



3° CONGRESO
LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE
PERFORACIÓN
TERMINACIÓN, REPARACIÓN Y SERVICIO DE POZOS



Perforación de pozos horizontales con extensión 2400m - 2600m

Por **José Salcedo, Leonel Vera, Nicolás Calegari** (YPF S.A.)

Este trabajo fue seleccionado por el Comité Organizador del 3° Congreso Latinoamericano y del Caribe de Perforación, Terminación, Reparación y Servicio de Pozos.

El Yacimiento El Orejano se encuentra ubicado en el Centro Este de la provincia del Neuquén, al NO del bloque de concesión Loma Campana (Figura 1).

El bloque se encuentra emplazado en el flanco oriental del dorso de los Chihuidos y presenta una suave pendiente homoclinal de menos de 2° hacia el NE (Figura 2).

La sección de interés de la fm. VM corresponde a los 180 a 240 m basales y puede dividirse en dos intervalos: Vaca Muerta Inferior (VMI) y Vaca Muerta Superior (VMS).



En la zona de la fm. Vaca Muerta (VM), la perforación de pozos no convencionales de extensión de 1500m implica atravesar formaciones con alta densidad de lodo. Con el objetivo de reducir costos se aumentó la extensión horizontal a 2400m - 2600m.

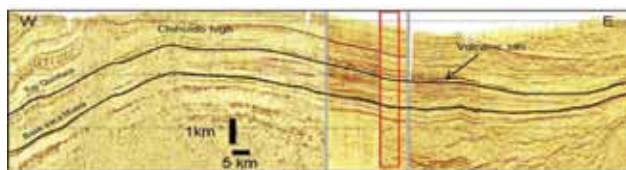


Figura 2. Corte de cubo sísmico, marco estructural.

estratigráfica (entre 150 y 210 m) y su contenido orgánico varía entre el 2% y el 5%.

Como se muestra en la figura 3, el campo es desarrollado en su mayoría con pozos horizontales, distanciados en 400 m para los que navegan al mismo nivel y 200 m entre aquellos de diferente nivel (a modo de evitar interferencias en perforación y/o terminación-fractura).

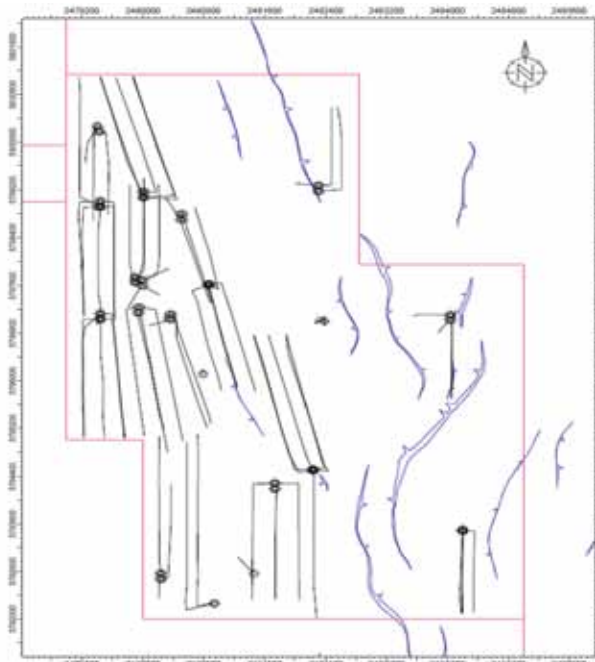


Figura 3. Desarrollo del yacimiento El Ojano, vista en planta.

Inicialmente la extensión de los pozos era de 1500 m; en la actualidad son extensiones mayores que llegan hasta los 2600 m.

El aumento de la extensión lateral de los pozos implica superar barreras técnicas de forma progresiva. Además, el aumento gradual de la extensión lateral resulta en una disminución del costo métrico.

Diseño de pozo

El esquema mecánico del pozo no sufrió modificaciones relevantes, con excepción de la entubación de la fase aislación. Los cambios más importantes se dieron en materia de optimización, contemplando trayectoria, herramientas de perforación, propiedades de los fluidos, equipo de UBD y operaciones de cementación (Figura 4).

Esquema mecánico

- El esquema mecánico consta de tres cañerías:
- La fase guía en diámetro 9 5/8" se extiende en formación Grupo Neuquén hasta 500 mbbdp, con el objetivo

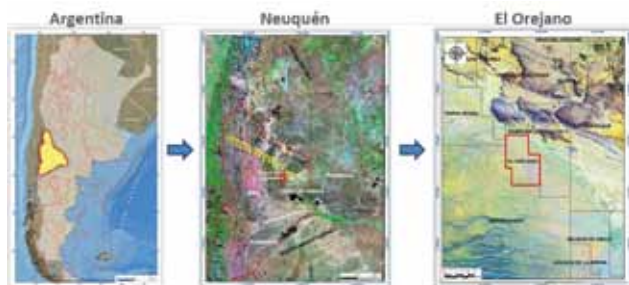


Figura 1. Mapa de ubicación del bloque.

VMI (también denominada "La Cocina") tiene un espesor promedio de unos 30 m y se caracteriza por su alto contenido orgánico, con valores de entre un 5% y un 8% de COT. En cambio, VMS comprende el resto de la sección

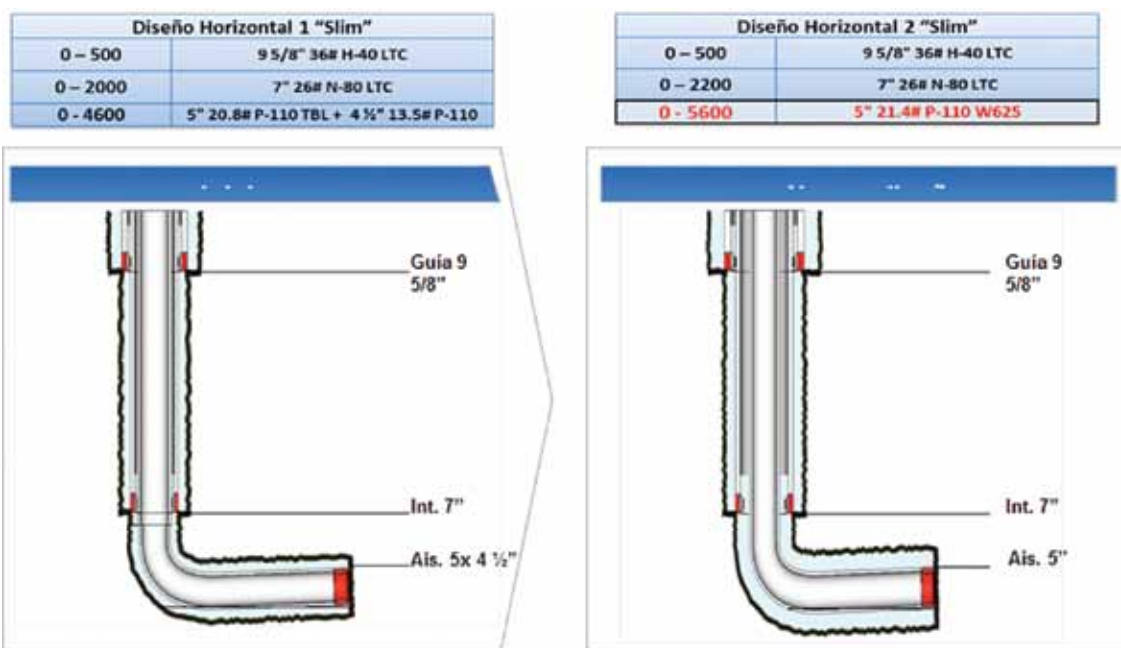


Figura 4. Esquema de pozo. Izquierda: diseño original. Derecha: diseño actual.

- de cubrir, aislar y proteger los acuíferos.
- La siguiente etapa, intermedia de 7" @2000m, tiene su asentamiento 40 m en formación Quintuco de manera de conceder la integridad necesaria para la perforación del intervalo Quintuco-Vaca Muerta en la fase aislación.
- El diseño original para extensiones de 1500 m era optimizado en costo con cañería combinada de 5" P110 20,8# prem cuplada x 4 1/2" 18# P110 premium cuplada. Para garantizar el caudal aplicable a todas las etapas de fractura y optimizar la potencia hidráulica necesaria, se migró a un diseño *monobore* en 5". Adicionalmente, el cambio de tipo de conexión conllevó a la obtención de mejoras en los tiempos de entubación.

Los pozos P8 conexión premium semi-flash y P9 conexión premium semi-flash (barras enmarcadas en color

rojo) corresponden a las primeras experiencias de entubación de *casing* 5" OD premium semi-flash en pozos 6 1/8" "open hole" (OH). Parte de la reducción de tiempo se debe al tipo de conexión "semiflush" que se optó por utilizar. La misma verifica tiempos de conexión y bajada más rápidas que para la conexión premium cuplada, debido a que no se requiere control de torque y al menor OD máximo, respectivamente (Figura 5).

Trayectoria

El desarrollo del campo se realiza con locaciones de múltiples pozos, lo cual conlleva a la construcción de trayectorias direccionales desde la etapa intermedia para posicionarlos lateralmente. Luego en la fase aislación se construye la sección curva y la rama horizontal.

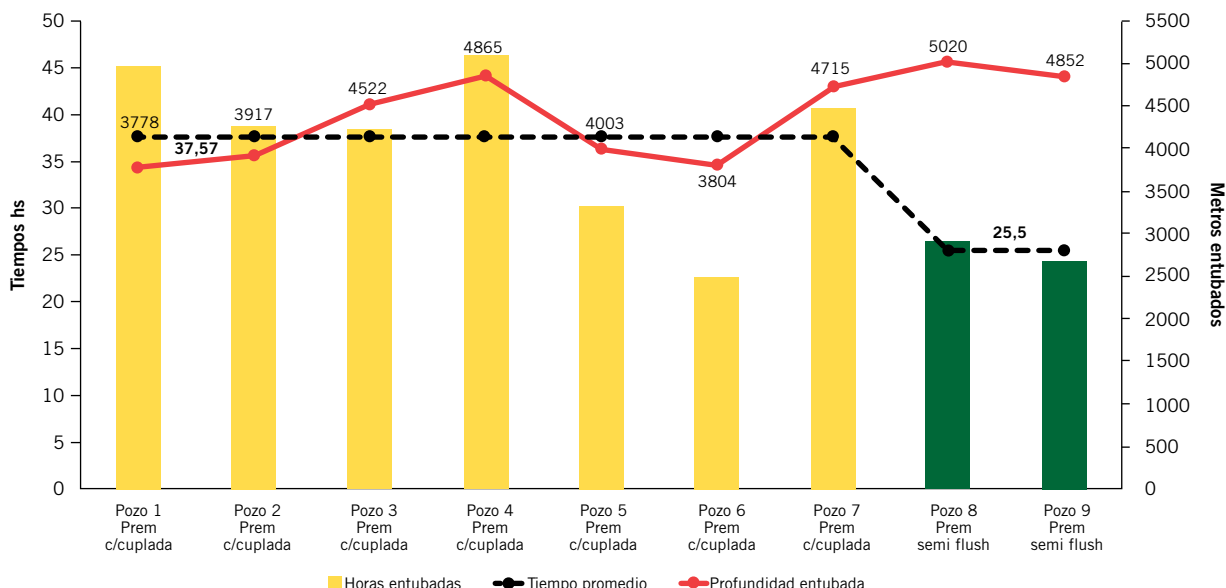


Figura 5. Tiempos de entubación fase aislación. Comparación entre pozos con cañería 5" W625 vs. cañería combinada.

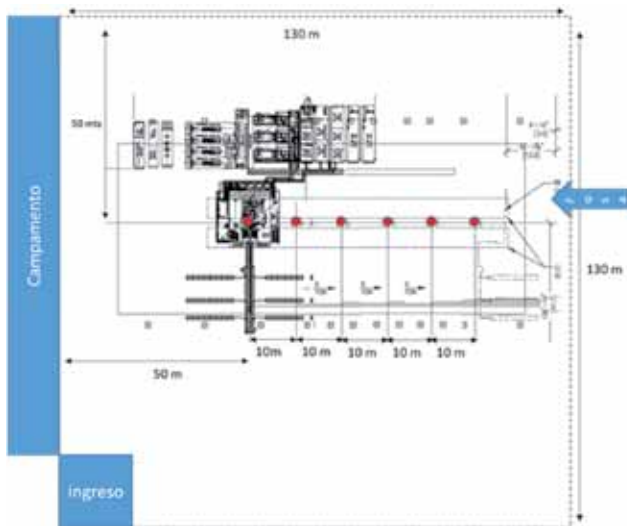


Figura 6. Esquema de locación, 6 pozos en línea.

El esquema diseñado en la figura 6 tiene dos ventajas importantes la primera se relaciona con la optimización en la cantidad de fluido de perforación a preparar y, la segunda, está relacionada con la aplicación de la cementación *offline* (cementación sin equipo de perforación) este en la sección guía y en la sección aislación.

El diseño de las trayectorias inicialmente contaba con una tasa de construcción de ángulo (*build*) en la curva de $3^\circ/30\text{m}$ en una sección de pozo de 900 m. Debido a los rendimientos de las herramientas utilizadas se logró pasar a un *build* de $7^\circ/30\text{m}$ y 385 m de sección curva. Esto representó un acortamiento de 515 m en la construcción, que permitió extender la sección lateral.

Adicionalmente permite posicionar el “punto de inicio de la curva” (KOP) más profundo, aumentando la perforación en modo de rotario, proporción de sección vertical y ROP. Otra ventaja de este diseño es que al acercarse punto de

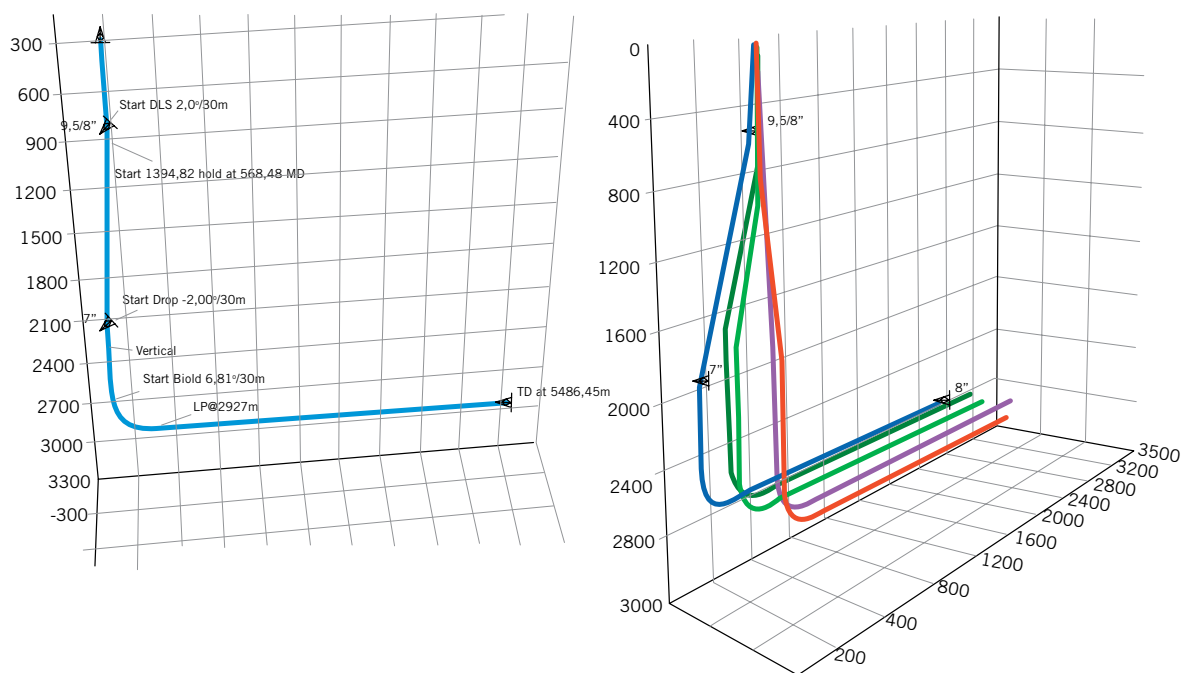


Figura 7. Trayectoria de pozo tipo (izquierda) y trayectorias de pozos de la locación (derecha).

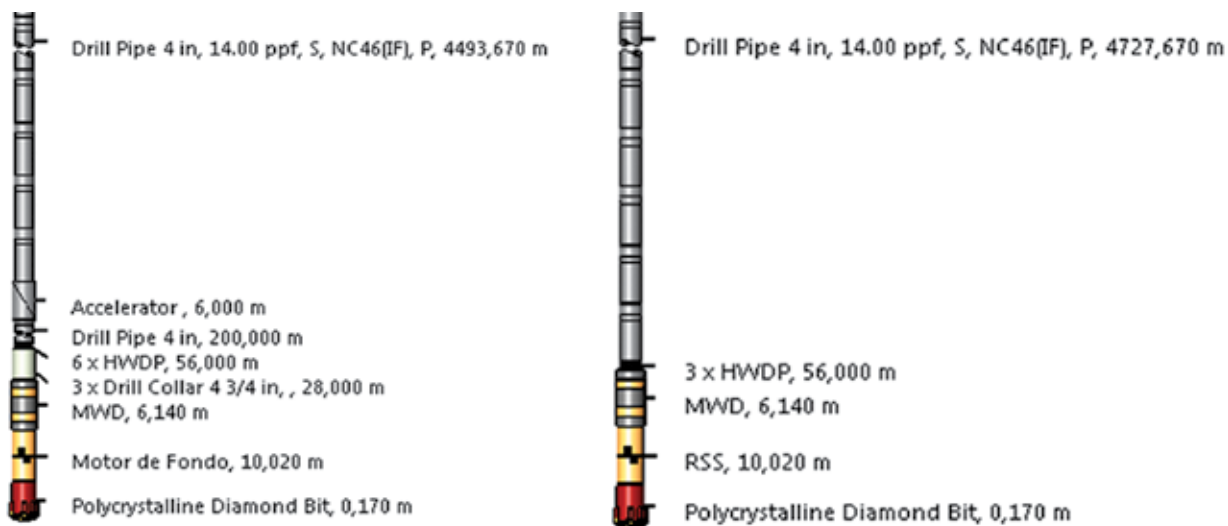


Figura 8. BHA para MDF (izquierda) y RSS (derecha) en pozos de 1500 m de extensión horizontal.

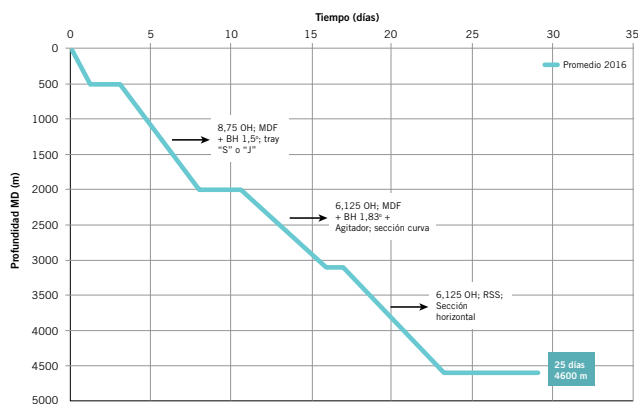


Figura 9. Curva de avance promedio. Pozos horizontales de 1500 m de extensión.

aterrizaje (LP) a la boca de pozo (bdp) permitió sumar más etapas de fractura y drenar una mayor área de drenado.

Adicionalmente las fases intermedias pueden ser trayectorias tipo S o J, S para los pozos centrales de la locación y J para los pozos a los extremos (Figura 7).

Tecnologías y herramientas de perforación

Las tecnologías de perforación utilizadas desde el inicio del desarrollo del yacimiento hasta la actualidad son Motores de Fondo (MDF) y Sistemas Rotarios (RSS) (Figura 8). Originalmente los MDF estaban destinados a la perforación de la fase intermedia y sección curva de la fase aislación, en diámetros de pozo abierto de 8 3/4" y 6 1/8", respectivamente. La rama horizontal, se perforaba exclusivamente con RSS, debido a que en el nivel general esta tecnología provee mejor transferencia de peso, mayor direccionalidad y ROP que los MDF.

En función de lo mencionado, la fase aislación se planificaba en dos carreras. La construcción de la curva hasta alcanzar LP insumía entre 150 y 170 horas de perforación, y debía realizar un viaje a superficie por cambio de BHA (límite de vida útil de MDF estándar). La extensión con sistema rotario implicaba unas 150 horas para alcanzar el punto final (EP) del pozo (Figura 9).

Fluidos de perforación

En la tabla 1 se pueden observar las propiedades del lodo aplicadas en los primeros pozos del yacimiento.

La densidad del fluido es alta tanto para aplicación en balance o en desbalance (UBD) debido a la sobrepresión de formación del intervalo Quintuco-Vaca Muerta. Como consecuencia directa la reología era lo suficientemente elevada y muy cercana al límite de presión del sistema de bombeo del equipo (4800 psi) en el EP. Bajo estas condiciones la capacidad de perforación era de 1500 m de extensión con problemas de limpieza (como consecuencia de reducción de caudal para evitar altas presiones de superficie), alto torque y ROP reducida. Además, se presentaban problemas de tracciones en maniobras de viajes de BHA, como así también en maniobras de entubación (Figura 10).

Extensión de la rama horizontal a 2600 m

El enfoque principal para alcanzar extensiones de 2600 m se centró en los siguientes puntos:

- Desarrollo de trépanos.
- Implementación de motores de alto rendimiento.
- Mejoras en la reología de los fluidos OBM de alta densidad.
- Uso de un agitador de menor caída de presión en el BHA.
- Utilización de sistemas rotarios (RSS) aplicado en la parte final con el objetivo de extender la longitud de la rama.

Intervalo (m MD)	OH (in)	Densidad (SG)	VE (sec/qt)	VP (cp)	YP (lb/100ft ²)	LGS (%)	OWR
1900-4500	6 1/8"	1800-2100	50-75	25-35	12-18	<5	90/10

Tabla 1. Propiedades del fluido de perforación OBM típica.

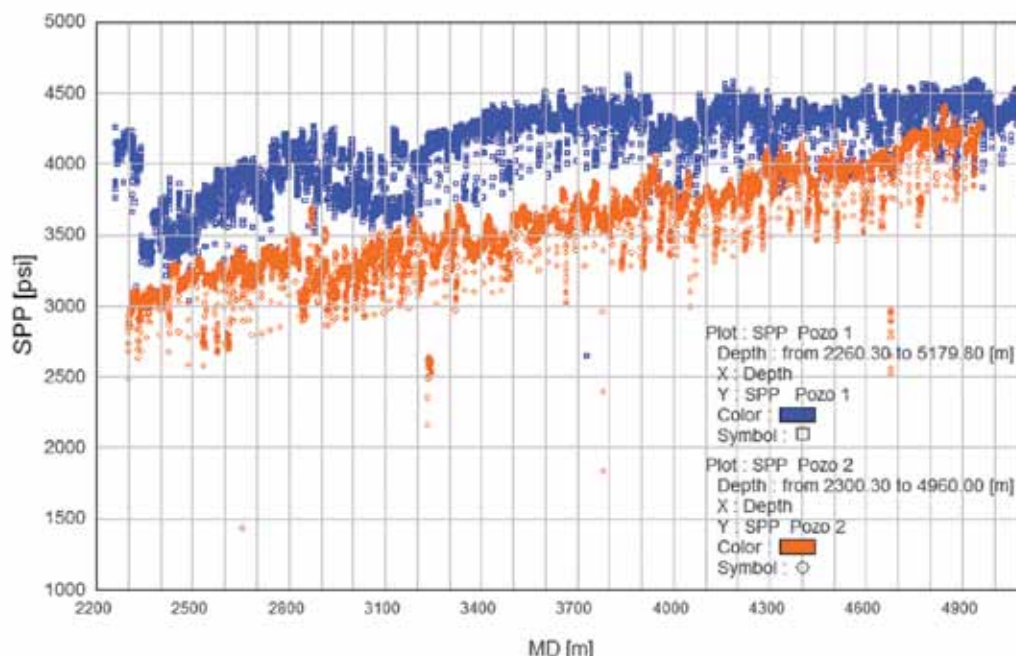


Figura 10. Presión de bombeo (SPP, stand pipe pressure) vs profundidad de perforación. Pozo de 1500 m de extensión (azul) vs pozo con baja reología (naranja).

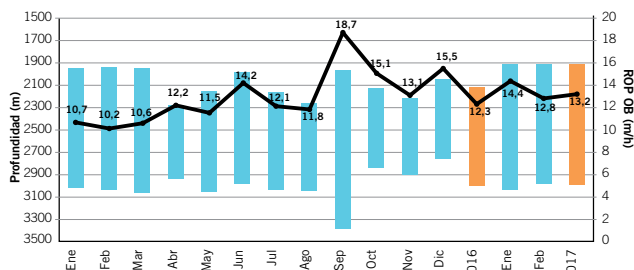


Figura 11. Promedio mensual de ROP, secciones "curvas" en pozos de El Orejano.

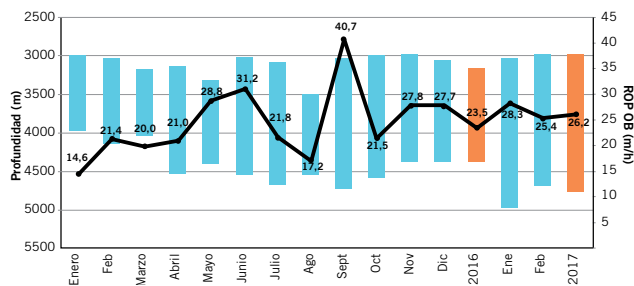


Figura 12. Promedio mensual de ROP, secciones "horizontales" en pozos de El Orejano.

Respecto del primer punto, en pozos de 1500 m se utilizaron dos trépanos de diferentes diseños para aplicación en la sección curva con BHA (MDF) y otro para la sección horizontal con BHA (RSS). En este sentido, el diseño de trepano para la primera carrera contaba con estabilidad torsional para la construcción de la curva y agresividad para una perforación eficiente (ROP). El diseño correspondiente a la segunda carrera presentaba características de diseño para proveer más eficiencia en la perforación (más agresivo que el primero) sin perder control torsional en las posibles desviaciones laterales (características de la formación Quintuco y Vaca Muerta).

Con el fin de evitar la carrera por cambio de BHA, el desarrollo de trépanos tendió a optimizar los diseños del primero de modo de ganar un poco más de agresividad sin perder estabilidad torsional, en base a esto el cambio principal se dio en el *back rate* de los cortadores del cono.

Con respecto al diseño del trepano para la carrera final con RSS, los cambios se orientaron a ganar agresividad con diferente configuración de cortadores.

Las barras enmarcadas en rojo representan las ROP promedio y metros perforados para ambas secciones: curva y extensión. Como puede apreciarse en las figuras 11 y 12, se ha mejorado la tasa de penetración entre un 10% y 20%.

De forma casi simultánea la implementación de los motores de fondo de alto rendimiento comenzó a partir de 2016, esto posibilitó la operación de los MDF en un rango de 600 a 1300 psi de presión diferencial.

El resultado final culminó en mayores ROP y permitió la extensión de cada carrera (abandonando la barrera adoptada de aplicar un BHA solamente para la construcción de la curva) y continuando con la perforación de par-

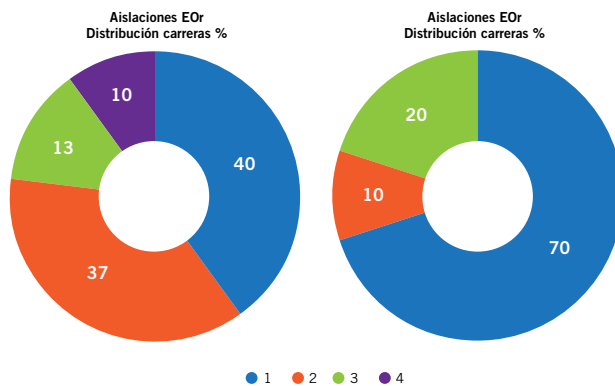


Figura 13. Cantidad de carreras de fase aislación 2016 vs 2017.

te de la extensión horizontal hasta 1800/2000 m. Hasta tal punto que, en algunos casos, se completó toda la sección aislación con un solo BHA. Además, este tipo de motores de fondo poseen mayor prestación respecto de los motores estándar y disponen de unas 300 horas de circulación (Figura 13).

Otro aporte importante en el BHA con motor de fondo y MWD fue la implementación del agitador de sarta de menor caída de presión que los utilizados.

La principal desventaja de este BHA es la elevada SPP (*stand pipe pressure*) cerca del límite, lo que obliga a disminuir el caudal antes de EP, con la posibilidad de afectar la correcta limpieza de pozo.

Debido a ello, el equipo de especialistas en lodo de YPF trabajó en la implementación de mejores propiedades reológicas de los fluidos OBM de alta densidad en pos de reducir el Punto de Fluencia (YP) y obtener así menores SPP, mayor caudal de perforación y mejores condiciones de limpieza.

En la tabla 2 se listan las modificaciones sobre las propiedades del lodo.

Las consecuencias del ajuste fueron las siguientes:

- Aumento del caudal de perforación.
- Mayor limpieza de pozo.
- Mayor ROP (mayor presión diferencial que se puede

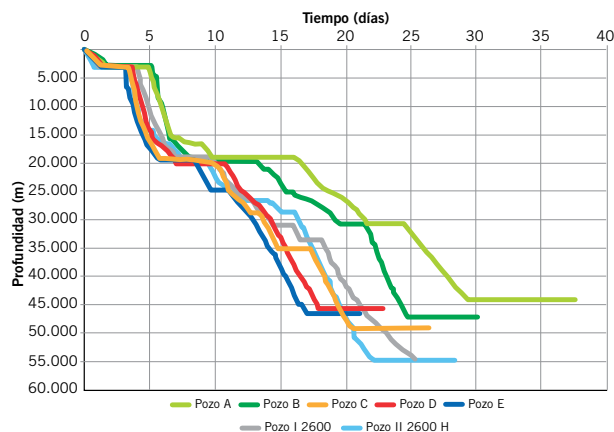


Figura 14. Curva de avance promedio, pozos de 1500 m de extensión horizontal vs 2000-2500 m de extensión horizontal.

Intervalo (m MD)	OH (in)	Densidad (SG)	VE (sec/qt)	VP (cp)	YP (lb/100ft ²)	LGS (%)	OWR
1900-4500	6 1/8"	1800-2100	50-75	25-35	60-10	<5	90/10

Tabla 2. Propiedades de fluido OBM, ajustadas para extender la rama horizontal.

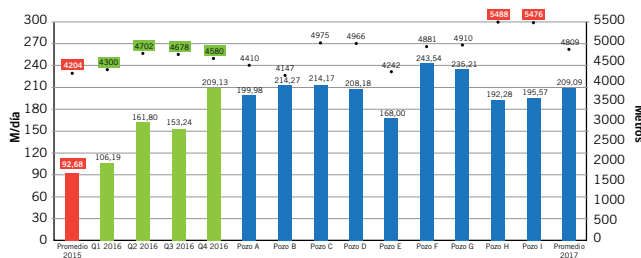


Figura 15. Evolución de los metros perforados por día, producto de las mejoras.

aplicar).

- Reducción en los tiempos de viaje a superficie.
- Reducción de factores de fricción.
- Reducción de tiempos en maniobras de entubación.
- Posibilidad de operar en sobrebalance (menores ECD) siempre y cuando la ventana de operación no sea estrecha.

La aplicación de sistemas rotarios (RSS) en la parte final del pozo (extensiones mayores a 2000 m) a menores SPP respecto de BHA con MDF permitió alcanzar extensiones horizontales de 2600 m. La otra ventaja del BHA con sistema rotario es la opción de perforar a mayor RPM en superficie (160 a 180) evitando el depósito de *cutting* en la cara baja del pozo.

Es de destacar la evolución del tiempo de construcción del pozo y el aumento de la extensión del pozo, como consecuencia de las diferentes mejoras aplicadas (Figura 14).

En la figura 15 se puede observar el proceso de aumento de los metros perforados por día de forma cronológica.

La comparación entre los metros perforados por día denota un aumento del 51% interanual.

Conclusiones

Estas mejoras e implementaciones evidencian el alcance de los siguientes resultados:

- Entubación de casing de 5" conexión "semiflush" en pozos de 6 1/8" OH.

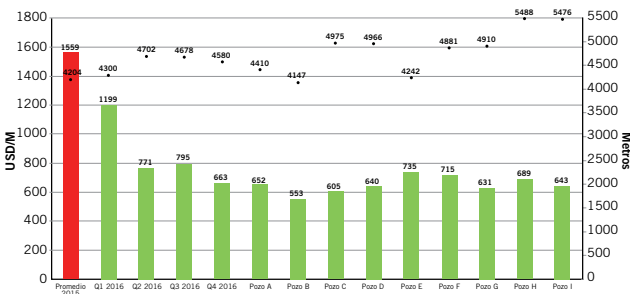


Figura 16. Evolución del costo métrico.

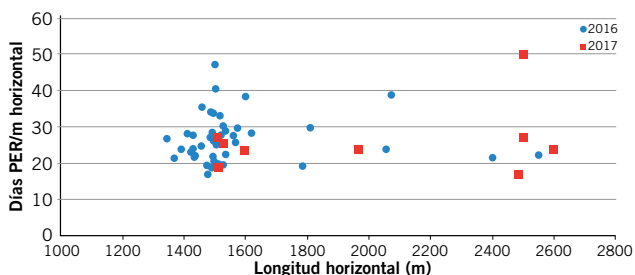


Figura 17. Evolución de la profundidad final y tiempo de construcción de pozos EOR.

- Aumento en la extensión horizontal desde 1500 m hasta 2500 m.
- Reducción del costo métrico en 53% respecto del promedio Q1 2016 (Figura 16).
- Aumento de los metros perforados por día del 51% anual (Figura 15).
- Reducción del tiempo de construcción de pozo en un 63% respecto del promedio Q1 2016 (Figura 17).

El contexto actual de mercado exigió una curva de aprendizaje rápida, prácticamente de un año.

Como consecuencia directa se logró la construcción de un pozo más extenso, barato y rápido, y el proyecto de desarrollo del yacimiento se volvió rentable y eficiente.