involucrada en las mismas, hecho que fuerzan a un aprendizaje reiterado, cuando se reanudan las actividades de perforación. Este trabajo comparte la experiencia obtenida por un Operador del Área, luego de algunos intentos fallidos, esperando animar a la industria local a tener más de este tipo de trabajos de interacción que permitan una fluida comunicación entre todos aquellos que se vean involucrados en la perforación de pozos de estas características en la cuenca Austral.

Los resultados describen las razones y ventajas del Sistema rotativo Direccional usado en conjunto con Lodo base petróleo y un sistemático manejo del Conocimiento, que llevaron a un agregado de valor que supero al costo de las herramientas usadas.

Introducción

El proyecto consideraba la perforación de un pozo dirigido de avanzada desde la costa Norte de la Bahía de San Sebastián, para probar la existencia de reservorio de acuerdo a sísmica recientemente interpretada. (**Figura 1**), y de un pozo de desarrollo en el extremo sur de la misma Bahía, siendo este último el de mayor extensión horizontal.

Estos se debían realizar en una área ecológicamente sensible y protegida para especies migratorias y que además es un área de producción ovina orgánica, donde se había certificado la aplicación de la norma ISO14001. Adicionalmente, las condiciones climáticas del área son especialmente adversas, dada las bajas temperaturas (-20°C durante el invierno) y los vientos reinantes (de hasta 140 kph durante el verano).

Debido a los altos costos de movilización de los equipamientos a Tierra de Fuego se desarrolló, entre distintos Operadores de la Isla, una estrategia para compartir parte de los equipamientos y de los servicios. Se intentó contar con las compañías de servicio que ya habían participado en los pozos extendidos exitosos de campañas anteriores de PAE y de otros operadores. Se planificaron dos pozos

verticales en otro yacimiento, dando lugar para evaluar, tanto los servicios como los equipamientos, antes de iniciar la perforación en Cabo Nombre.

Logísticamente, esta área se encuentra muy aislada del resto de las operaciones en el país, generando esto una dificultad adicional por los tiempos y costos que lleva tener en el área los servicios necesarios, (limitaciones de vuelos, respuestas ante emergencia operativas, distancia físicas, 800 Km a Río Gallegos, 1600 Km a Comodoro Rivadavia, etc).

Consideraciones de Diseño

Los pozos extendidos requieren de consideraciones especiales en lo que hace a su limpieza y estabilidad. Estas dos consideraciones afectan especialmente los siguientes problemas operativos que son de cierta frecuencia en este tipo de pozo como ser; limitaciones hidráulicas; alto torque y arrastre; altos riesgos de aprisionamiento diferencial, mecánico y pérdidas de circulación, entre otros.

En la **Figura 2**, se pueden ver los principales parámetros que afectan a la limpieza de pozo. Estos están distribuidos de modo de ver con facilidad cuales de ellos son modificables durante la ejecución en el pozo y cual es su efecto sobre la limpieza del mismo. De estos la principal atención, fue prestada al caudal de perforación (una limitante del equipo por la que se adicionó una tercer zaranda), a la penetración máxima (ajustada sobre la base de los parámetros usados en simuladores propios y de Cías de servicio), a las píldoras de limpieza con fibras y a la densidad del lodo.

En lo que hace a las cañerías del pozo CNS.a-4, se consideró una primera cañería de 13 3/8" (33.9 cm) @100mTVD como cañería guía para aislar de las capas no consolidadas y de potenciales perdidas de circulación. La segunda cañería fue diseñada para proteger la curva y aislar de zonas de acuíferas y de potenciales perdidas de circulación. El KOP fue definido en 150 m TVD, para construir una curva de 3°/30m, finalizando la misma con 70° a unos 10 m debajo de la formación Cabeza de León, donde se fijo el zapato de 9 5/8" (24.4cm). La tercera cañería, que fue considerada la más crítica por su prolongada tangente de unos 2000 m a 70°, por la presencia de arcillas reactivas e inestables, y además por la dificultad de obtener una eficiente limpieza. El plan era asentarla en el tope de la formación productiva Springhill. Como contingencia a los posibles problemas al realizar la entubación de la cañería (con conexiones premium de alto torque), se contó con un sistema de entubación (casing running, también primera vez en el país) que permitió rotar y circular la cañería de 7" (17.8 cm). El tipo de lodo usado fue KCL Polímero, 11.2 ppg (1.344 sg). La densidad de esta sección (8 3/4" –22.2 cm-), llevo a aislarla a fin de evitar pérdidas de circulación cuando se ingresase a la formación productiva, la que se planeó perforarla con 6.125" (15.5cm) con un fluido tipo "Drill in" para minimizar el daño y con la menor densidad posible. La última cañería, la cañería de producción, fue pensada como un liner de 5" (12.7 cm) el cual se asentaría una vez perforados unos 30 m en la formación Lemaire, manteniendo la misma tangente de 70 ° que la cañería anterior, lo que representan unos 300m de sección de 6 1/8". Por más detalles ver **Figura 3**.

Durante la planificación se auditó el equipo con una compañía externa, durante su trabajo previo antes de ser movilizado a la Isla, siendo auditado nuevamente para confirmar que las recomendaciones habían sido implementadas. En esta etapa se incorporaron procesos para mejorar la comunicación dentro del grupo de perforación, con los Socios y expertos de BP, con las Cías de Servicio (Drill well on paper), con el equipo multidisciplinario de PAE (Front End Loading, No Drilling Suprises assessment) y con el personal propio y de terceros en locación (Technical Limit).

Se identificó la información de los pozos de referencia tanto de PAE como de otros operadores del área, hechos en otras campañas, que mejor aplicaban junto con los aprendizajes de estos. Los mismos se tomaron como base para el programa. Dentro los pozos de referencia se observaron grandes variaciones en lo que hace al éxito operativo de los mismos, mostrando una gran sensibilidad al tipo de lodo usado y al tiempo insumido en la perforación del pozo.

Resultados iniciales

Los resultados de la perforación hasta el fin de la sección de 8 ¾" (22.2 cm), se encontraron dentro lo esperado y cercanos al objetivo grupal del Technical Limit, como puede verse en la **Figura 4**. Durante la perforación se llevo un control de los recortes recuperados (mojado y seco) y de la evolución de las tendencias de Torque y Presión fuera del fondo, peso en el gancho (PUW: Pick Up Weight-SOW: Slack Off Weight) durante cada conexión y en cada tiro durante las maniobras. El objetivo de estos controles era evaluar las tendencias de estos parámetros, considerando adecuado que las tendencias se mantuviesen estables. No se contaron en ese momento con los valores de referencia teóricos. Sin embargo, la percepción sobre la base de los monitoreos realizados (los que incluían los resultados de las píldoras de limpieza), era que el pozo se encontraba en condiciones de limpieza y estabilidad como para entubar sin calibración previa, a fin de reducir los posibles riesgos de inestabilidad de las formaciones reactivas recientemente perforadas.

Una vez iniciada la entubación en aproximadamente 1600 mMD, se encuentra resistencia. Al contar con herramientas como el Casing Running y al poder rotar cañería, se intenta continuar con circulación y rotación para vencer esta resistencia, que se consideraba puntual y producto de cierta inestabilidad. Sin embargo, durante este proceso se comienzan a producir empaquetamientos con admisiones parciales lo que llevo a que la cañería se aprisione en 2051 mMD. Luego de varios intentos maniobrando con píldoras de limpieza de variadas formulaciones y colchones libradores, se decide cortar cañería de 7" mecánicamente y realizar un sidetrack. Durante la operación y antes del abandono del pozo original, se consideraron varias opciones, a partir de la reunión con expertos de BP en limpieza, lodo y entubación. Estas opciones se vieron limitadas por falta de tiempo, debiéndose continuar con el mismo lodo y herramienta direccional, buscando mejorar las practicas operativas.

Dentro de los principales cambios al programa para la realizar en CNS.a-4bis, podemos mencionar los siguientes: El incremento de la rotación de la columna a 80-120 rpm de 40-60 rpm; el uso de Píldoras Pesadas 2-3 ppg (0.24-0.36 sg) sin fibra (para remover los recortes que se encuentren entrampados debajo del sondeo), en lugar de las Low Vis Hi con fibra; el incremento del Punto de Fluencia (Yield Point -YP) al rango superior de 25-30 (para que la suspensión de estos sea lo mas prolongada posible); un mejor control del MBT (Metiline Blue Test) y la circulación luego de cada deslizamiento.

El tramo de 8 ¾" (22.2 cm) original, insumió 7 días para ser perforado, en cambio el sidetrack tomó 11 días para ser terminado. Estas diferencias de tiempo en la perforación se deben principalmente a dificultades direccionales, como el aumento del trabajo direccional como producto de la salida del sidetrack, manteniendo distancia al pozo original, la falla del Universal Bottom Hole Orienting sub (UBHO) que lleva a la pérdida de 10° en la tangente, y la tendencia a perder ángulo (de 1° a 1.5°/30m) más fuerte que la observada en el pozo original. Como resultado de todo esto, el tiempo insumido deslizando se incremento a 25% desde el 12%. Como consecuencia de esto la limpieza sufrió, ya que durante el deslizamiento la capacidad de acarreo de recortes hemos aprendido debe considerarse nula. Por otro lado el incremento del tiempo favoreció el envejecimiento del pozo. Al disminuir la limpieza, los problemas de direccionabilidad aumentaron no teniendo la respuesta del conjunto esperada, solo respondiendo a peso alto sobre el trépano, lo que repercutió en las ROP instantáneas aumentándolas, lo

que continuó dificultando la respuesta del conjunto direccional por una mayor acumulación de recortes, cerrando el círculo.

Una vez luego de haber circulado en el fondo se decide realizar la calibración del pozo, sacando y realizando una parada a circular para limpiar el pozo cada 500 metros, en correspondencia con los incrementos de arrastre observados en maniobras previas. En 2200 m se produjo un empaquetamiento durante la circulación intermedia lo que lleva a la decisión de sacar el conjunto direccional y realizar la limpieza del pozo desde el zapato al fondo. El tiempo adicional que tomó la perforación del tramo, más el empaquetamiento sufrido, aumentó la inestabilidad del pozo lo que hizo que tomase más tiempo limpiar el pozo y que cuando se logró la limpieza deseada, se produjo la pesca del MWD (Measurement While Drilling)+Monel+trépano. El tiempo total insumido agravó la inestabilidad del pozo, totalizando 12 días desde haber alcanzado profundidad final hasta el decidir el abandono. Como producto de la creciente inestabilidad no se pudo recuperar la pesca, decidiendo el abandono temporario, planeando realizar los cambios de fondo que se veían imperativos antes de continuar con la campaña.

Revisión del programa para el SS.a-92

Tanto el pozo original como el primer Sidetrack fallaron como resultado que este sistema Motor/WBM (water base mud) no permitió obtener suficiente estabilidad de pozo para mantener una adecuada limpieza del mismo con la cantidad de deslizamiento requerido para la curva planeada. A continuación de estos dos intentos no exitosos en CNS.a-4, se decidió mover el Equipo de Perforación al pozo SS.a-92 y utilizar en este; el Sistema Direccional Rotativo –RSS- (PowerDrive de Schlumberger, movilizado desde Inglaterra, a ser usado por primera vez en el país) para asistir la limpieza de pozo, asegurando la rotación de la columna el 100% del tiempo de perforación durante las correcciones direccionales y reducir la tortuosidad; mientras el sistema de lodo base petróleo – OBM-, materiales movilizados desde Bolivia y la planta de lodo desde Tartagal- mejoraría la estabilidad de las paredes del pozo. Una revisión de Pares (Peer Review) con los Socios y especialistas en Lodo y Limpieza de pozos Extendidos de bp y Baroid, permitió establecer procedimientos detallados para la perforación de las secciones de 8 ¾”.

Sistema de Rotativo Direccional – RSS

El sistema de perforación direccional rotativo (RSS) es el resultado evolutivo lógico de los sistemas convencionales. Estos adolecían de algunas limitaciones operativas como lo son, las dificultades para mantener la orientación estable, pobre limpieza, baja penetración, riesgos de aprisionamientos, sondeo sometido a grandes esfuerzos axiales, alta tortuosidad y en ciertas circunstancias la imposibilidad de deslizar.

Al tener sus componentes externos en rotación (**Figura 5**), aún durante la construcción de la curva, el RSS elimina todas estas limitaciones y nos permite extender el horizonte posible de diseños y factibilidad de ejecución de pozos. Su eficiencia y desarrollo se basa en un principio relativamente sencillo: crear una fuerza lateral que “empuje” al trepano hacia una dirección determinada (**Figura 6**). El problema esencial radica en la dificultad de direccionar ese esfuerzo cuando todo el sistema esta en rotación. La solución, es un notable desarrollo llamado, Control Unit, que logra permanecer estático con relación a las paredes del pozo, aún cuando todo el resto continúa en rotación; de este modo, y mediante el uso de sensores específicos, se logra conocer con certeza, una posición de referencia, tanto relativa al pozo como al norte magnético.

Un sistema electromecánico, da apertura a un pad, el cual actúa sobre las paredes del pozo, direccionando el avance de la perforación hacia una posición planificada. De este modo, se logra un incremental continuo de inclinación, giro o ambos, minimizando, hasta un punto casi ideal, la tortuosidad en el trayecto. El RSS tiene capacidad de transmitir y recibir información, motivo por el cual se puede modificar su respuesta en todo momento. El continuo desarrollo de la herramienta, nos lleva a considerarla también ideal para secciones tangentes, ya que mediante un auto relevamiento, puede cambiar su programación y lograr mantenerse en una misma inclinación con un estrecho margen de desvío.

Desde una óptica puramente direccional, el RSS es una solución para cualquiera de las cambiantes situaciones operativas que se presentan durante la ejecución de un pozo. Esto lleva a considerarlo un conjunto en sí mismo, con la consecuente simplificación en el diseño de BHA lo que redundará en sarts más simples y una economía en tiempos de maniobra. La gran ventaja operativa en el uso del RSS es solo parte del beneficio de sistema, que como resultado de su aplicación, deja un pozo de mayor calidad (**Figura 7**) para las tareas posteriores de perfilaje, entubado y terminación.

El éxito de este tipo de herramienta en aplicaciones similares, fue verificado con otros sitios de bp en el mundo (USA, Latinoamérica, Europa, y Asia) donde la misma ha sido utilizada exitosamente, antes de iniciar su movilización al país.

Inestabilidad Química

Como parte de la revisión de lo actuado en los pozos CNS.a-4 y CNS.a-4bis se enviaron muestras de recortes para ser ensayadas con distintos tipos de fluidos, base agua (KCL) y base petróleo. Los resultados de los ensayos pueden verse en la **Figura 8**. En la misma puede verse la significativa diferencia observada en el hinchamiento lineal de los recortes de las distintas formaciones atravesadas durante la perforación de la sección de 8 ¾", según el tipo de lodo utilizado. Adicionalmente en la grafica de barras, de la **Figura 9**, pueden observarse las diferencias en el contenido los componentes reactivos de las arcillas según las formaciones.

El plan original fue considerar una situación similar a la de otro operador cercano en el área. Sin embargo los resultados alcanzados mostraron que existían importantes diferencias. Este hecho se reafirma cuando considerando los pozos en la cuenca que aún siendo verticales y que fueron perforados con OBM se perdieron y otros dirigidos de alto ángulo perforados con WBM fueron exitosos, muestran que las variaciones en el comportamiento de las formaciones es muy marcado en áreas relativamente cercanas. La razón de esto, podría encontrarse en las variaciones de composición de las arcillas. Al presentarse un mayor % de caolinita y uno menor de illita/illita-smectita, cuando se utiliza un lodo con KCL, el efecto de este, sobre la caolinita hace que al deshidratarse esta, pierda cierta estabilidad mecánica. Siendo la caolinita la matriz de la porción arcillosa, este efecto reduce su capacidad para resistir esfuerzos. La hace mas disgregable.

La selección del lodo sobre la base de este comportamiento, es el Lodo Base Petróleo o Emulsión Inversa, el que se formuló a través de reuniones con expertos (internos de PAE, bp; internos/externos de Baroid y terceras partes) para acordar su composición y propiedades. Un breve resumen de estas es: 80/20 Diesel/agua, densidad de 1300 gr/lit alcanzada con baritina, carbonato de calcio como agente de puenteo, salinidad de entre 210,000 y 250,000 mg/lit, estabilidad eléctrica mayor a 800.

Inestabilidad Mecánica

En relación con los problemas que se presentaron, se encargó un estudio de Geomecánica para identificar los modos de falla de la zona y determinar los valores de densidad que permitiesen una perforación más estable. Los resultados de dichos estudios, mostraron que el estado de tensiones del área corresponde al modo Transcurrente o de Rumbo Deslizante ($Sh_{max} > S_v > Sh_{min}$). En base a este modelo se determinó que el Sh_{min} es como mínimo de 15.6 ppg (1.872 sg) en base a los FIT realizados. La dirección preferencial recomendada de perforación es en la dirección paralela (que en la zona es NE-SE) a las cadenas de los Andes, que en la cuenca tienen un efecto menos marcado que en otras áreas como la del Norte Argentino o Sur Boliviano. Sin embargo nuestro objetivo se encontraba condicionado por la locación en superficie y la del subsuelo, haciendo que la dirección de perforación sea en dirección Sur. Esta se encuentra en una zona de transición que requiere más peso de lodo para mantener el pozo estable comparado con la dirección recomendada. Los valores usados en la perforación de los pozos fallidos se encontraban dentro del rango de densidades recomendados por el estudio, indicando nuevamente que el efecto químico de la inestabilidad fue el más revelante en los pozos mencionados. Ver **Figura 10** para más detalles.

Influencia de los Parámetros y Prácticas de Perforación

La influencia de los parámetros de perforación ha jugado un importante rol, en lo que hace a la limpieza del pozo. Como puede apreciarse en las **Figuras 11 a 13**, el caudal crítico de limpieza necesario para asegurar la limpieza depende de las RPM de la columna de perforación, del tipo de flujo del fluido, su reología, y de la velocidad de penetración, entre otros.

Si bien el Caudal usado estuvo de acuerdo a lo recomendado y la ROP fue controlada dentro del rango recomendado por las simulaciones corridas a tal efecto; dado a las interdependencias existentes, se eligió ajustar las RPM -de 80/120 a 120/140- y mantener los valores reológicos del lodo en el rango alto - $YP = 25\text{-}30 \text{ lb/pie}^2$ ($0.012\text{-}0.015 \text{ Kg/cm}^2$)-. Del mismo modo se planeó mantener las píldoras densificadas sin fibras para asegurar la limpieza incrementando su densidad a 3-4 ppg (0.36-.48 sg), con incrementos de los tiempos de circulación de hasta 4 fondos arriba (BU) con rotación máxima comparados con el 1.7 BU encontrado como valor típico en la literatura, para este tipo de diámetro e inclinación de pozo. Esto permitió limpiar el pozo durante la perforación sin tener que recurrir a maniobras o a prolongados períodos de circulación.

Como un modo de reforzar los procedimientos y asegurar la comunicación a todo el equipo se establecieron una serie de Prácticas Operativas Escritas distribuidas a todos, a través de talleres. Estas prácticas, contenían los rangos de trabajo de cada parámetro y los criterios a ser usados antes los problemas esperados. Tenían, también la finalidad de asegurar el entendimiento y cumplimiento de los procesos. Como ejemplo podemos mencionar los puntos en los cuales se hacía especial mención en las Prácticas: Caudal, Rotación de la columna, uso del RSS, Como realizar las conexiones, Control del ROP, Control de recortes de perforación, Parámetros críticos del lodo, Uso de Píldoras y materiales de puenteo, Como realizar maniobras cortas y Acciones ante un empaquetado del sondeo.

Además de las prácticas escritas se realizaron diagramas de flujo para las maniobras consideradas críticas, a fin de asegurar se encuentren previamente acordadas y entendidas (con Cías de Servicio, personal en el Equipo y en las Oficinas en BA), las primeras acciones a seguir, con el fin de evitar desvíos importantes que lleven a situaciones irreversibles. Para todos aquellos eventos que pudiesen haber acontecido, se tomaron todas las contingencias que el grupo pudo imaginar realizando los

diagramas basándose en ellas, teniendo como ejemplo de estos: entubaciones, maniobras de bajada, fijación de liner, etc.

Adicionalmente se contó con un sistema de registro electrónico que permitía realizar el seguimiento de las operaciones desde cualquier PC con acceso a Internet durante las 24 horas con una demora de 15 minutos, mientras que a través de la red interna de PAE, el acceso y actualización se realizaba en tiempo real. La ventaja de este sistema, además del monitoreo en “línea”, fue también tener una base de datos con las maniobras realizadas pudiendo hacer un análisis posterior de los hechos, lo que permitía especialmente capturar oportunidades de mejora que de otro modo pasaban inadvertidas. En conjunto con este sistema se usó un perforador automático que permitió realizar un control de ROP muy efectivo ya que el mismo puede ser ajustado por Presión diferencial de motor de fondo (secciones de 12 ¼” (31.1 cm) y 6 1/8” (15.5 cm)), por torque del top drive o por WOB.

Al final de cada sección de los pozos realizados con RSS y OBM, se procedió a revisar lo actuado en un formato preestablecido (AAR: After Action Review) **Figura 14**. Este proceso permite capturar las oportunidades de mejoras, lo que se repetiría, lo que se modificaría y lo que no se volvería a realizar.

Al realizar estas calificaciones por el grupo, permite que las mismas sean incorporadas al proceso de planificación y operación, asegurando que todos los puntos de vistas hayan sido considerados; evitando se presenten situaciones no deseadas, o al menos minimizando las mismas. Los efectos colaterales se ven minimizados mediante la aplicación de este proceso. Este presentó la ventaja adicional de mejorar el “manejo del Cambio” en un grupo multidisciplinario y en tiempo “real”.

Resultados Finales Sección 8 ¾” de SS.a-92 y CNS.a-4/III

Al presentar los resultados no podemos dejar, el tener presente que en caso de los dos pozos perforados con Sistema Convencional/WBM, esta sección de 8 ¾” no pudo ser entubada exitosamente.

El pozo SS.a-92 fue perforado sin ningún inconveniente, a pesar que en la maniobra intermedia de control de pozo, que como producto del calibre estrecho, generó mecánicamente derrumbes, a lo largo de la sección. Estos derrumbes de hasta 5 cm de diámetro, fueron limpiados luego de 3 fondos arriba, sin que estos vuelvan a generarse. La cañería de 7” fue posteriormente corrida a 3550 mMD en un pozo de 70° con carga de arrastre y asentamiento de acuerdo al plan (FF 0.17 en cañería, 0.22 a pozo abierto). El desplazamiento horizontal total al final de la sección de 8 ¾” fue de 2917m, 1670m TVD.

El pozo CNS.a-4/III, fue realizado con un mínimo de inconvenientes operativos en la sección de 8 ¾”, asentando la cañería en un pozo de 71,5° con un desplazamiento horizontal de 2510 m y 1572 mTVD.

Los dos tramos fueron perforados en promedio, en 7 días, el mismo tiempo insumido en la perforación del más rápido de los pozos fallados, aún con opciones significativas de mejorar los mismos.

Los resultados obtenidos del uso de los elementos mencionados anteriormente (RSS, OBM, Practicas Operativas, AAR, entre otros), pueden analizarse en la **Figura 15**. Así mismo en la **Figura 16** puede verse una comparación de las geometrías de los pozos realizados. En esta gráfica pueden observarse, las cargas durante las maniobras de sacada y de bajada durante la ejecución de todos los pozos. Estas gráficas contienen solo los datos de la primera maniobra del tramo perforado. El objetivo de esto es mostrar las condiciones del pozo sin el efecto que tienen las maniobras de calibración sobre el estado de este ni las del paso del tiempo sobre el envejecimiento de las paredes de pozo.

Como puede observarse, las diferencias entre los pozos realizados con Motor/WBM y con RSS/OBM, son significativas, tanto desde el punto de vista de magnitud (altura y pendiente de la curva) como desde las variaciones presentes (curva mucho menos suave). Estos parámetros, pendiente, altura de la

pendiente y suavidad (consistencia de valores), han sido considerados como aspectos importantes a considerar al momento de evaluar las mismas. La pendiente menos pronunciada puede estar relacionada con el efecto lubricante del OBM. Una curva con igual pendiente pero con valores más altos puede estar relacionada con la calidad del pozo en lo que hace a la tortuosidad, las variaciones de DLS y estabilidad del pozo. Las variaciones, inconsistencias, en los valores de las curvas podrían estar relacionadas con falta de limpieza, muy localizadas variaciones de DLS y la acumulación de recortes. Cuantificando lo observado podemos decir que el PUW (Pick Up Weight: Peso Sacando herramienta) se redujo en un 20% al final de tramo comparando Motor/WBM vs RSS/OBM.

Considerando el SOW (Slack Off Weight: Peso Bajando herramienta) del CNS.a-4/III, puede verse, que despreciando las variaciones producidas por el efecto de llenado del pozo, es una línea casi recta alineada con los valores teóricos predichos para este considerando un Factor de fricción de 0,18. Cuantificando nuevamente, podemos decir que se obtuvo una mejora del 60% con el sistema RSS/OBM comparado con el sistema Motor/WBM, en lo que hace al SOW.

En particular tanto el PUW como el SOW de este pozo, las curvas de sacada y bajada son las más suaves de todos los pozos, evidenciando una tendencia positiva de mejora en las condiciones generales de este pozo en particular. Esta mejora muestra una evolución positiva en los resultados que consideramos atribuibles a las mejoras introducidas que fueran mencionadas anteriormente. La amplitud de oscilaciones del PUW se redujo hasta menos de una tercera parte en el caso del RSS/OBM, comparado con el caso Motor/WBM.

En relación con el Torque, uno de los primeros indicadores de limpieza e inestabilidad, puede verse en la **Figura 17**, que muestra una reducción promedio del orden de 50% entre los pozos realizados con WBM/Motor vs. OBM/RSS y una reducción del mismo orden en las oscilaciones respecto a la línea base (línea de tendencia).

En relación con la velocidad de penetración, se puede decir que si bien los valores máximos estuvieron controlados, estos pudieron ser mantenidos a lo largo de toda la sección en el pozo CNS.a-4/III, viéndose ya la mejora en el SS.a-92. Esto se puede observar en la **Figura 18**. La razón de esto se cree reside en el efecto que ha tenido una efectiva limpieza de pozo, una mayor suavidad de la tangente, la no-alternancia entre modos (slide/rotary) y la lubricidad del lodo; todo lo cual ha permitido una transferencia de peso más efectiva, lo que se tradujo en la constancia de la ROP.

Conclusiones

Como se ha podido observar, las mejoras en la realización de la sección tangente de 8 ¾", que representó la situación de más riesgo en la realización de los pozos considerados, están relacionadas con las siguientes variaciones al programa que podemos enunciar a continuación:

- Uso de RSS, para asegurar la limpieza del tramo, debida a la asistencia de la rotación de la columna en todo momento como así también la reducción de la tortuosidad, el espiralado del pozo, aumentando la eficiencia al no tener que realizar deslizamiento para corregir la dirección del pozo. Esto nos permitió evaluar la herramienta para sus potenciales usos futuros en este como en otros tipos de pozo de alto costo.
- Uso de Lodo base Aceite, para mantener la estabilidad química y mecánica dando margen para manejar situaciones imprevistas que ocasionan Tiempos Perdidos, si el consabido "envejecimiento" del pozo que se produce con sistemas base agua.

- Manejo del Conocimiento, a través, de consultas a Pares en reuniones con expertos externos, con conocimiento y experiencia internos y de las Cías de Servicio. Revisión frecuente de los resultados obtenidos con los mismos grupos de trabajo, a fin de asegurar la vigencia de los procedimientos y de la mejora continua de estos.

Es importante destacar que a pesar de todos los cambios introducidos en poco tiempo, el sistema de manejo y de revisión continua ha permitido la ejecución de los pozos sin incidentes o accidentes tanto personales, como ambientales. Vale mencionar que el valor agregado a las operaciones ha sido mayor que el costo de las herramientas utilizadas en estas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Pan American Fuego y sus socios Pioneer Natural Resources y Repsol-YPF por el permiso para publicar este trabajo.

Extienden su agradecimiento a Wilfredo Nuñez por su aliento a escribir este trabajo, a Hermann Steinbuch por su colaboración en la corrección este escrito y en el proyecto, a Raúl Oporto y Hernán Oberlander por su colaboración durante el proyecto de Cabo Nombre, a las Cías de Servicio, Schlumberger y Halliburton, por el soporte dispensado para alcanzar los objetivos propuestos.

Antecedentes de los Autores

Keith Coghill

Actualmente es el Jefe de Perforación para el grupo de Gas dentro de Pan American Energy. Se ha graduado como Ingeniero Mecánico de la Univ. de Glasgow, Escocia. Tiene 17 años experiencia con la empresa BP en varios puestos de supervisión en el campo y la oficina, trabajando en todo tipo de proyectos. Tiene 10 años de residente en Sud America (Argentina, Venezuela, Colombia) y 7 años en el Mar del Norte (Escocia, Noruega, Inglaterra).

César Speranza

Se ha graduado como Ingeniero Mecánico de la Univ. Católica de Córdoba, y se ha especializado en Petróleo, en el Instituto del Petróleo, de la U.B.A., en Argentina. Cuenta con 15 años de experiencia en la industria, dedicado a la perforación de pozos de gas y petróleo, trabajando con Contratistas de Perforación, Cías de Servicio y Operadoras, tanto dentro como, fuera del país, en distintas posiciones de responsabilidad. Actualmente se desempeña como Líder de Perforación de Tierra del Fuego en PAE.

Claudio López

Graduado de Geólogo en la Universidad Nacional de Córdoba e Ing de Reservorio en la UBA. Cuenta con 20 años de experiencia en la industria, los últimos 18 con Schlumberger donde ha desarrollado su actividad profesional en distintas disciplinas, siempre vinculadas a perforación. Su experiencia incluye trabajos y asignaciones en muchos países de Latinoamérica, Canadá y EEUU. Actualmente se encuentra radicado en Buenos Aires, asignado como coordinador direccional de los proyectos de Panamerican Energy y Total, en el sur del país.

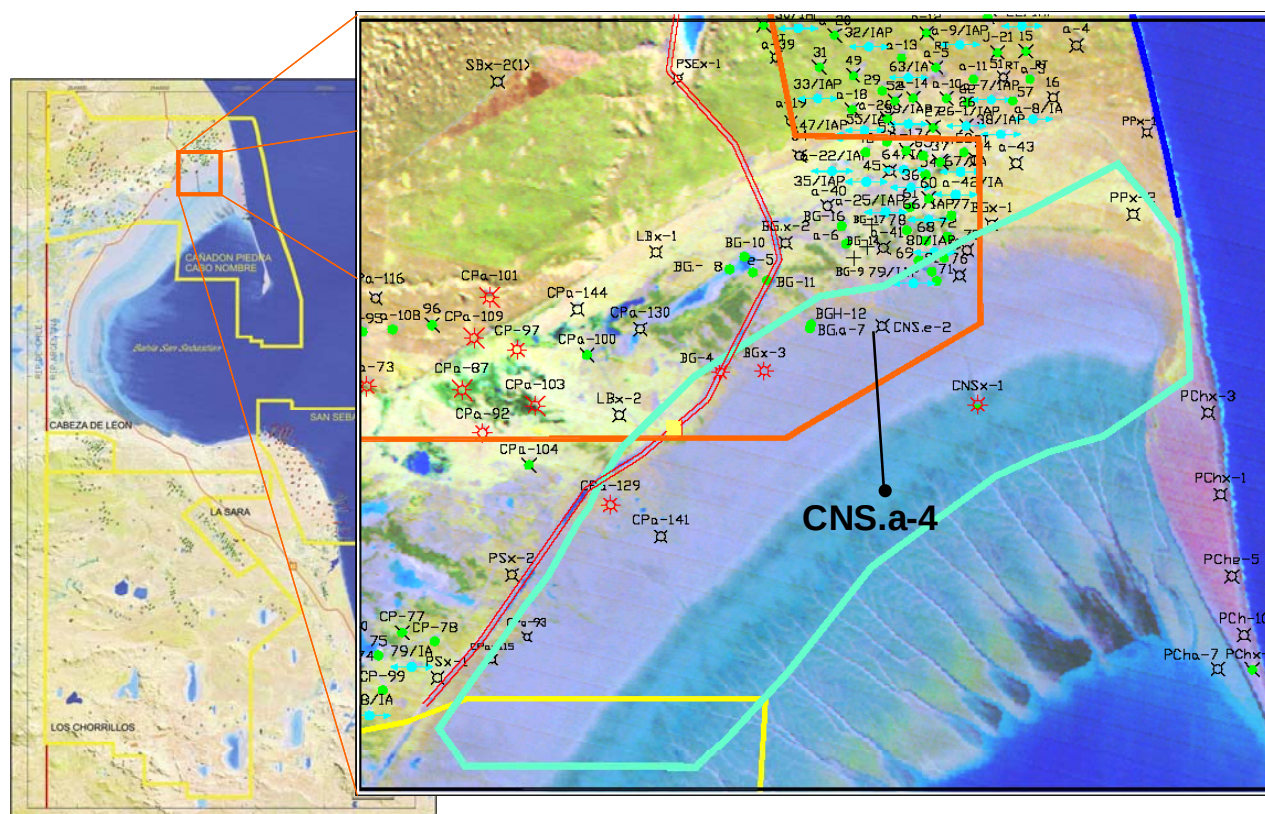


Figure 1 – Ubicación del CNS.a-4 en el Área de Cabo Nombre

Variables que influyen la Limpieza de Pozo Pan American ENERGY

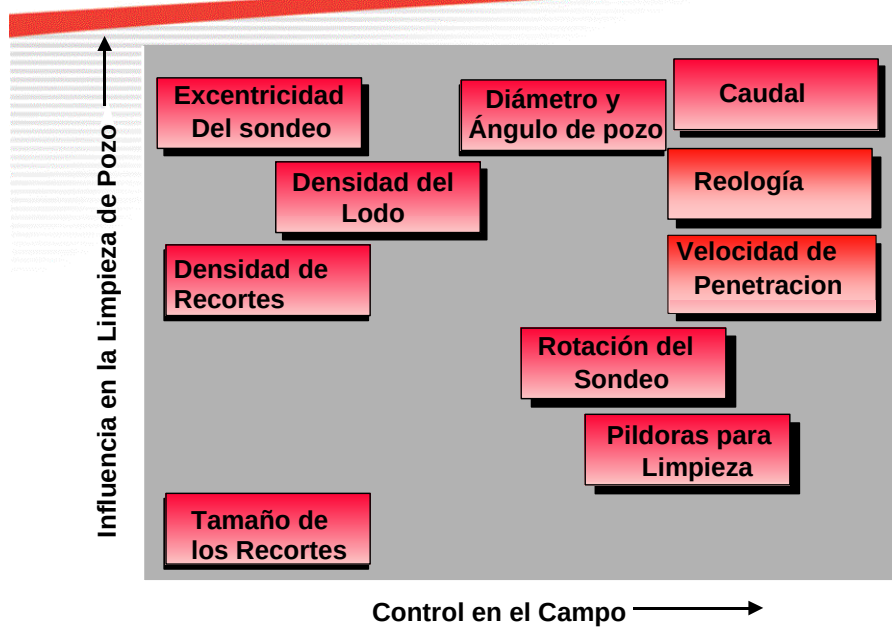


Figure 2 – Parámetros que influyen la limpieza de un pozo de alto ángulo

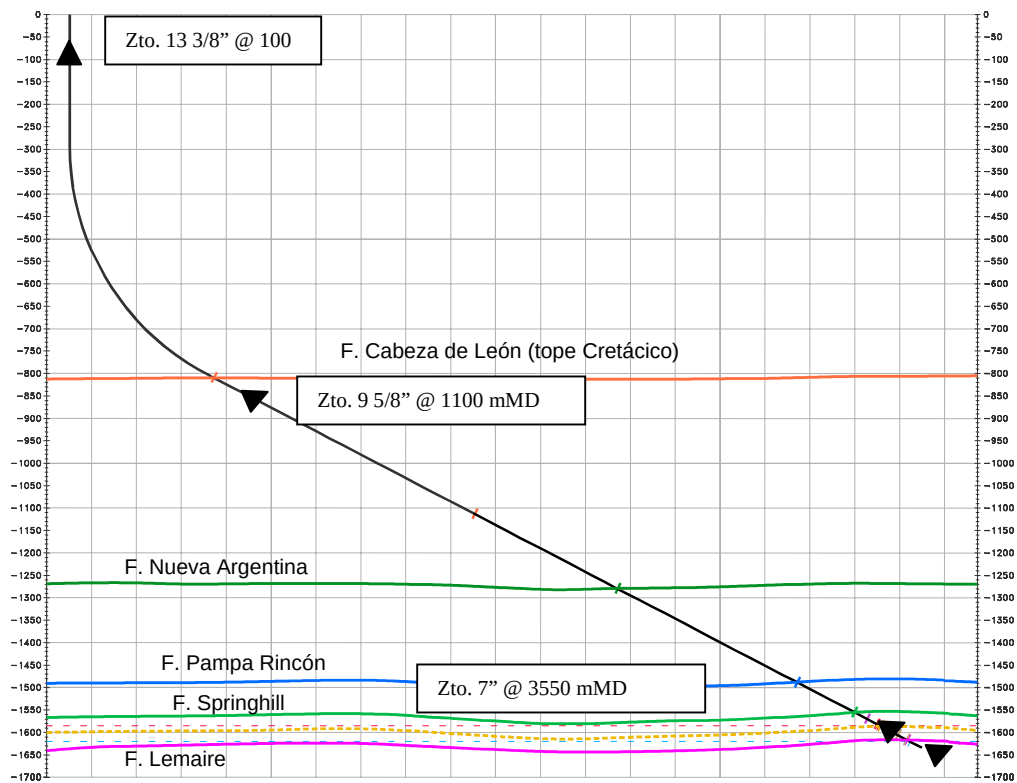


Figura 3 - Esquema de pozo y cañerías

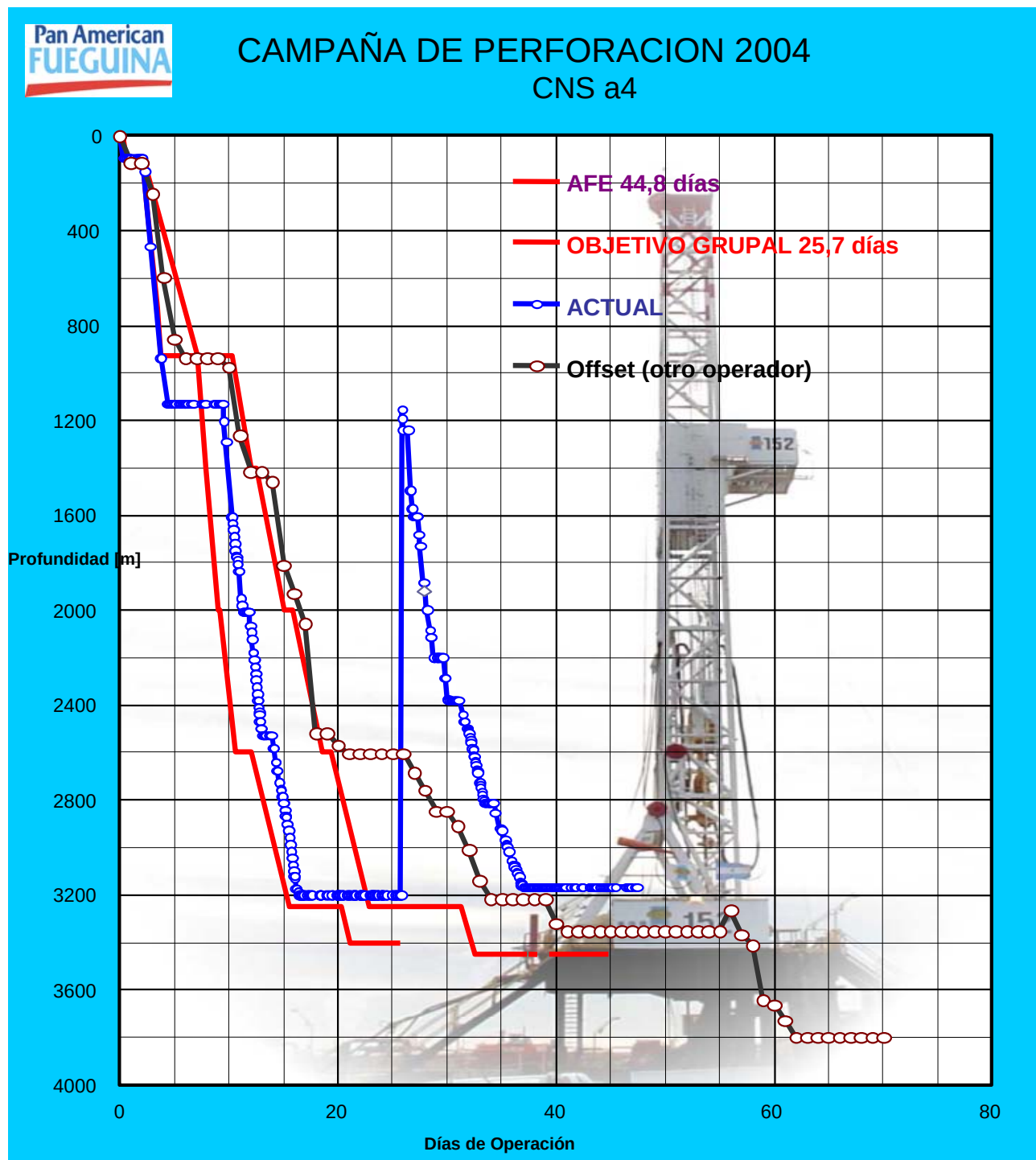


Figure 4 –Curva de avance Programadas y Planeadas con Pozos de referencia

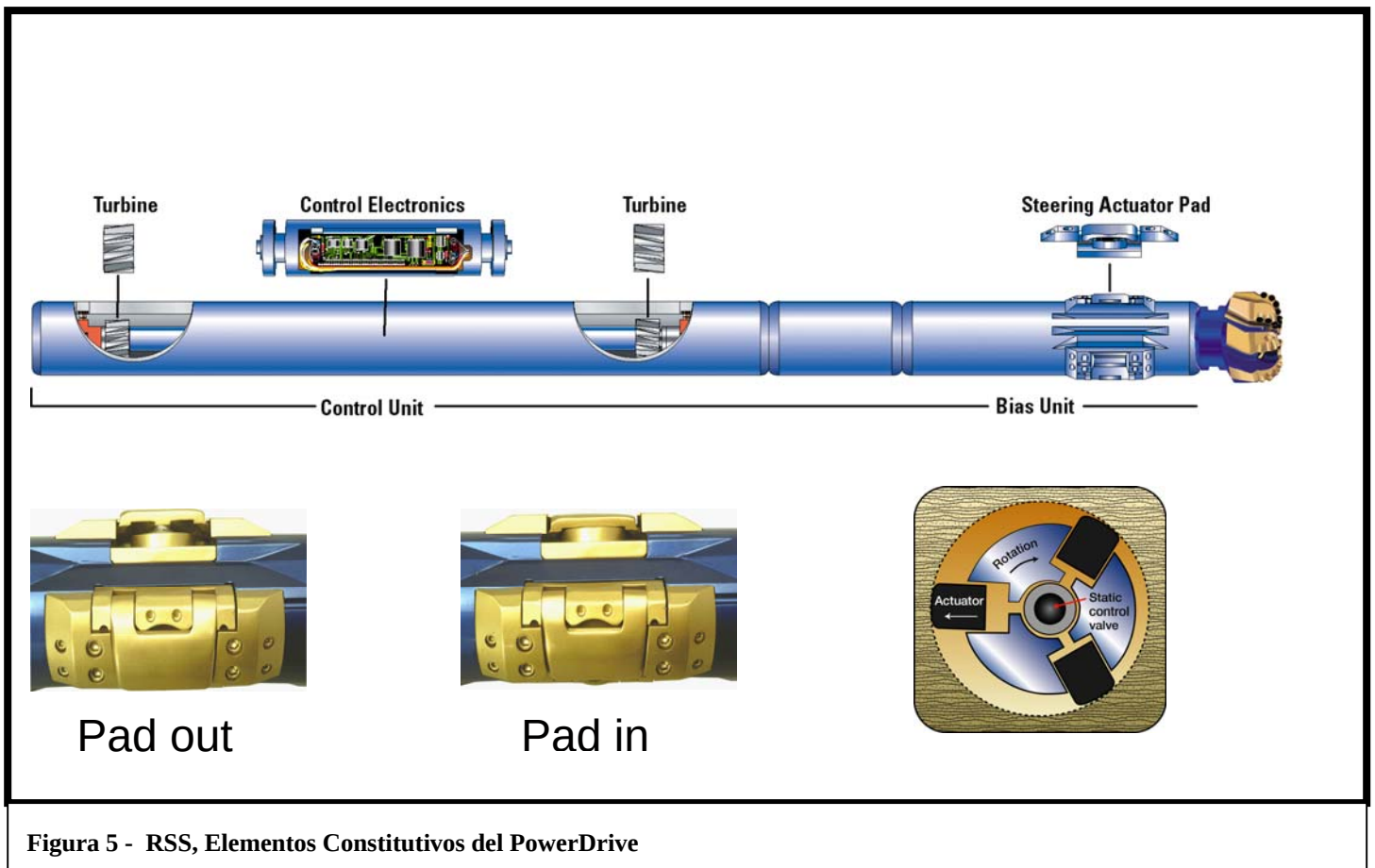


Figura 5 - RSS, Elementos Constitutivos del PowerDrive

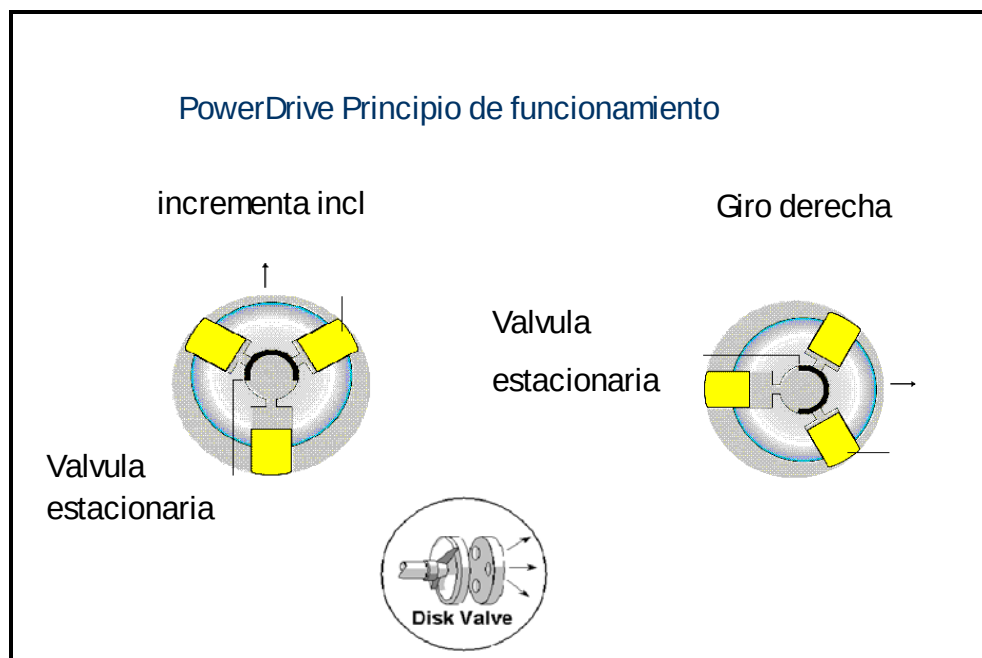


Figura 6 - Principio de Funcionamiento del RSS

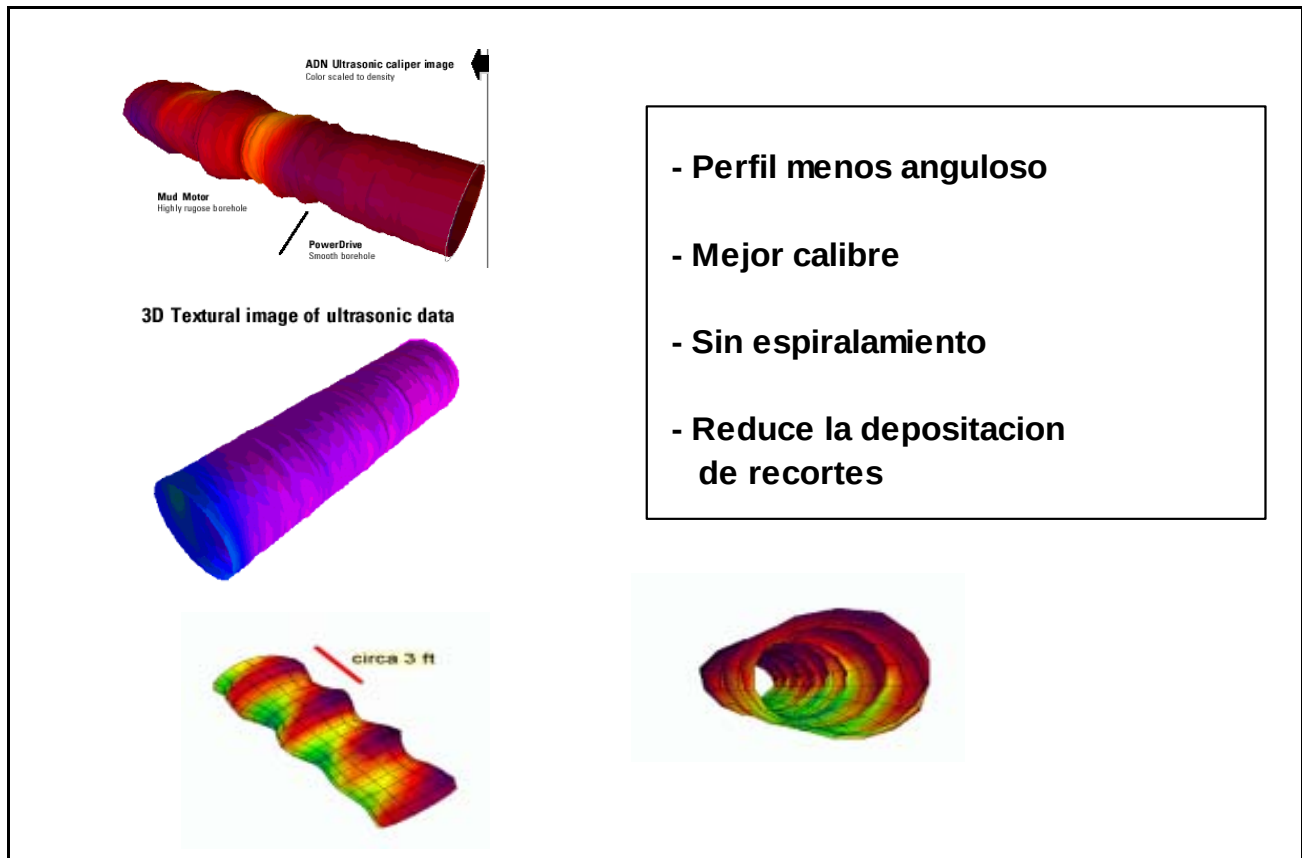


Figura 7 - Calidad de Pozo Obtenida según el tipo de Conjunto direccional usado.

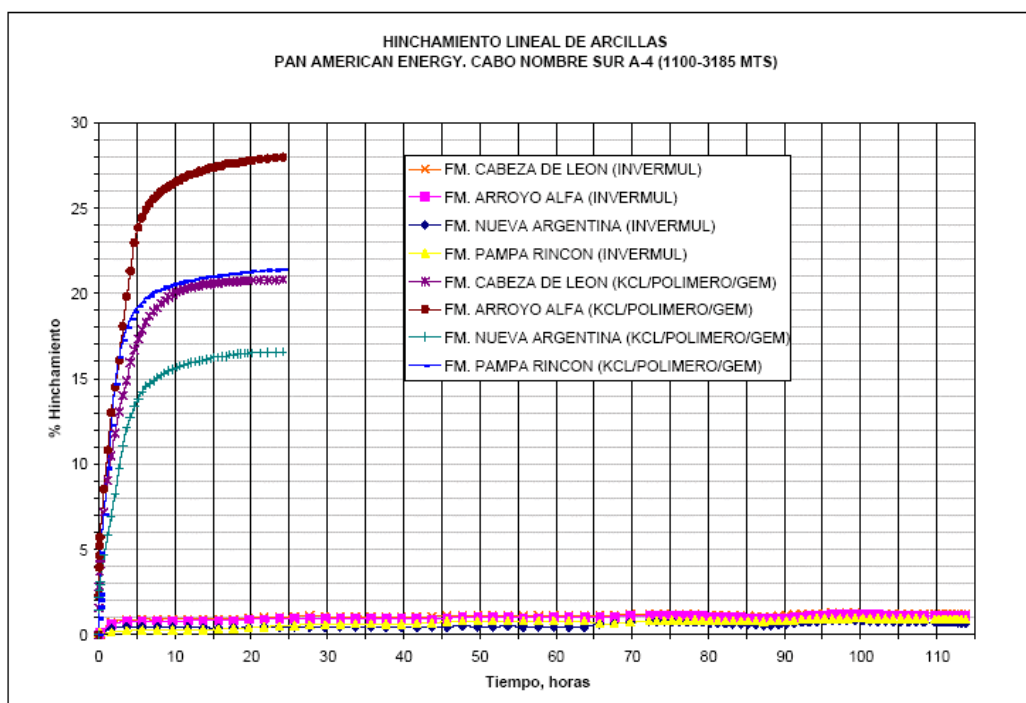


Figura 8 – Hinchamiento Lineal de las arcillas en las distintas formaciones presentes en Cabo Nombre, con lodo base agua y base Petróleo.

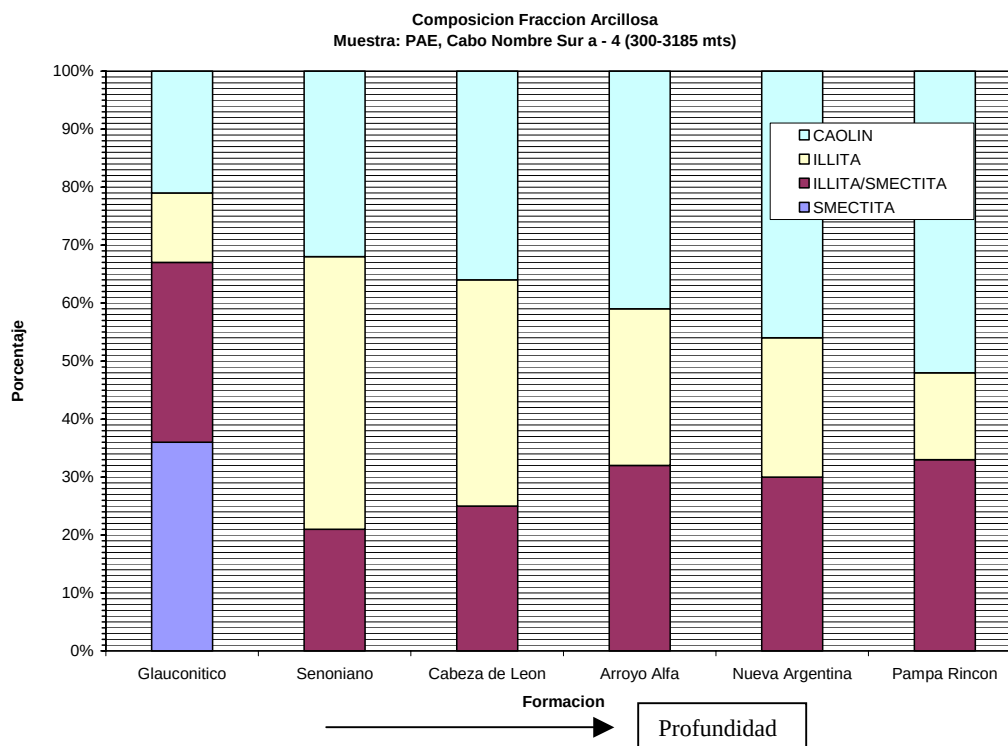


Figura 9 - Composición de las arcillas según las formaciones en Cabo Nombra Sur. Se puede observar la proporción creciente de Caolinita a medida que se incrementa la profundidad de las mismas.

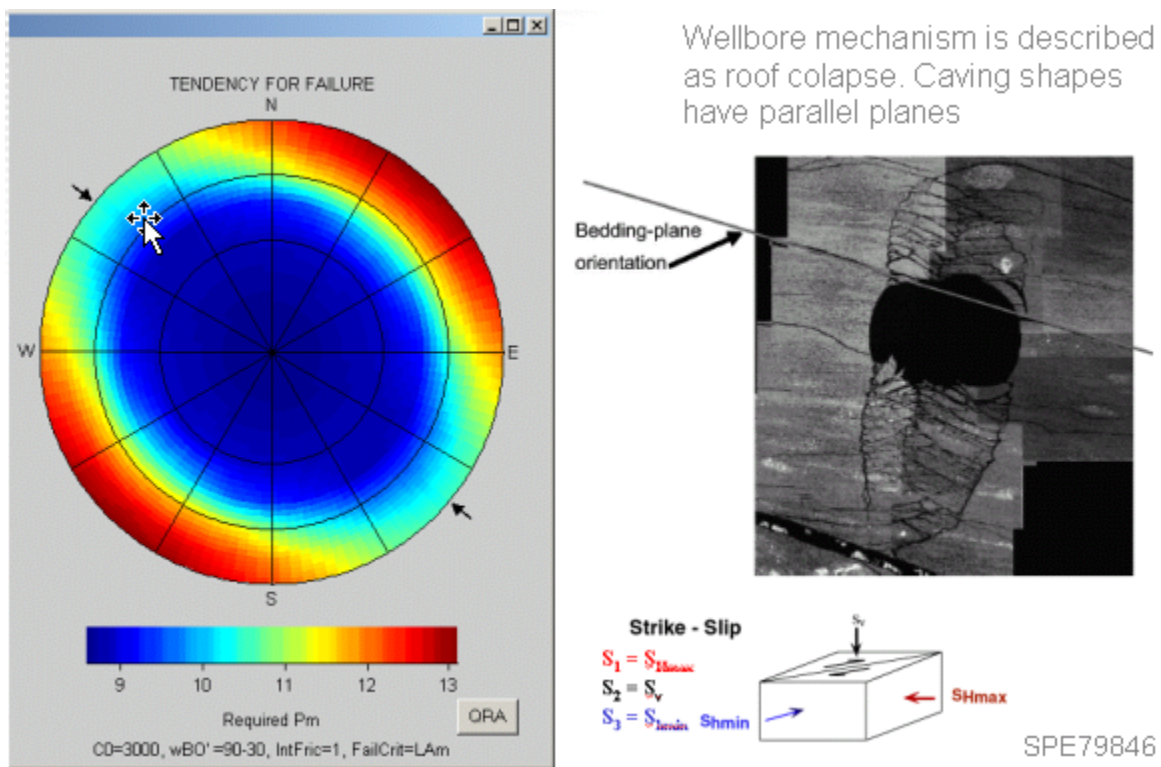


Figura 10 - Resultados de Estudio de geomecánica, descripción del estado de esfuerzos en Cabo Nombre.

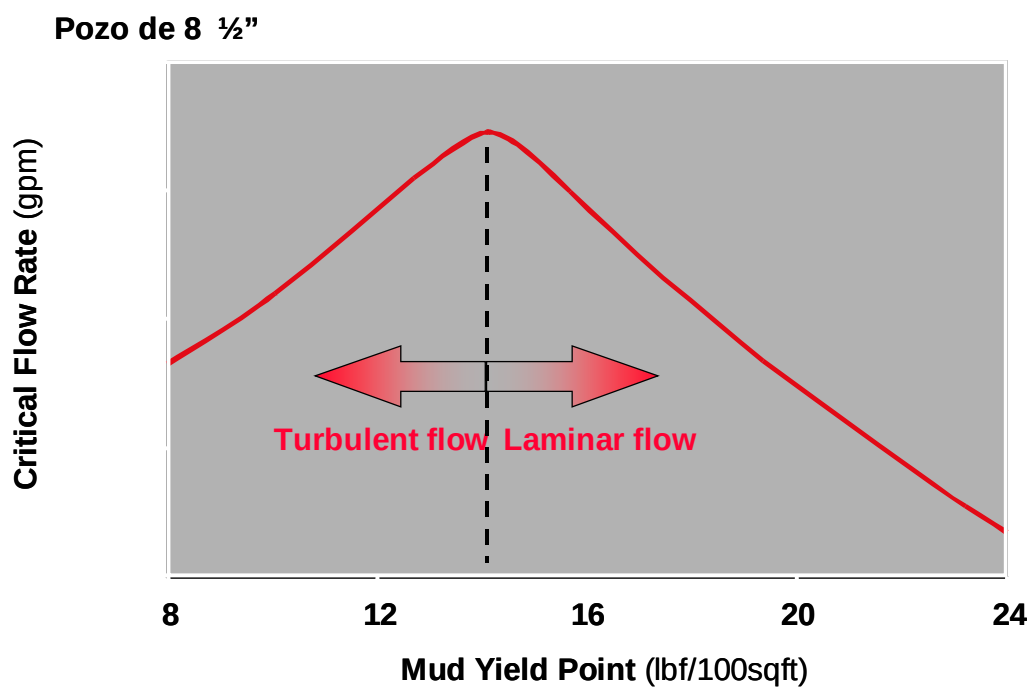


Figura 11 - Influencia del Punto de Fluencia en el Caudal Crítico de Limpieza del Pozo

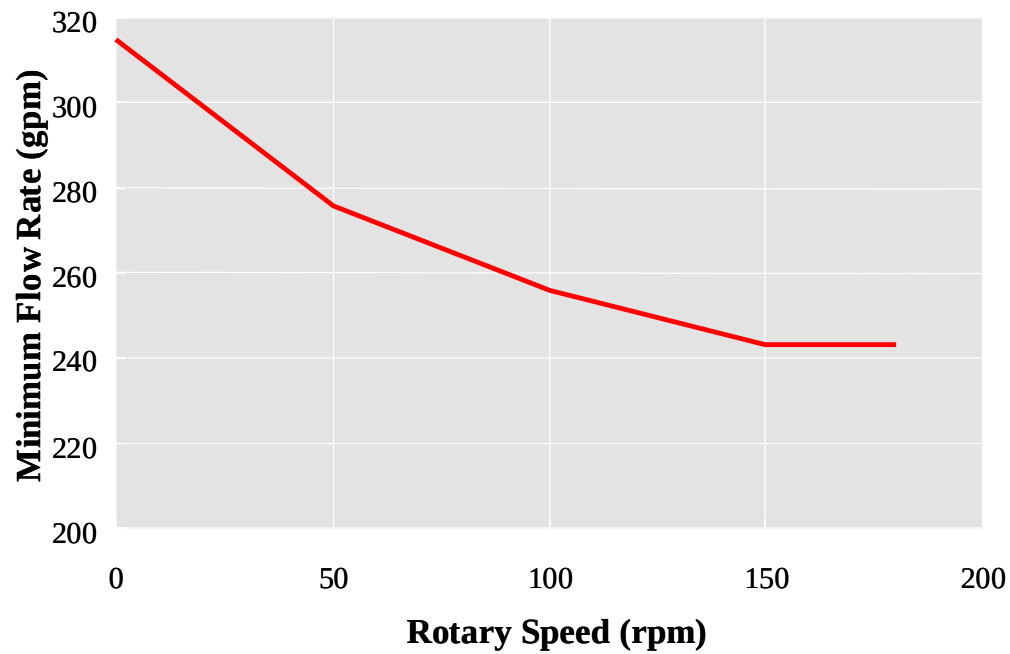


Figura 12 - Influencia de la Rotación de la columna en Caudal mínimo requerido para limpiar un pozo de alto ángulo.

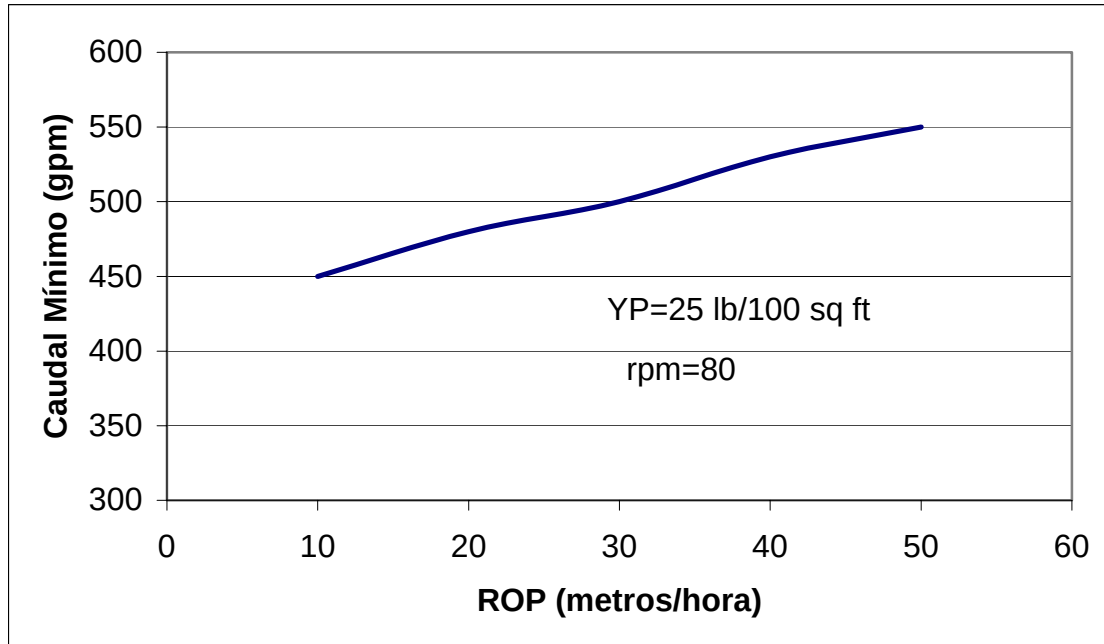


Figura 13 - Influencia de la ROP en el Caudal necesario para una limpieza efectiva en un pozo de alto ángulo.

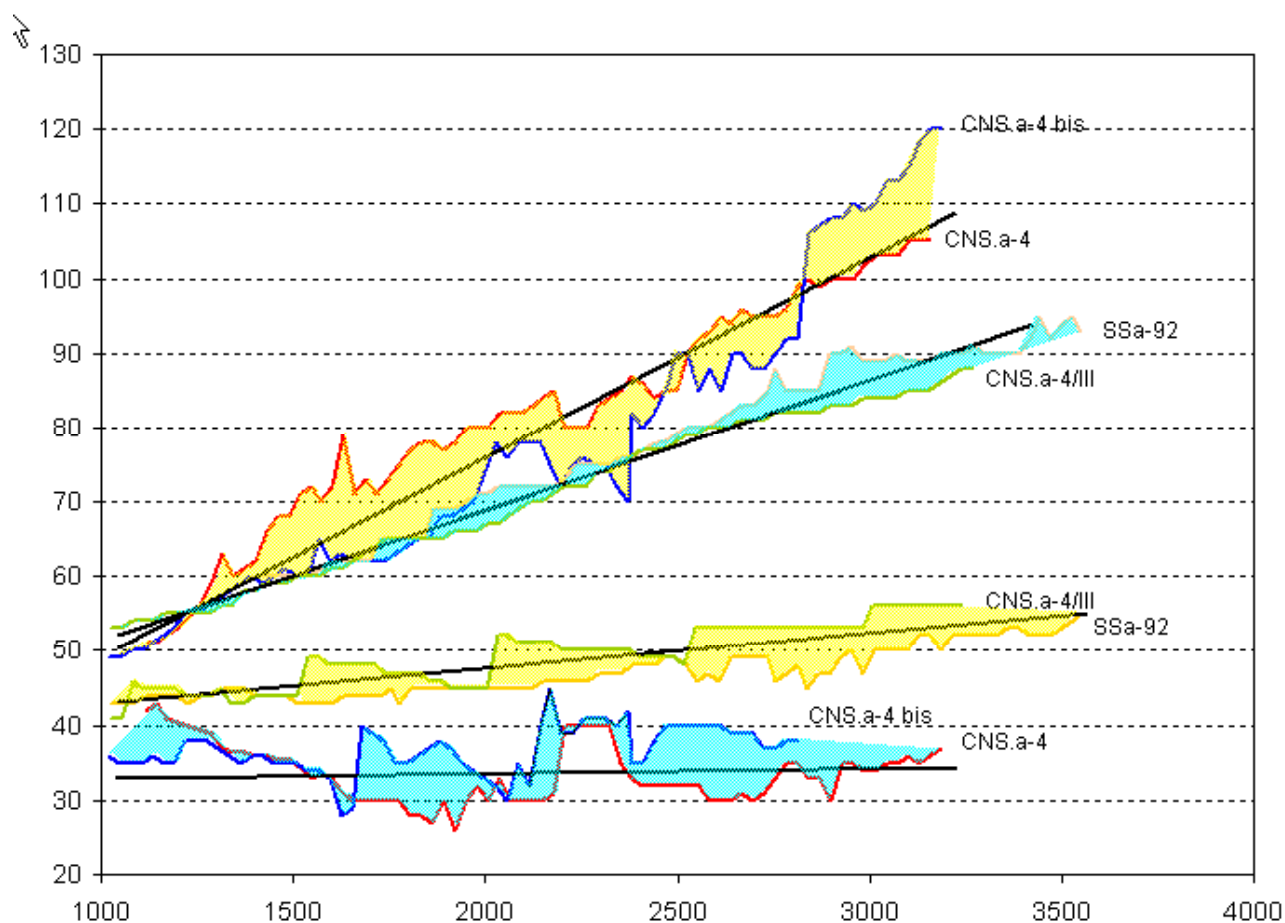


Figura 14. Gráfica de Maniobras de sacada y bajada durante la perforación, donde se puede apreciar las significativas diferencias tanto en magnitud como en consistencia. Las amplitudes de variación entre los dos primeros pozos fallidos y los realizados con RSS y OBM, son muy marcadas.

• Que se planeó? • Que se realizó? • Que se realizó sin planear? Porque? • Que no se realizó. Porque? • Que resultados se obtuvieron? • Que repetiríamos? • Que modificaríamos? • Que no haríamos de nuevo?			Resultado Parcial?(cumplió con plan en todos los aspectos?)	En un pozo de similares características: Explicar brevemente las razones de la calificación. Indicar documentación de soporte			
TAREA/ Hta./ PROCESO	Se realizó lo que se planeó?/Las mejores prácticas fueron usadas?	Resultado General?(cumplió con plan?)		Repetiríamos	Modificaríamos	No repetiríamos	
Parametros							
Caudal	SI	SI	SI	SI			Q=540 gpm opt. 600gpm max.
Hidráulica Boq.	SI	SI	SI	SI			4x13+1x12
Peso	SI	SI	SI	SI			Perforador Automático para optimizar la perforación del tramo
RPM	SI	SI	SI	SI			120-140 al final del tramo
Procedimientos							
Plan Direccional	SI	SI	SI	SI			Mantener el concepto de trabajar en una banda en lugar de una línea. Establecer criterios claros de aceptabilidad, para evitar correcciones abruptas.

Figura 15 - Ejemplo de formato de AAR - Revisión luego de la acción

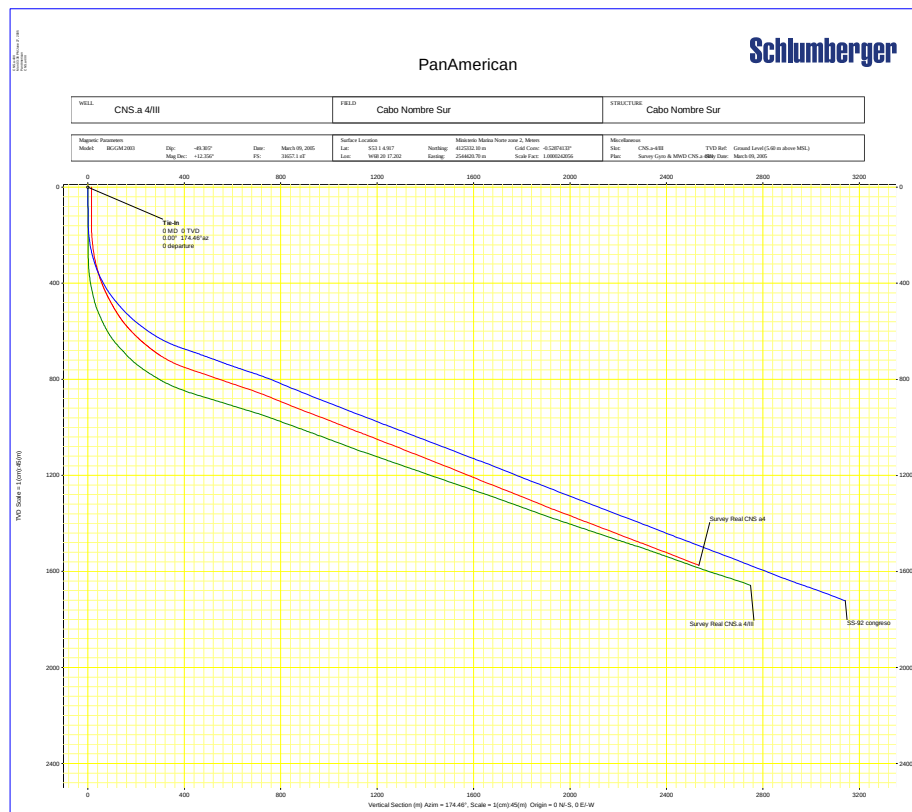


Figura 16 – Comparación de las curvas de los pozos proyectados sobre el mismo plano azimutal. Azul curva superior): SS.a-92, Rojo (curva centro): CNS.a-4, Verde (curva inferior): CNS.a-4/III

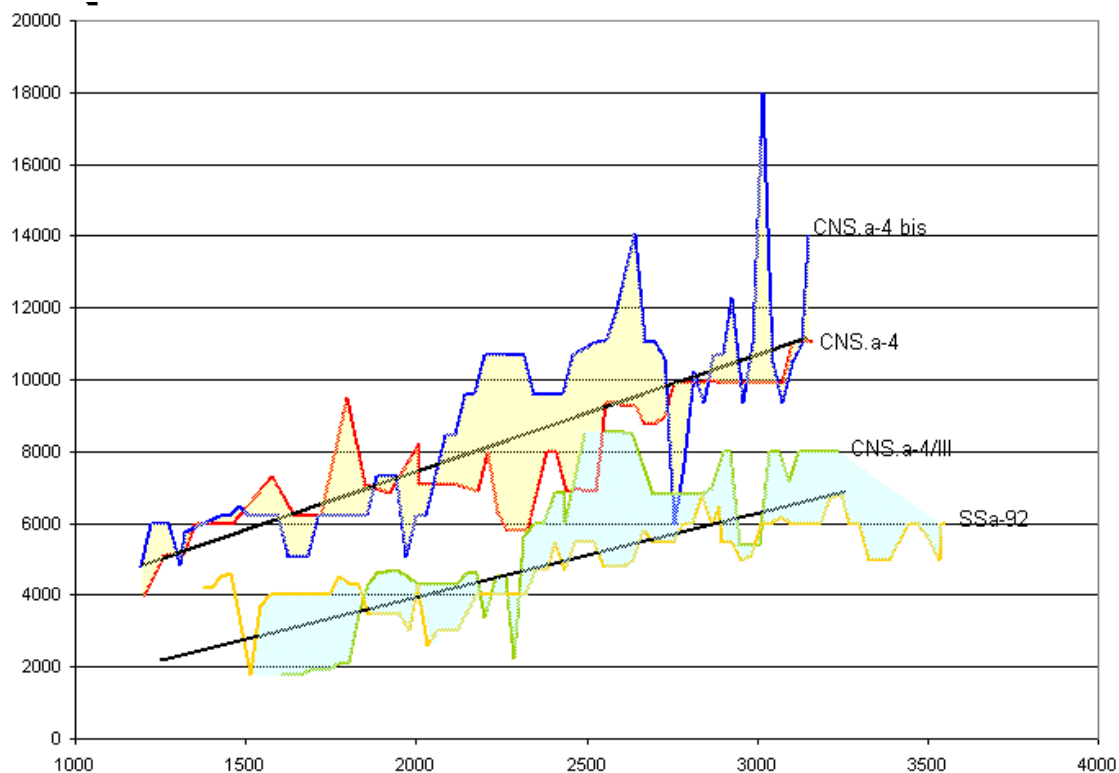


Figura 17 – Curvas con la evolución del torque en los pozos realizados. Puede observarse la diferencia entre los pozos realizados con Motor/WBM (CNS.a-4, CNS.a-4bis) y los realizados con RSS/OBM (SS.a-92 y CNS.a-4/III)

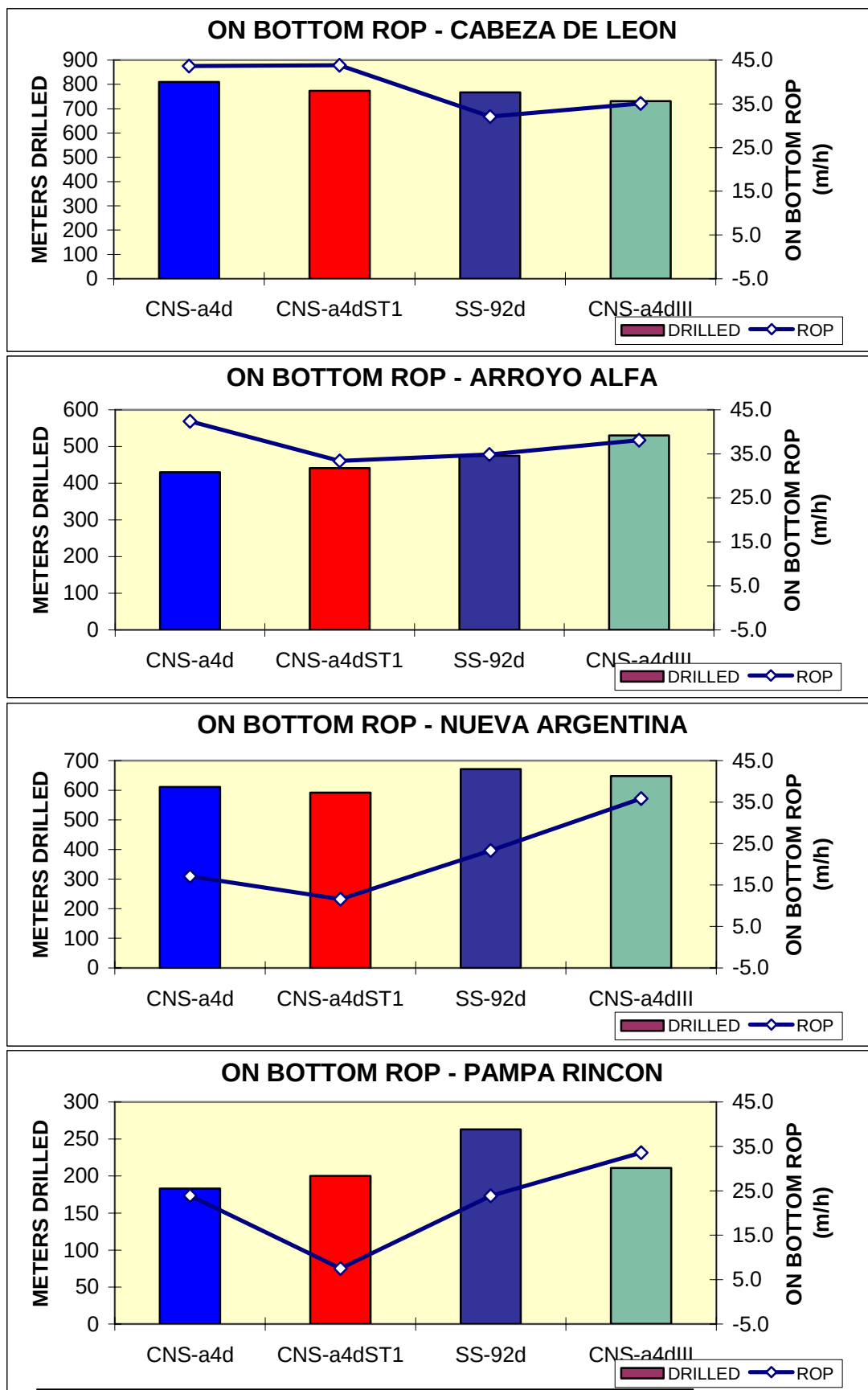


Figura 18 – ROP por pozo por formación