

# **APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS DE SISTEMA ROTARIO TIPO POINT THE BIT Y LWD PARA PERFORACION DE POZO HORIZONTAL SHALE OIL FORMACION VACA MUERTA, YACIMIENTO BARDA GONZALEZ, CUENCA NEUQUEN**

**Guillermo Zanatello; Halliburton Argentina; [guillermomodavid.zanatello@halliburton.com](mailto:guillermomodavid.zanatello@halliburton.com)**

**Ricardo Meli; Apache Energia Argentina; [ricardo.meli@apachecorp.com](mailto:ricardo.meli@apachecorp.com)**

## **Abstract**

**Descripción:** Los yacimientos Bajo Barda Gonzalez y Barda Gonzalez se localizan en provincia de Neuquen; la formación objetivo, el Shale de Vaca Muerta. Se nos asignó la perforación de dos pozos horizontales. El primero de ellos se ajustó a un diseño con la sección de la curva entubada y posterior perforación de la sección horizontal; la primer sección perforada con conjunto steerable con motor de fondo y la segunda con sistema rotario del tipo point the bit. El segundo pozo planteó el desafío de un diseño donde curva y extensión horizontal se perforarían en un mismo diámetro de 8.1/2", utilizando en este caso sistema rotario de perforación del tipo point the bit. En ambos casos se utilizó registros de perfilaje de pozo en tiempo real, data que junto con la información obtenida posteriormente del registro asistido, permitiría seleccionar las zonas más aptas para la fracturación hidráulica.

**Aplicación:** La aplicación de sistema rotario de perforación del tipo Point the Bit sugerido permitiría alcanzar la severidad programada en la curva (DLS, Dogleg Severity) gracias a la característica de EDL (Enhanced DogLeg) que posee la herramienta y además mejorar la rata de penetración en comparación con un conjunto steerable con motor de fondo, desarrollando al mismo tiempo una trayectoria de pozo con baja en tortuosidad. Por otro lado, la aplicación de LWD (Logging While Drilling) nos da la posibilidad de obtener los registros del pozo en tiempo real asegurando una perfecta correlación geológica en el momento de alcanzar el landing point y posterior navegación horizontal.

**Resultados, Observaciones, Conclusiones:** De acuerdo con lo programado, utilizando conjunto steerable con motor de fondo se construyó primera sección de curva hasta 52° de inclinación; desde esta profundidad se inicia con Sistema Rotario Point the Bit y LWD Triple Combo completando tramo curvo hasta landing point y perforando luego 590m de sección horizontal hasta TD 2430m. El sistema rotario Geo-Pilot® EDL 7600 completó exitosamente el intervalo de 862m. En el tramo de curva donde se utilizó ambos tipos de conjuntos de perforación, se alcanzó una ROP (Rate of penetration) gral. de 7.81m/hr mientras que en el tramo horizontal donde solo se utilizó sistema rotario la ROP gral fue de 9.38m/hr. Operaciones de registros eléctricos asistidos y corrida de casing de producción se realizaron sin inconvenientes confirmando la baja tortuosidad en la geometría y la muy buena calidad de pozo conseguida. Reflejada en el menor coeficiente de fricción monitoreado durante la perforación. En comparación con el primer pozo horizontal perforado, el cambio en el diseño en el segundo pozo y la aplicación del sistema rotario Geo-Pilot® EDL 7600 en la curva y extensión, resultó en una disminución del 35% en el tiempo operativo total y un aumento promedio del 94% en la ROP general.

## **Introducción**

El presente trabajo analiza y compara los resultados operativos obtenidos en la perforación de dos pozos horizontales ubicados en la provincia de Neuquén, yacimientos Bajo Barda Gonzalez y Barda Gonzalez respectivamente teniendo ambos como objetivo principal la formación Vaca Muerta. Se intenta aquí resaltar la influencia que tuvieron en la mejora del desempeño operativo cambios puntuales en términos de diseño y aplicación de tecnología, haciendo especial mención en la elección de un Sistema Rotario de perforación tipo Point the Bit para la perforación de la sección horizontal en el caso del primer pozo y parte de sección curva y sección horizontal para el caso del segundo.

## **Desarrollo**

Las metas y objetivos principales que la Compañía operadora se propuso para este proyecto fueron:

- ✓ Desarrollar sus primeros pozos horizontales en formación Vaca Muerta.
- ✓ Establecer diseños de pozo para mantener la estabilidad del hueco.
- ✓ Utilizar lodo de perforación base agua.
- ✓ Comprender el comportamiento de la estabilidad de la formación Vaca Muerta en las secciones curva y lateral horizontal.

Para un mejor entendimiento del caso se mencionarán en primera instancia los aspectos destacados de ambos pozos perforados tanto desde el punto de vista de diseño de trayectorias como así también de la construcción de las mismas. Esta información nos permitirá posteriormente, comprender con mayor facilidad tanto la comparación de los resultados obtenidos en ambas experiencias como así también las conclusiones a las que se llegó.

## Esquema de Primer Pozo Horizontal perforado

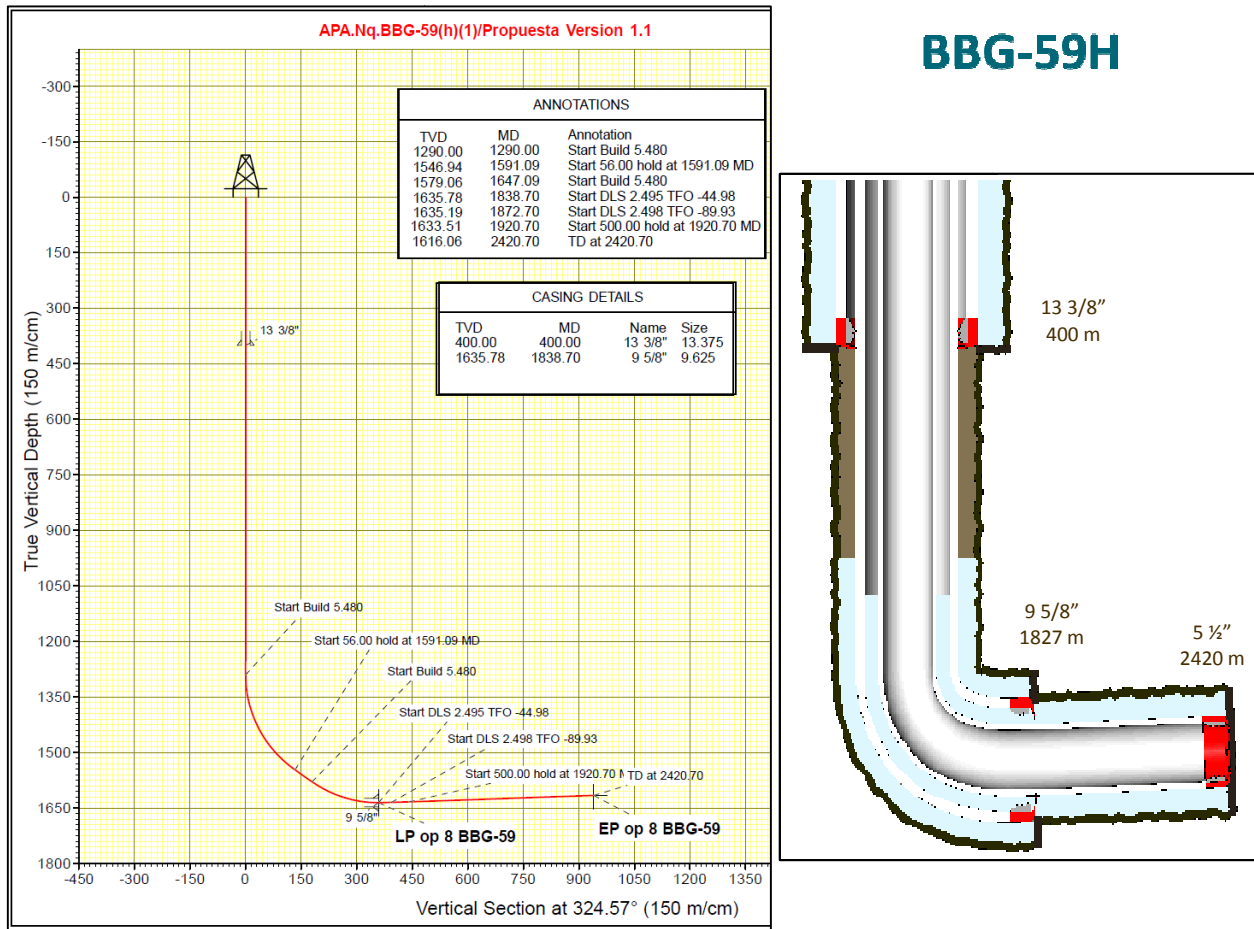


Figura 1

### Síntesis de la perforación

Analizaremos las secciones de diámetro 12.1/4" y 8.1/2" que son el motivo de la comparación.

#### ✓ Fase 12.1/4"

La perforación de esta fase comprendió un tramo de control de verticalidad hasta profundidad de inicio de desviación KOP (kick off point) a partir de la cual se continuó con la perforación de la fase de construcción de curva hasta alcanzar profundidad de aterrizaje a 90° de inclinación en la formación objetivo (Fm.Vaca Muerta). Los conjuntos de perforación utilizados fueron del tipo direccional con Motor de Fondo diámetro 8", Sistema de medición continua MWD (measure while drilling) y sensor de rayos Gamma. La perforación de toda la fase demandó seis corridas de conjuntos de fondo diferenciados entre sí por cambios en las características del trépano utilizado como así también en la estabilización del conjunto y en la regulación de la camisa desviadora del motor de fondo (bent housing). El último conjunto se destinó solo a la operación de normalización del pozo antes de la corrida de la cañería de entubación.

La construcción de la sección curva se hizo por momentos dificultosa por diferentes factores que se presentaron de los cuales merecen mencionarse: alto torque, problemas para transmisión de peso al trépano, problemas para la perforación orientada (modo sliding), alto desgaste por abrasión en herramientas de fondo. Estos factores perjudicaron en general el avance de la perforación haciendo que penetración (ROP) se mantuviera por debajo de la programada. La figura 2 muestra el esquema del conjunto de fondo utilizado

(BHA, Bore Hole Assembly) y el resultado de los principales indicadores de rendimiento de la sección perforada.

### Cuadro de Resultados de Conjunto de Fondo con DHM (Down Hole Motor). Primer pozo horizontal

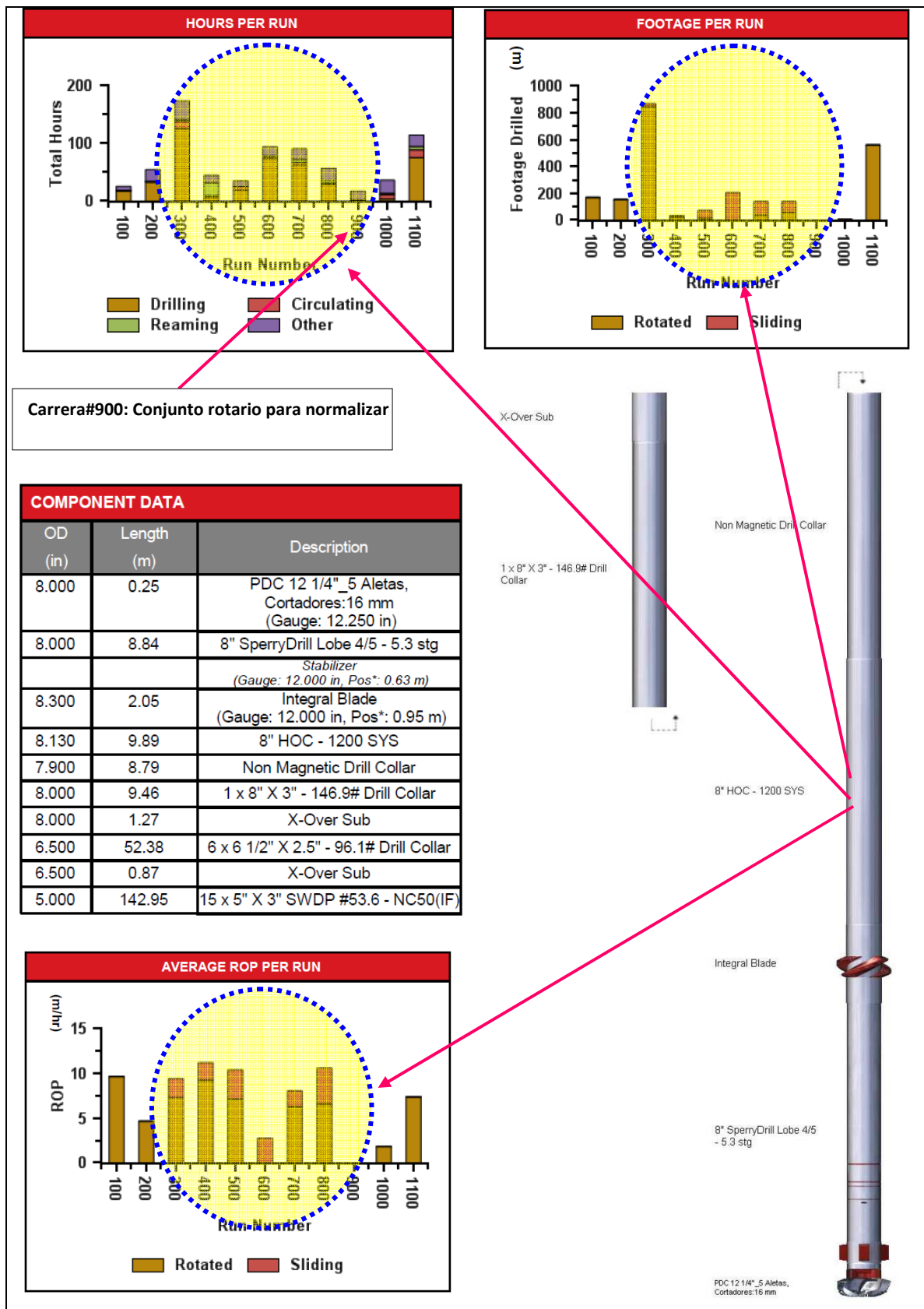


Figura 2

### ✓ Fase 8.1/2"

La perforación de esta fase comprendió un tramo lateral horizontal hasta la profundidad final de pozo (TD, total depth) en 2420 mts en donde el plan direccional indicaba incrementar inclinación hasta 92° y realizar un leve giro del azimut. Se utilizó en esta ocasión un conjunto de fondo con Sistema Rotario de perforación (RSS, rotary steerable system) del tipo “point the bit” cuyas características y principio de funcionamiento se mencionan en el Anexo 1 al final de este documento. Formaron también parte del conjunto los sensores de registros de pozo en tiempo real (LWD, logging while drilling) del tipo triple combo compuesto por los sensores de rayos Gamma, Resistividad inductiva tipo azimutal, Porosidad y sensor azimutal de Densidad. Completaron el set de registros en tiempo real los dedicados a la optimización de la perforación como son sensor para control de peso equivalente de lodo (PWD, pressure while drilling), inclinación en el trépano (ABI, at bit inclination) y sensor de vibración (DDS, dynamic drilling sensor).

El total de los 563 mts de la fase se perforaron sin problemas manteniendo buena penetración (ROP).

Finalizada la perforación del tramo, se realizaron a continuación las operaciones de registros eléctricos asistidos y corrida de casing de producción; ambas se desarrollaron con normalidad. Las figuras 3 y 4 muestran el esquema del conjunto de fondo utilizado (BHA) y el cuadro con los principales indicadores de rendimiento de cada uno donde se identifican los correspondientes al conjunto de fondo utilizado.

### Conjunto de Fondo para fase lateral horizontal en primer pozo

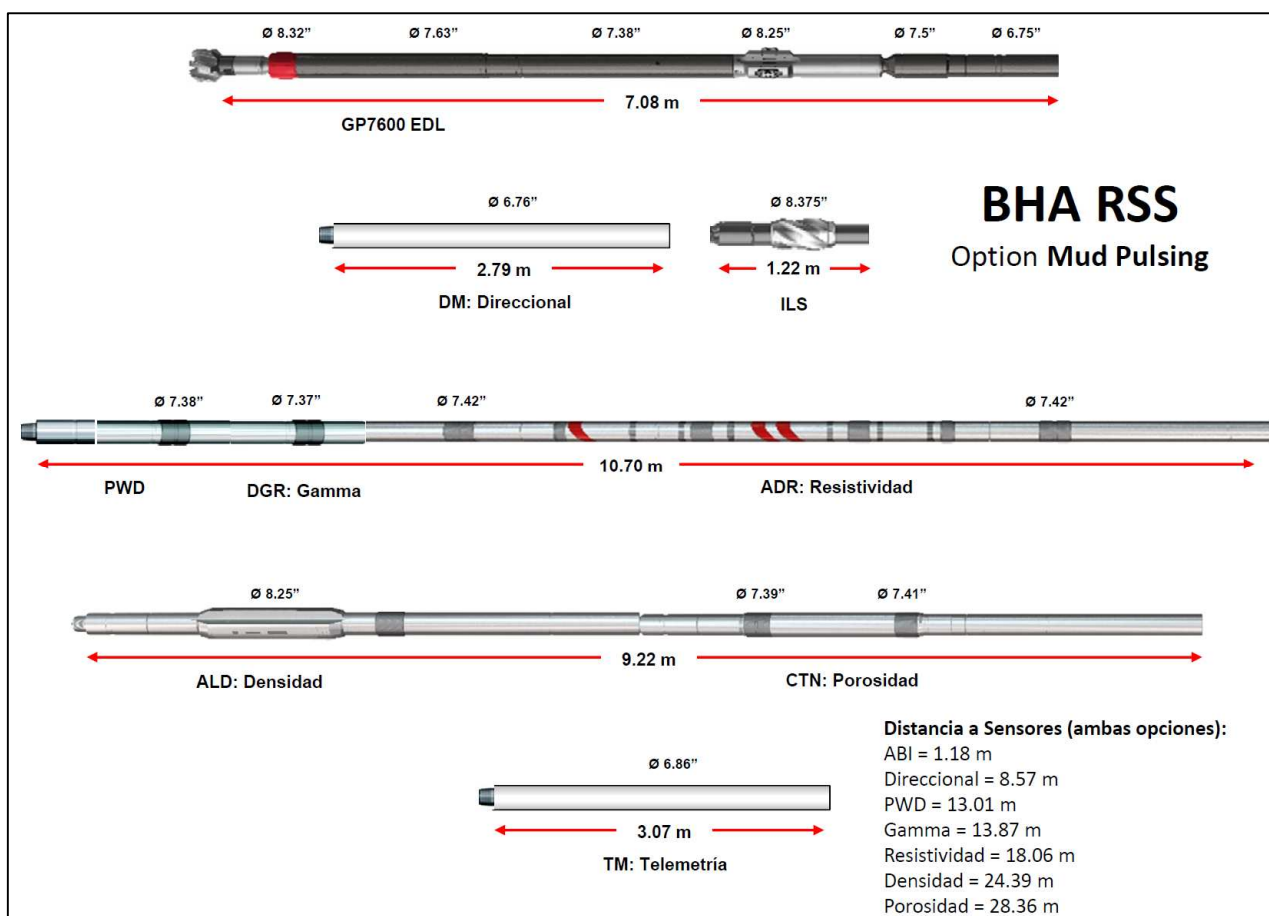


Figura 3

## Cuadro de Resultados para Conjunto de Fondo con Sistema Rotario. Primer pozo horizontal

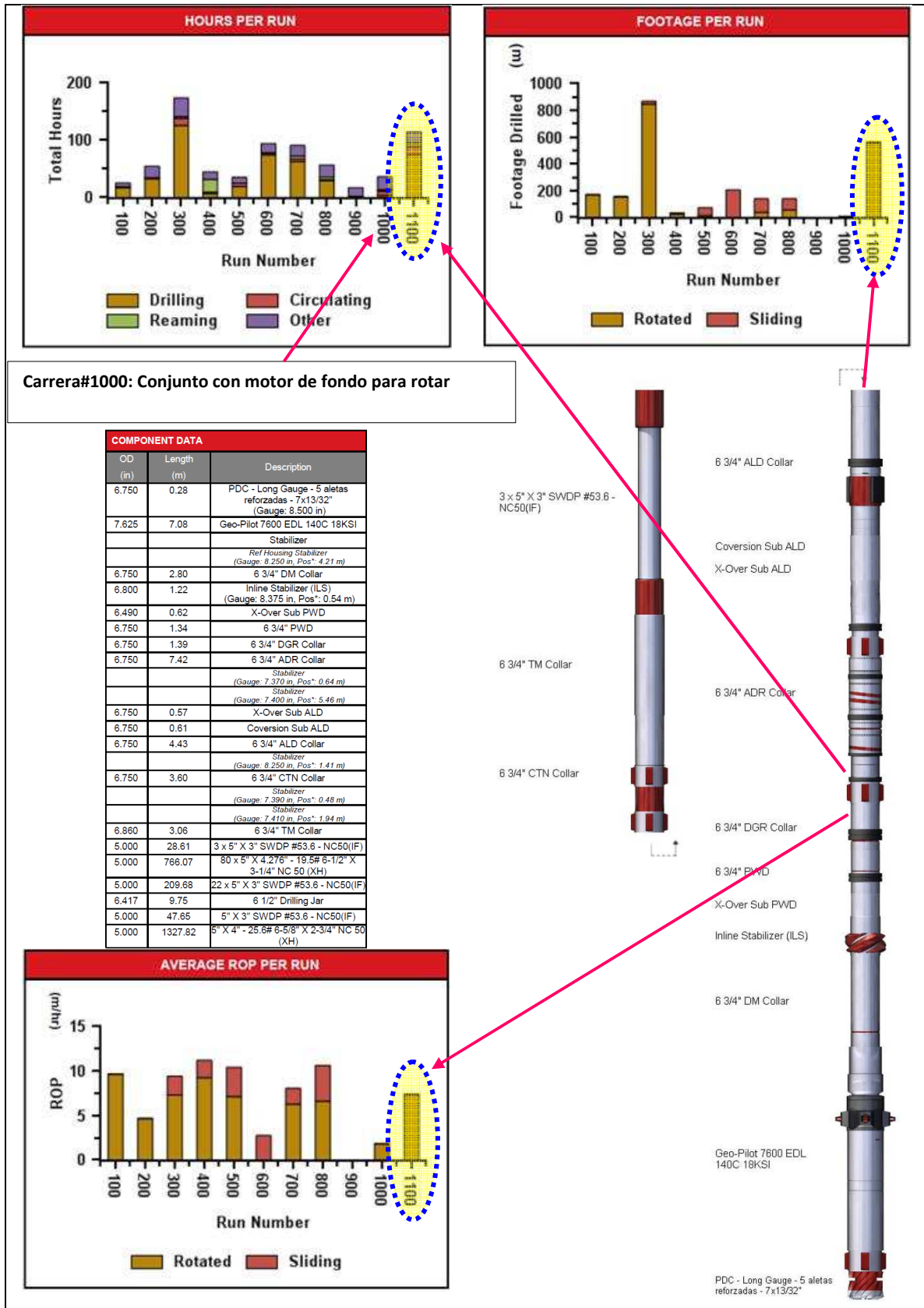


Figura 4

En la figura 5 se comparan las curvas de avance planificada (AFE, authorization for expenditure) y real (actual); se resalta aquí los 2 días en ahorro de tiempo en el tramo perforado con Sistema Rotario de Perforación utilizado.

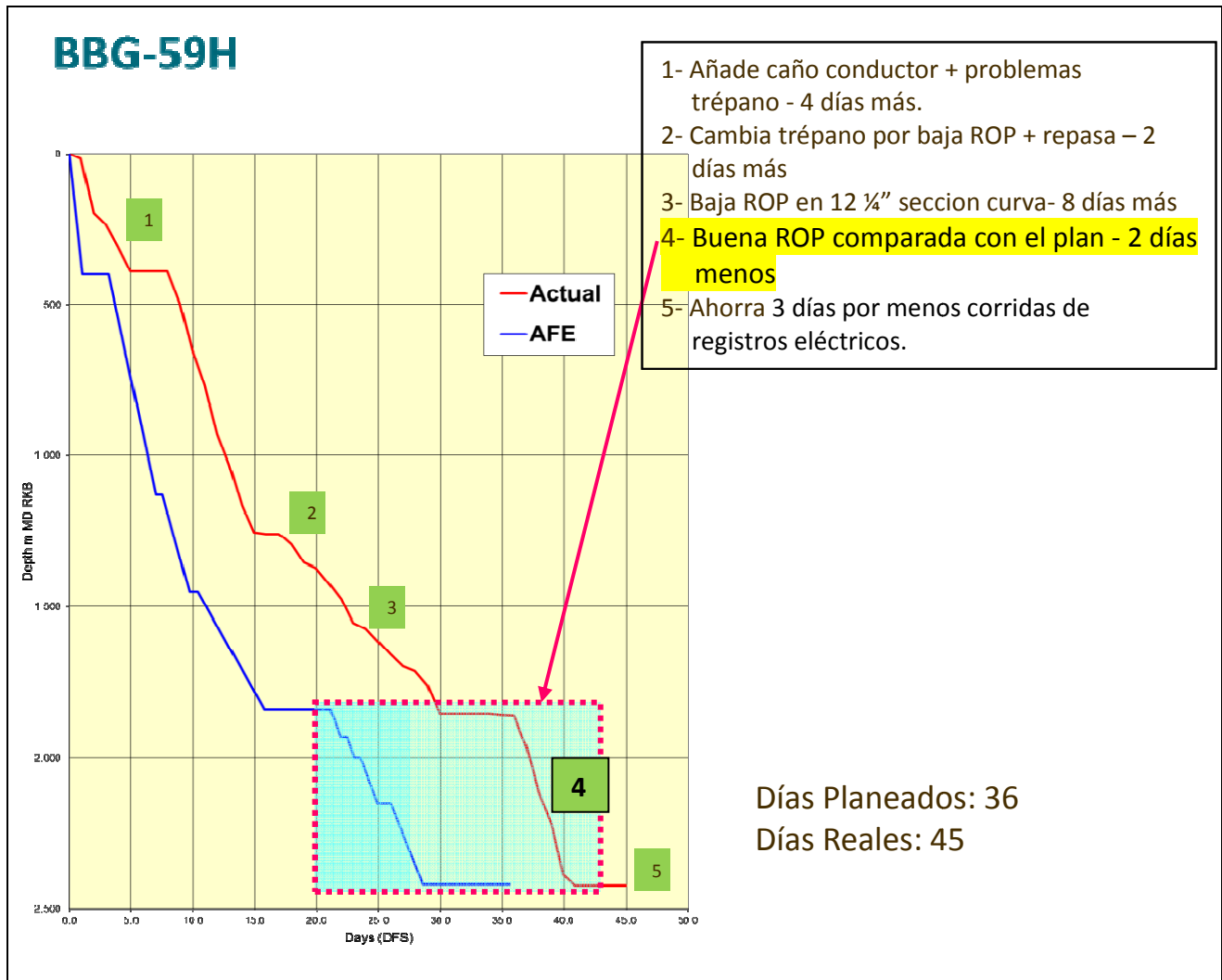


Figura 5

A pesar del ahorro de tiempo conseguido en la última etapa, la ejecución completa del pozo llevó nueve días más de lo que había sido planificado debido a lo indicado en el cuadro sinóptico de la figura 5.

Esquema de Segundo Pozo Horizontal perforado

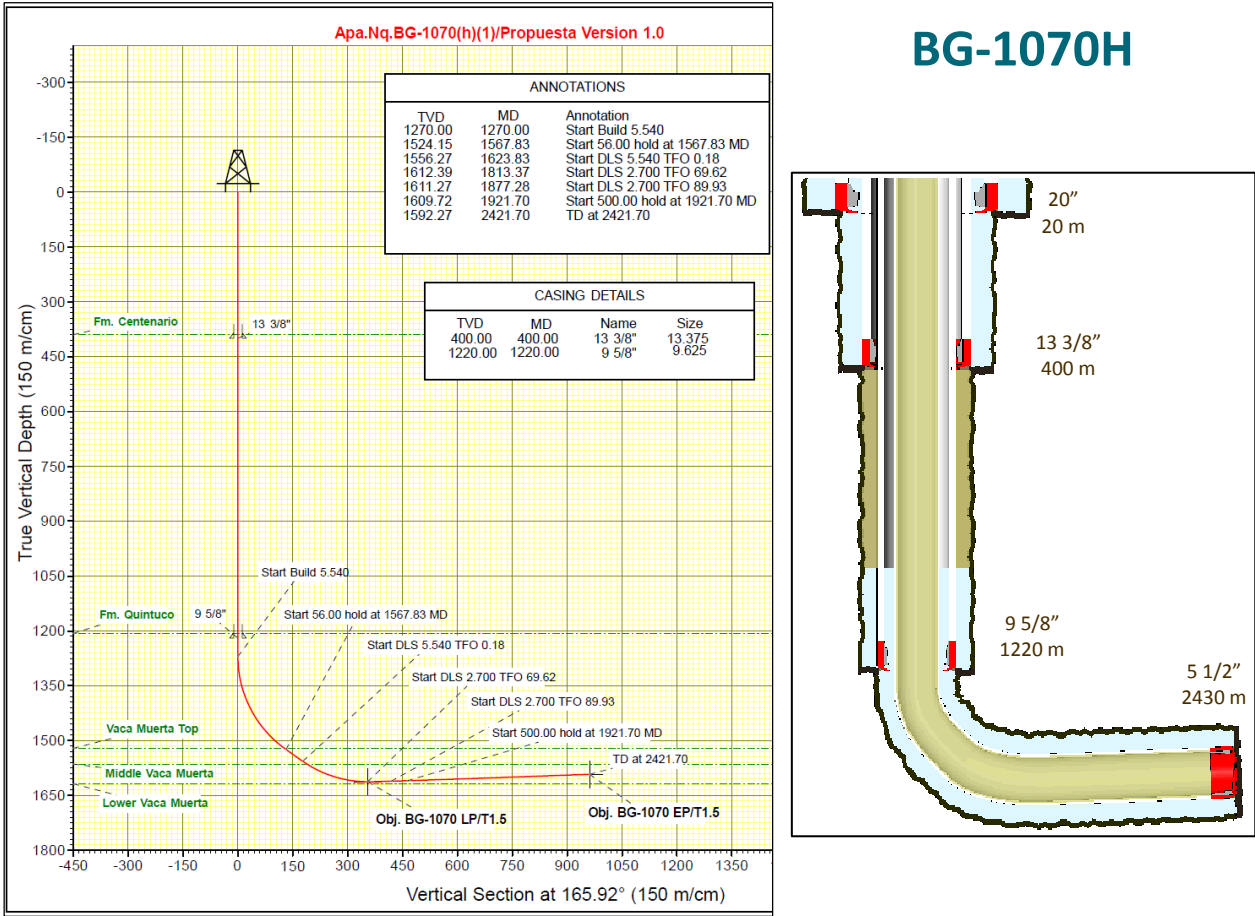


Figura 6

Teniendo en cuenta las lecciones aprendidas como resultado de la perforación del primer pozo horizontal, se introdujeron algunas modificaciones en la planificación del segundo pozo entre las cuales merecen ser mencionadas el cambio de diámetro de perforación de la sección curva a 8.½” y la utilización de Sistema Rotario (RSS) en las secciones de crecimiento angular y lateral horizontal. Se revisaron además el diseño de trépanos y los parámetros operativos de perforación.

## **Síntesis de la perforación**

Analizaremos únicamente la sección de pozo diámetro 8.1/2". El plan direccional contempló la perforación de la fase en dos etapas utilizando para la primera conjunto direccional con motor de fondo (DHM) y sistema de medición (MWD/LWD) desde la profundidad de desvío KOP 1270m hasta los 55° de inclinación a 1567m. A partir de esa profundidad se reemplazaría el motor de fondo por Sistema Rotario de perforación (RSS) con el cual se completaría sección tangencial a 55°, sección curva hasta aterrizaje en formación Vaca Muerta y finalmente sección lateral horizontal hasta profundidad final TD aproximada de 2430m. Durante la perforación con RSS se debería incrementar inclinación hasta conseguir 90° en el punto de aterrizaje y luego, durante la fase lateral, incrementar la inclinación a 92° y realizar un giro en el azimut de 160° a 170°.

### **✓ Fase 8.1/2" con Motor de Fondo hasta 53° de inclinación**

Se utilizó conjunto direccional configurado con sistema de LWD del tipo triple combo compuesto por sensores Gamma Ray, Resistividad inductiva, Porosidad y Densidad azimutal. Completaron el set de registros en tiempo real el sensor para control de peso equivalente de lodo (PWD) e inclinación en el trépano (ABI). Esta primera parte de sección curva se perforó sin dificultad con la salvedad que a partir de los 40° de inclinación fue necesario perforar todo el tiempo en modo orientado (100% sliding) hasta alcanzar los 53°. Se perforaron 315m y la figura 7 muestra el esquema del conjunto de fondo utilizado (BHA) y el cuadro con los principales indicadores de rendimiento.

## Cuadro de Resultados para Conjunto de Fondo con DHM. Segundo pozo horizontal

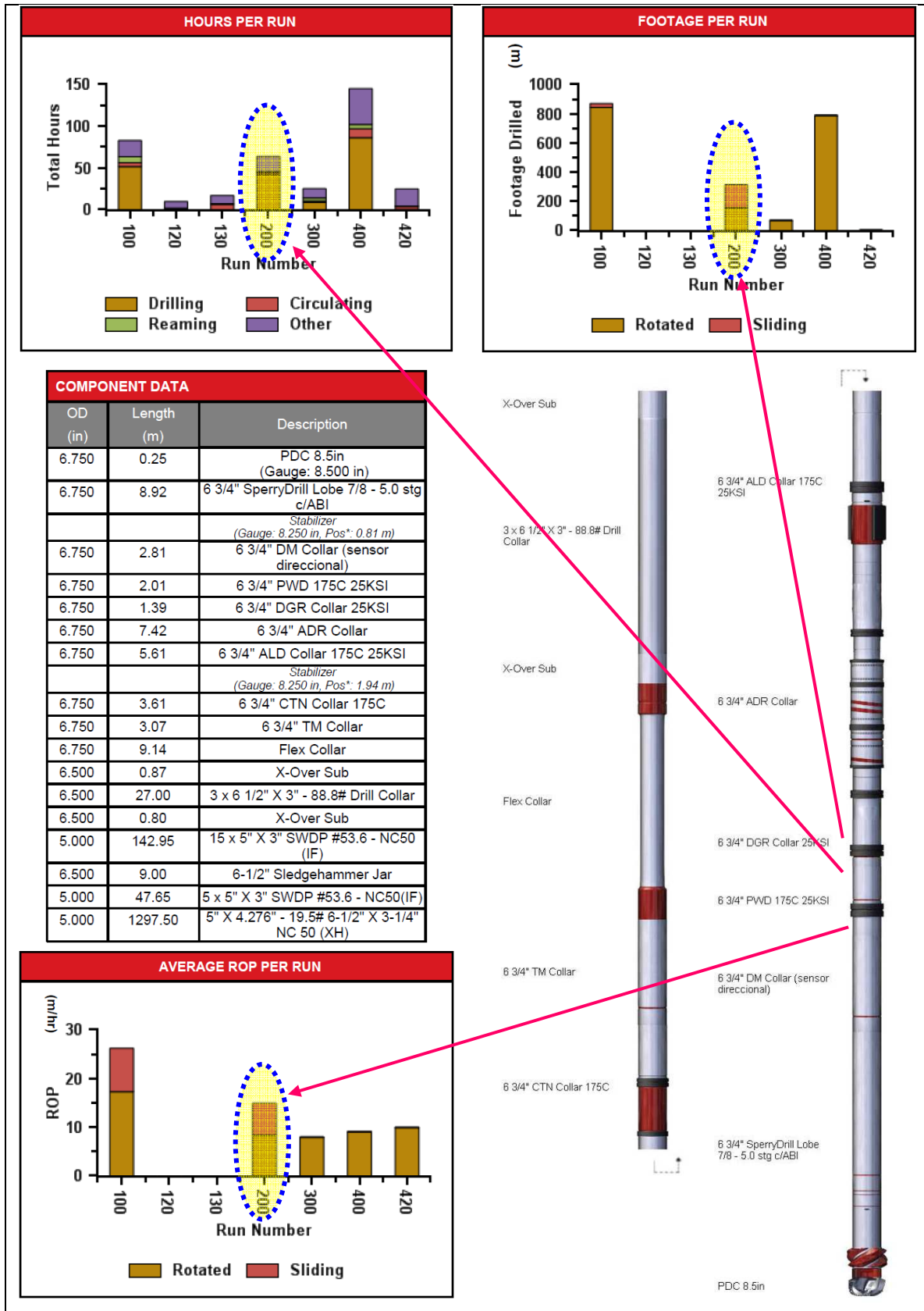


Figura 7

✓ **Fase 8.1/2" con Sistema Rotario (RSS)**

Se utilizó en esta ocasión un conjunto de fondo con Sistema Rotario de perforación (RSS) del tipo Point the Bit más sensores de registro de pozo en tiempo real (LWD) triple combo (Gamma Ray, Resistividad inductiva tipo azimuthal, Porosidad y sensor azimuthal de Densidad). El set se completó con el sensor para control de peso equivalente de lodo (PWD), inclinación en el trépano (ABI) y sensor de vibración (DDS).

A diferencia del caso anterior donde la transmisión de los datos desde el conjunto de fondo a superficie se hiciera mediante pulsos que viajan por el fluido de perforación (telemetría por pulso de lodo), en esta fase de pozo la transmisión se hizo a través de ondas electromagnéticas (EMT, Electromagnetic Tool). Se perforó la sección tangente y el resto de trayectoria curva hasta punto de aterrizaje sin mayores inconvenientes variando la configuración interna del sistema rotario de perforación mientras se iba perforando. Este proceso de adaptación interna del Sistema Rotario utilizado para construir la trayectoria de acuerdo con lo programado se realiza sin necesidad de interrumpir la perforación, característica que destaca a esta herramienta sobre otras que se hayan en el mercado las cuales sí necesitan detener el proceso de perforación mientras se ejecutan los cambios de configuración interna de la misma. Posteriormente se completó la sección lateral horizontal sin problemas alcanzando la profundidad final de pozo TD de 2430 metros. Se realizaron luego las operaciones de registros eléctricos asistidos y corrida de casing de producción las cuales se completaron sin inconvenientes. La figuras 6 y 7 muestran el esquema del conjunto de fondo utilizado (BHA) y los principales indicadores de desempeño respectivamente.

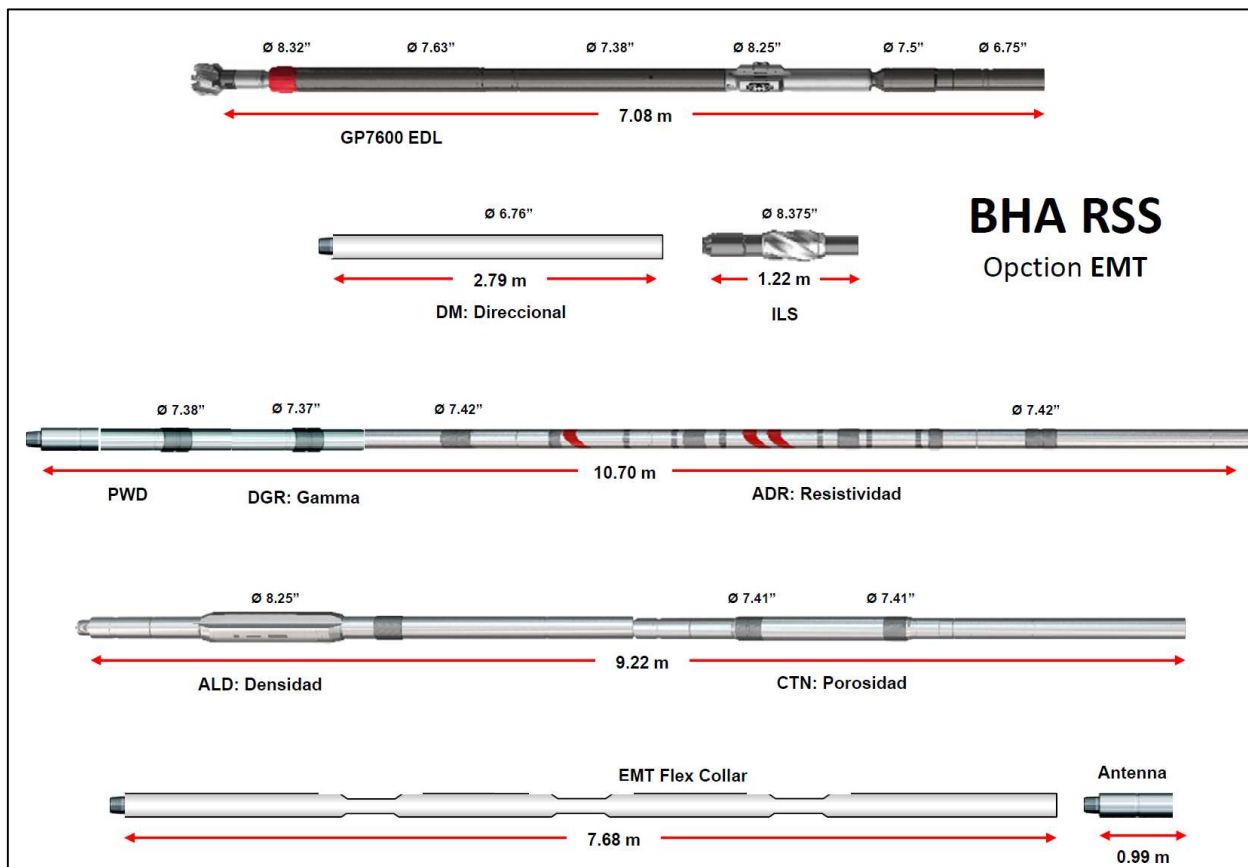


Figura 6

## Cuadro de Resultados para Conjunto de Fondo con Sistema Rotario. Segundo pozo horizontal

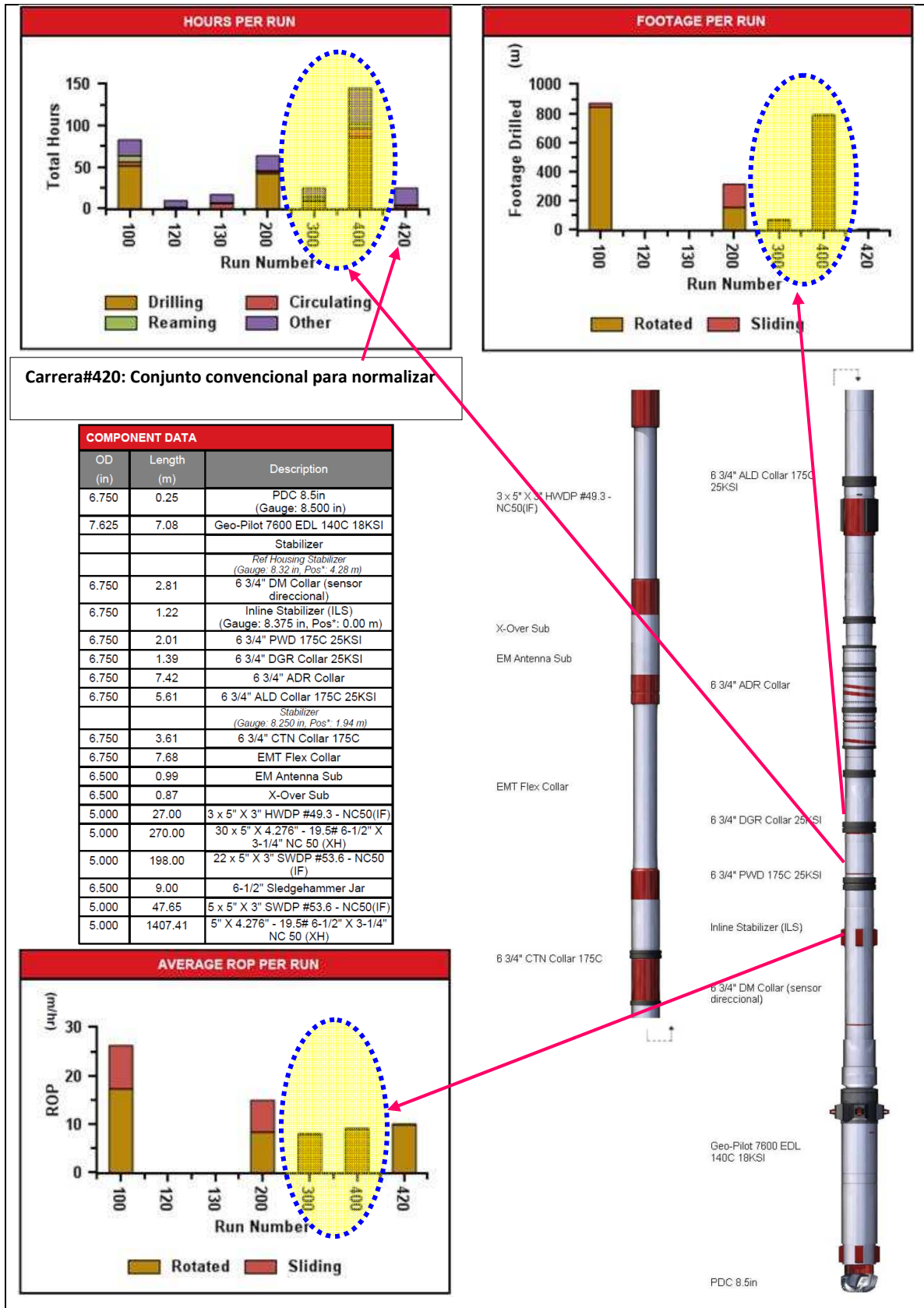


Figura 7

En la figura 8 se comparan las curvas de avance planificada (AFE) y real (Actual); se resalta aquí los 6 días en ahorro de tiempo en el tramo perforado utilizando Sistema Rotario de Perforación.

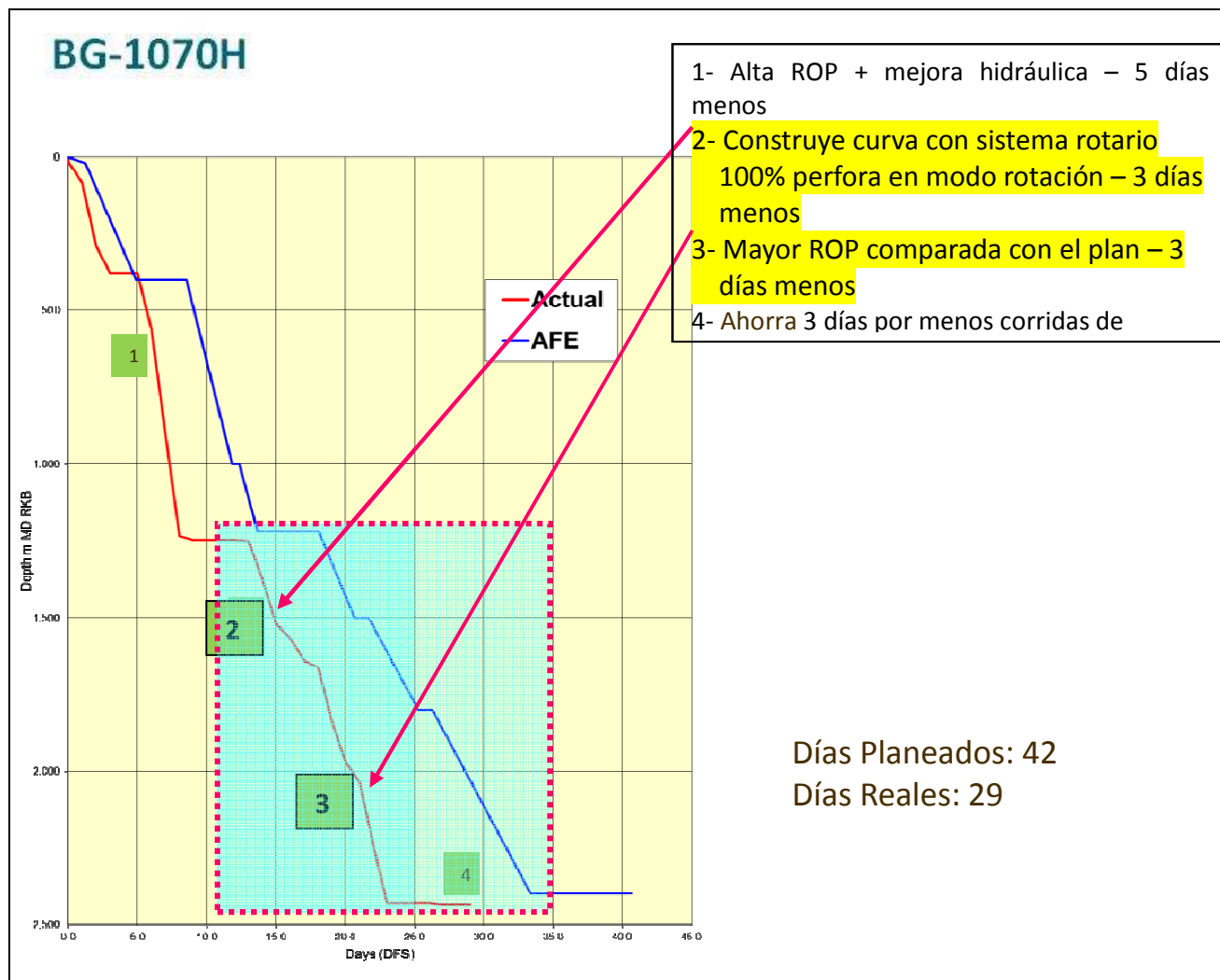


Figura 8

El gráfico a continuación en donde se comparan las curvas de avance de ambos pozos horizontales (Figura 9), permite resaltar la notable mejora en el tiempo de ejecución evidenciado durante la perforación del segundo pozo lo que se consiguió en gran medida debido a la aplicación del Sistema Rotario tipo point the bit con el cual logró mejorarse la eficiencia en la perforación, mantener buenos valores de ROP y obtener al mismo tiempo buena calidad de pozo.

## Comparativa BBG-59h / BG-1070h. Mejoras

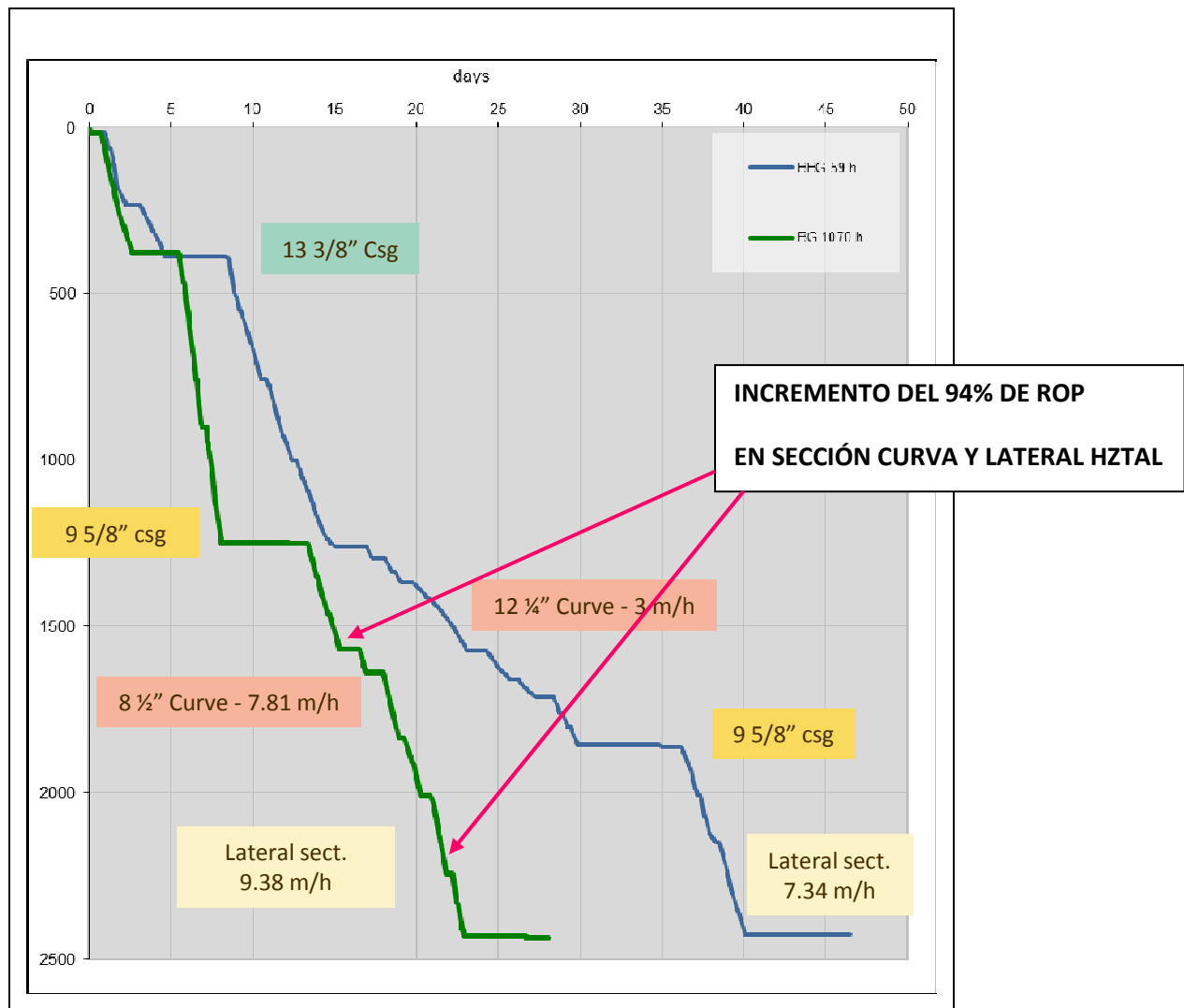


Figura 9

## Conclusiones

Los puntos más destacados por la Compañía Operadora luego de la experiencia obtenida en los primeros dos pozos horizontales perforados a formación Vaca Muerta fueron:

- ✓ El cambio de diseño permitió mejoras en el desempeño operativo.
- ✓ Primer uso exitoso de lodo base agua en pozos horizontales a formación Vaca Muerta.
- ✓ Estabilidad de hueco con rango de densidad de lodo inferior al del estudio de Geomecánica.
- ✓ Mejora sustancial de desempeño y calidad de hueco mediante aplicación de Sistema Rotario de perforación.

## Geo-Pilot® EDL Rotary Steerable System

The only rotary steerable system that can achieve consistently higher build rates in large hole sizes. Reap the benefits of rotary steerable drilling with build rates previously only achievable with conventional mud motors.

Operators have been successfully steering challenging wells with the Geo-Pilot® and Geo-Pilot® XL point-the-bit rotary steerable systems for many years. The new Geo-Pilot® EDL rotary steerable system builds upon this success, providing all of the proven speed, steerability, and hole quality benefits we have come to expect from Geo-Pilot systems.

This newest member of the Pilot™ fleet of automated drilling systems delivers high performance under the toughest of conditions and has an enhanced dogleg (EDL) capability for drilling wells where high build rates are required, or where soft formations typically limit build-rate capability when using other rotary steerable systems. When drilling through inter-bedded formations, where the rock can alternate between soft and quite hard, the Geo-Pilot EDL system delivers a more consistent build rate and helps maintain higher rates of penetration (ROP).

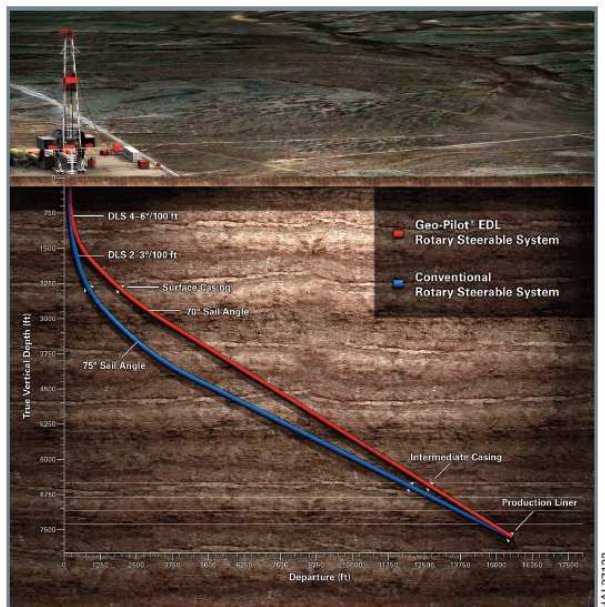
The Geo-Pilot EDL system is ideal for drilling well trajectories in extended reach drilling applications, where consistent doglegs are required to drill the surface hole in shallow, soft formations. These

well trajectories improve drilling efficiency by reducing the sail angle required, reducing torque and drag, and facilitating tripping.

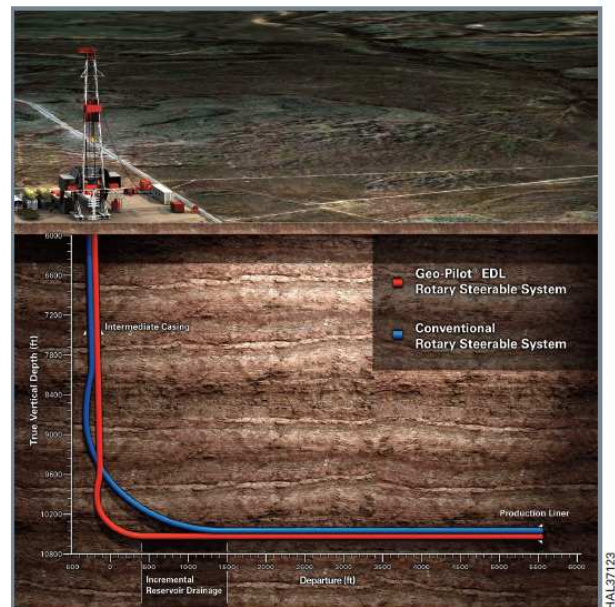
Sperry Drilling services' Geo-Pilot EDL rotary steerable system is the only rotary steerable system for big holes that can deliver well profiles previously only possible with motors, but with the wellbore quality and higher rates of penetration of a point-the-bit rotary steerable system.

### Benefits

- Build rates up to 10 degrees/100 feet in large hole sizes
- Reduce drilling time—drill the vertical, curve and lateral in one BHA, with no sliding intervals or added trips for downhole motors
- Kick-off deeper and land in the reservoir sooner, increasing reservoir exposure
- Reduce sail angle required in extended-reach drilling, reducing torque and drag, and facilitating faster, smoother tripping
- Match the Geo-Pilot EDL rotary steerable system with a customized bit to optimize drilling performance



*Reduce sail angle required in extended-reach drilling, reducing torque and drag, and facilitating faster, smoother tripping*



*Kick-off deeper and land in the reservoir sooner, increasing reservoir exposure*

## Features

- Real-time ABI™ at-bit inclination and optional ABG™ at-bit azimuthal gamma sensor measurements, just three feet from the bit, provide early warning of trajectory and formation changes for effective geosteering and precise wellbore placement.
- Three-dimensional “cruise control” software allows the Geo-Pilot tool to automatically maintain the desired well trajectory and correct for any walk tendencies or abrupt formation changes.
- Rotary steerable system is controlled from the surface by negative pulse commands sent via the Geo-Span® downlink service.
- TEM™ torsional efficiency monitor sensor, which analyzes the variations in rotational speed of the Geo-Pilot system driveshaft, is screwed directly to the drill bit, providing an early warning of the onset of stick-slip. Drilling parameters can then be adjusted to reduce or eliminate this damaging bit phenomenon and maximize drilling efficiency.
- Can be run with a GeoForce® motor in the bottomhole assembly (Geo-Pilot® GXT system) for enhanced performance.

## Geo-Pilot® EDL Rotary Steerable System Specifications

|                                                                                                      | 5200 Series                                                                                                                                                                                                                                                       | 7600 Series                                                          | 9600 Series                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Nominal Tool OD                                                                                      | 5-1/4 in. / 133 mm                                                                                                                                                                                                                                                | 6-3/4 in. / 171 mm                                                   | 9-5/8 in. / 244 mm                                                   |
| Hole Size                                                                                            | 5-7/8 to 6-3/4 in.<br>149 to 171 mm                                                                                                                                                                                                                               | 8-3/8 to 10-5/8 in.<br>213 to 270 mm                                 | 12 to 17-1/2 in.<br>305 to 445 mm                                    |
| Maximum Housing OD                                                                                   | 5-1/4 in. / 133 mm                                                                                                                                                                                                                                                | 7-5/8 in. / 194 mm                                                   | 10 in. / 254 mm                                                      |
| Length                                                                                               | 16.2 ft / 4.94 m<br>27.7 ft / 8.44 m with flex sub                                                                                                                                                                                                                | 20.2 ft / 6.16 m                                                     | 21.7 ft / 6.61 m                                                     |
| Nominal Tool Weight With Flex                                                                        | 1,250 lbm / 570 kgm                                                                                                                                                                                                                                               | 3,300 lbm / 1,497 kg                                                 | 4,850 lbm / 2,200 kg                                                 |
| Connections                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                      |                                                                      |
| Top                                                                                                  | 3-1/2 in. IF box                                                                                                                                                                                                                                                  | 4-1/2 in. IF box                                                     | 6-5/8 in. REG box                                                    |
| Bottom                                                                                               | 3-1/2 in. IF pin                                                                                                                                                                                                                                                  | 4-1/2 in. REG box or 4-1/2 in. IF pin                                | 6-5/8 in. REG box or pin                                             |
| Minimum Steering Angle                                                                               | 5°                                                                                                                                                                                                                                                                | 0°                                                                   | 0°                                                                   |
| Design Performance EDL (Build/Drop/Turn)                                                             | 15° per 100 ft / 15° per 30 m                                                                                                                                                                                                                                     | 10° per 100 ft / 10° per 30 m                                        | 10° per 100 ft / 10° per 30 m                                        |
| Maximum Dogleg Severity - Rotating                                                                   | 15° per 100 ft / 15° per 30 m                                                                                                                                                                                                                                     | 10° per 100 ft / 10° per 30 m                                        | 10° per 100 ft / 10° per 30 m                                        |
| Maximum Dogleg Severity - Non-Rotating                                                               | 25° per 100 ft / 25° per 30 m                                                                                                                                                                                                                                     | 21° per 100 ft / 21° per 30 m                                        | 14° per 100 ft / 14° per 100 m                                       |
| Maximum Shaft Rotary Torque                                                                          | 8,000 lbf.ft / 1,085 daN.m                                                                                                                                                                                                                                        | 20,000 lbf.ft/ 2,712 daN.m                                           | 30,000 lbf.ft / 4,067 daN.m                                          |
| RPM Range                                                                                            | 60 to 250                                                                                                                                                                                                                                                         | 60 to 250                                                            | 60 to 250                                                            |
| Maximum Mass Flow Rate - gal/min × ppg<br>- l/min × sg                                               | 5,000 lbm/min / 2,268 kgm/min                                                                                                                                                                                                                                     | 10,000 lbm/min / 4,536 kg/min                                        | 20,000 lbm/min / 9,072 kg/min                                        |
| Maximum Weight on Bit                                                                                | 25,000 lbf / 11,121 daN                                                                                                                                                                                                                                           | 55,000 lbf / 24,465 daN                                              | 100,000 lbf / 44,482 daN                                             |
| Vibration                                                                                            | As per Sperry's LWD vibration limits (available upon request)                                                                                                                                                                                                     |                                                                      |                                                                      |
| Mud Type                                                                                             | Compatible with all fluid systems including: WBM, OBM, SBM, and silicates also with air, N <sub>2</sub> and multiphase fluids like mist or foam.                                                                                                                  |                                                                      |                                                                      |
| Maximum Sand Content                                                                                 | 2%                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                      |                                                                      |
| Pressure Loss Through Tool in Water (Calculated)                                                     | 151 psi @ 200 gpm /<br>1.04 MPa @ 757 lpm (water)                                                                                                                                                                                                                 | 132 psi @ 500 gal/min<br>0.91 MPa @ 1,893 l/min (water)              | 92 psi @ 1,000 gal/min<br>0.63 MPa @ 3,785 l/min (water)             |
| Maximum LCM Limit*                                                                                   | 120 lbm/bbl medium nut plug (well mixed) /<br>342 kgm/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                              | No Limit                                                             |                                                                      |
| Maximum Operating Temperature                                                                        | 302°F / 150°C<br>Optional: SOLAR 347°F / 175°C                                                                                                                                                                                                                    |                                                                      |                                                                      |
| Maximum Pressure                                                                                     | Standard: 20,000 psi / 137.9 Mpa<br>Optional: 30,000 psi / 206.8 MPa                                                                                                                                                                                              | Standard: 25,000 psi / 172.3 MPa<br>Optional: 30,000 psi / 206.8 MPa | Standard: 25,000 psi / 172.3 MPa<br>Optional: 30,000 psi / 206.8 MPa |
| Maximum Overpull Operating                                                                           | 60,000 lbf / 26,689 daN                                                                                                                                                                                                                                           | 75,000 lbf / 33,362 daN                                              | 120,000 lbf / 53,379 daN                                             |
| Ultimate Body Overpull Not Operating<br>(No Continued Operation; Replace Geo-Pilot Tool)             | 320,000 lbf / 142,343 daN                                                                                                                                                                                                                                         | 375,000 lbf / 166,808 daN                                            | 580,000 lbf / 257,997 daN                                            |
| Geo-Span® Downlink Service                                                                           | Surface pulser provides rapid communication and confirmation via InSite® control screen, independent manual control back-up system via pumps and rotary on/off signals rated 10,000 psi / 69 MPa operating H <sub>2</sub> S service suitable for zones 1, IIA, T3 |                                                                      |                                                                      |
| Uplink                                                                                               | LWD system                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                      |                                                                      |
| Surface Software                                                                                     | InSite® rig information management system                                                                                                                                                                                                                         |                                                                      |                                                                      |
| Inclinometer Accuracy and Span                                                                       | ±0.1° @ 2s, 0 to 160°                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                      |                                                                      |
| For Directional, Gamma, Resistivity<br>(For Typical MWD Tool Configurations)<br>Survey Measure Point | 35.0 ft / 10.67 m                                                                                                                                                                                                                                                 | 25.0 ft / 7.62 m                                                     | 26.5 ft / 8.08 m                                                     |
| Gamma Ray Measure Point                                                                              | 53.5 ft / 16.31 m                                                                                                                                                                                                                                                 | 45.2 ft / 13.78 m                                                    | 47.0 ft / 14.33 m                                                    |
| Vibration Measure Point                                                                              | 53.5 ft / 16.31 m                                                                                                                                                                                                                                                 | 13.1 ft / 3.99 m                                                     | 13.1 ft / 3.99 m                                                     |
| Resistivity Measure Point                                                                            | 46.2 ft / 14.08 m                                                                                                                                                                                                                                                 | 38.3 ft / 11.67 m                                                    | 40.1 ft / 12.22 m                                                    |
| At-Bit Inclination Measure Point                                                                     | 11.5 ft / 3.51 m                                                                                                                                                                                                                                                  | 3.2 ft / 0.98 m                                                      | 3.3 ft / 1.01 m                                                      |
| At-Bit Gamma Measure Point                                                                           | 29.5 ft / 8.99 m**                                                                                                                                                                                                                                                | 3.2 ft / 0.98 m                                                      | 3.3 ft / 1.01 m                                                      |
| Power Supply                                                                                         | Lithium Battery /<br>MWD Generator SOLAR Option                                                                                                                                                                                                                   | Lithium Battery                                                      |                                                                      |
| Maximum Run Duration                                                                                 | 200 hours continuous orientation no power draw when deflection equals zero                                                                                                                                                                                        |                                                                      |                                                                      |

\* LCM tolerance is limited by the MWD transmission system

\*\* Distance quoted assumes the use of a 4 3/4-in. GABI™ gamma/at-bit inclination sensor