

Este trabajo fue seleccionado en el marco del 4° Congreso Latinoamericano de Perforación y Terminación del IAPG, realizado en noviembre de 2021.

Optimización de las operaciones de *bundle* en Vaca Muerta.

Caso de éxito en las operaciones de pesca con herramientas robóticas y unidad de *wireline*

Por **Fernando David Canales Zuñiga** (YPF S.A.); y **José López** y **Emiliano López** (Welltec Oilfield Services Argentina S.A.)

En este trabajo se documenta la experiencia en la utilización de herramientas robóticas y cómo esta tecnología permitió determinar, en la actualidad, que la primera opción para pescas del *string* de *Plug & Perf* para no alterar la disposición de equipos en superficie y acondicionar el pozo problema en el menor tiempo posible para devolverlo a la línea de fractura.

Vaca Muerta, la principal formación de hidrocarburos no convencionales de la Argentina –ubicada en la cuenca Neuquina y descubierta en 1927 con un potencial confirmado en 2011– es la segunda reserva de gas en recurso no convencional del mundo y la cuarta reserva de petróleo en recurso no convencional. En los últimos siete años, el desarrollo de tecnologías de perforación, producción y extracción para yacimientos no convencionales ha impulsado la actividad petrolera en la cuenca. Esto ha potenciado la industria petrolera en la cuenca Neuquina con resultado de niveles de actividad nunca visto.

Ante eventos no deseados, como el atrapamiento de herramientas durante la ejecución de carreras de punzado para el proceso de fracturamiento hidráulico, la opción tradicional de intervención para solventar la situación y proseguir con el plan de fracturamiento es la utilización de unidades de *coiled tubing*.



Si bien la tecnología tiene un alto porcentaje de éxito en cuanto a la consecución del objetivo principal, recuperar el BHA (*Bottom Hole Assembly*) de P&P (*Plug & Perf*), presenta ciertas características propias que poseen margen de mejora. Esto, sumado a la alta demanda y poca oferta que maneja el mercado en la actualidad, requiere de soluciones alternativas para la ejecución del servicio de pesca.

Desde hace 25 años se desarrolla la tecnología de transporte asistido para herramientas robóticas a través de cable eléctrico, en los últimos años este desarrollo ha llevado a la ampliación del portafolio de soluciones que se ofrecen en el mercado y trajo como alternativa para las operaciones de pesca la aplicación en conjunto de tecnologías de e-line tractor con herramientas robóticas para aplicación de fuerza puntual.

Al ejecutar la operación de pesca a través de la unidad de *wireline* que ya está afectada a la operación de punzado, sin la necesidad de remover el equipo de control de presión que se está empleando en el momento y con la única modificación necesaria de añadir un par de lubricadores adicionales en superficie, existen ventajas operativas que se traducen en incrementos en la eficiencia operativa para el desarrollo del Pad.

En el este documento se describen las características técnicas para el desarrollo de operaciones de pesca empleando herramientas robóticas a través del cable eléctrico, así como una comparación técnico-operativa con la alternativa convencional.

Desarrollo

Caso histórico #1 - Primera intervención de recuperación con el empleo de *stroker* a través de cable eléctrico

Información del pozo

La primera intervención de recuperación de BHA de P&P, con el empleo de la alternativa de e-line tractor y *stroker*, se ejecutó en la segunda mitad de 2019, donde inicialmente se pensaba que se tenía un BHA de P&P atrapado en la profundidad de 150 m con una longitud total de 14,6 m y 986 lbs de peso.

La intervención, según las condiciones iniciales informadas, no requería el uso de la unidad e-line tractor considerando que se presumía que el BHA en cuestión se encontraba ubicado en la sección vertical del pozo. Sin embargo, se realizaría el movimiento del equipo e-line tractor a manera de contingencia en caso de que

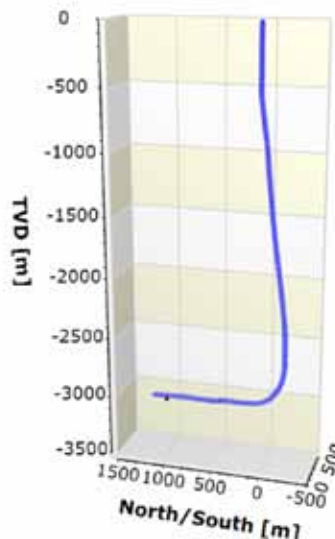


Figura 1. Geometría de pozo.

el BHA se pudiese desplazar del punto de atrapamiento terminando en la sección altamente desviada del pozo (Figura 1).

Algunos de los aspectos característicos del pozo se resumen en la tabla 1.

Características principales de pozo

Presión en cabeza [psi]	5020
Temperatura estimada @150 m [C]	35
Temperatura estimada en fondo [C]	110
Detalles del casing	5", 21,4 lbs/ft
ID del casing [inch]	4.125

Tabla 1. Resumen de características de pozo a intervenir.

Para el momento del incidente, la operadora estaba ejecutando operación de zipper frac en un pad compuesto por seis pozos, y el incidente suscitado ocurrió en el primer pozo que conformaba el pad. Con el objetivo de mantener la eficiencia operativa del pad, la operadora decidió afectar una segunda unidad de *wireline* y ejecutar la operación de pesca empleando la alternativa descrita mientras se proseguía con la ejecución del zipper frac como estaba planeado en el resto de los pozos del pad (Figura 2).

Disposición: locación de seis pozos.

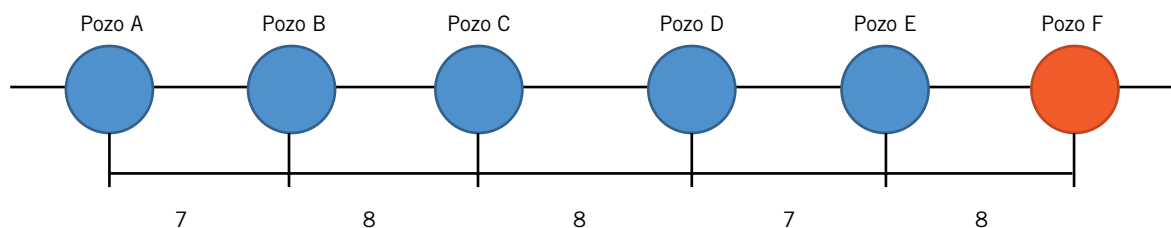


Figura 2. Layout de locación, distancia entre pozos medida en metros. Pozo intervenido: pozo F.

Secuencia operativa

A continuación se presenta el orden de la secuencia operativa ejecutada.

Carrera #1

Luego de la carrera con bloque impresor, se tomó como referencia la profundidad informada de 150 m y se preparó un set de herramientas para la recuperación de BHA de P&P.

Considerando la geometría del pozo hasta la profundidad de 150 m se decidió realizar esta carrera #1 sin la inclusión de la unidad motorizada e-line Tractor.

Una vez iniciado la carrera de descenso dentro del pozo o Run In Hole (RIH), se alcanzó la profundidad de 750 m sin ninguna clara indicación de haber encontrado el BHA a recuperar. Dentro de los indicativos que se esperaban estaban pérdida súbita de tensión en superficie, lectura plana de herramienta CCL (*Casing Collar Locator*) y posible pandeo de cable eléctrico en superficie.

Considerando que las herramientas robóticas que se emplearon para la pesca de BHA son susceptibles a las condiciones de presión y temperatura bajo las que operan, se decidió recuperar el tren de herramientas hasta superficie para reconfigurarlas e incluir el e-line tractor.

Carrera #2

Se ejecutó la carrera de pesca de BHA de P&P con la inclusión de e-line tractor en conjunto con *stroker*, en base a las condiciones de presión y temperatura se configuró el *string* o conjunto de herramientas, para que la

operación de pesca se llevara a cabo entre la tangente del pozo (3235 m @70grados) y la profundidad de asentamiento del tapón correspondiente a la etapa #25.

Una vez alcanzada profundidad de 3230 m se detuvo el avance por gravedad del tren de herramientas y se inició el desplazamiento asistido con e-line tractor, hasta alcanzar un tope en profundidad de 3281 m. En esta profundidad se constató tope de pez y se activó en un par de oportunidades la herramienta *stroker* para enganchar pez, sin un resultado aparente de enganche positivo.

Debido a la poca confirmación de enganche se decidió emplear la fuerza de empuje de e-line tractor para desplazar el pez hasta encontrar el tapón de la etapa #25 y así garantizar un correcto enganche. El desplazamiento se vio interrumpido en profundidad de 3493 m por lo que se presumió que había acumulación de escombros por delante del pez. Como consecuencia, se realizaron 3 (tres) intentos adicionales de enganche sobre el tope de pez no exitosos.

Carrera #3

Previo a la ejecución de la carrera #3 se bombearon 100 barriles de gel activado seguido de 300 barriles de fluido *slickwater* a un caudal máximo de 15 BPM (barriles por minuto), ya que el objetivo principal de esta maniobra era desplazar la posible suciedad alojada sobre el punto de pesca que pudiera estar complicando la operación de enganche del pez al emplear el overshot mecánico.

Una vez terminada la operación de bombeo, se procedió a la ejecución de la carrera #3 con el mismo *string* utilizado



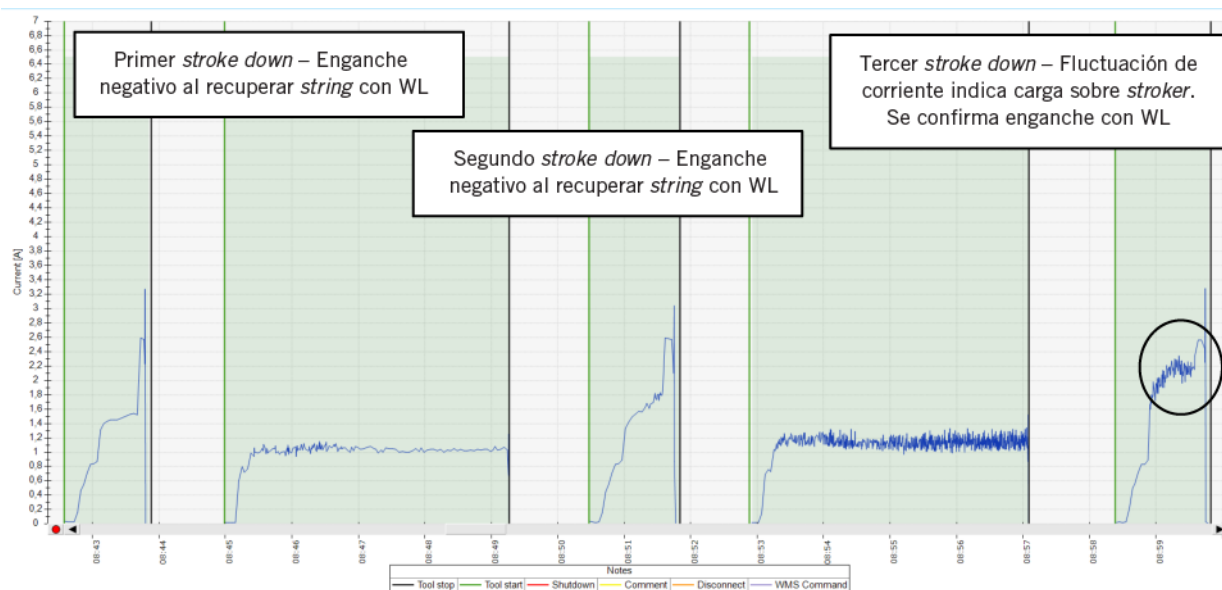


Figura 3. Gráfico de consumo de corriente en diferentes etapas.

en la carrera previa. En esta oportunidad el tope de pez se ubicó en profundidad de 4177 m y se procedió a enganchar pez empleando fuerza de *stroker*. Se requirieron tres intentos antes de confirmar enganche positivo (Figura 3).

Una vez confirmado el enganche, al momento de recuperar cable eléctrico desde superficie, se observó un incremento en la tensión normal de aproximadamente 600 lbs en comparación a la última verificación de tensión normal antes de producirse el enganche del pez.

No se requirió aplicación de fuerza para la liberación de BHA de P&P, durante la sacada de herramienta o *Pull Out Of Hole* (POOH), se incrementó la lectura de tensión normal hasta un máximo de 3100 libras (lbs) al momento de desplazar el *string* a través de las secciones punzadas. Una vez alcanzados los 60 m de profundidad, y de acuerdo con el procedimiento compartido por la compañía de WL, se detuvo la recuperación de herramientas por espacio de 12 h antes de alojar el tren de herramientas en los lubricadores.

Se recuperaron 14,6 m de BHA para P&P de manera exitosa. En la tabla 2 se resumen los tiempos de operación para la ejecución del servicio de recuperación empleando tractor y *stroker* para cable eléctrico. El total de tiempo de operación efectivo fue de 41 h.

La operación de pesca descrita fue realizada en simultáneo con la operación de fractura de los otros 5 pozos del pad que nunca se detuvo, lo que permitió realizar un total de 26 etapas de fractura en los pozos que confor-

Actividad	Horas
Preparativos en superficie	7
Armado (<i>rig-up</i>)	2,5
Carrera por gravedad	5
Operación de pesca	6,5
Recuperación de herramienta	17,25
Desarmado (<i>rig-down</i>)	2,75

Tabla 2. Tiempos operativos para carrera de pesca.

Pozo	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Pozo # E	1	0	0	0	0
Pozo # D	2	1	2	0	0
Pozo # C	2	0	1	0	2
Pozo # B	2	1	1	2	1
Pozo # A	0	2	2	3	1
Fracturas realizadas por día	7	4	6	5	4

Tabla 3. Etapas de fractura ejecutadas durante operación de pesca con tractor y *stroker*.

man el PAD sin tiempos de espera.

Estas 26 etapas de fractura han sido completadas según el esquema que se muestra en la tabla 3.

Al comparar lo realizado con una simulación teórica para el mejor de los escenarios con la alternativa de *coiled tubing*, se hubiesen completado 22 etapas de fractura durante el mismo período en el que se completó la intervención con cable eléctrico según el esquema de la tabla 4.

Caso histórico #2 - Recuperación de BHA de P&P ubicado en sección horizontal

Como resultado de la primera experiencia exitosa descrita anteriormente, se definió que la tecnología de pesca con e-line tractor y *stroker* sería considerada como plan de contingencia en las operaciones no convencionales de la cuenca.

Pozo	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Pozo # E	1	0	0	0	0
Pozo # D	1	0	0	0	0
Pozo # C	2	0	1	0	2
Pozo # B	2	1	1	2	1
Pozo # A	0	2	2	3	1
Fracturas realizadas por día	6	3	4	5	4

Tabla 4. Etapas de fractura teóricas durante ejecución de pesca con *coiled tubing*.

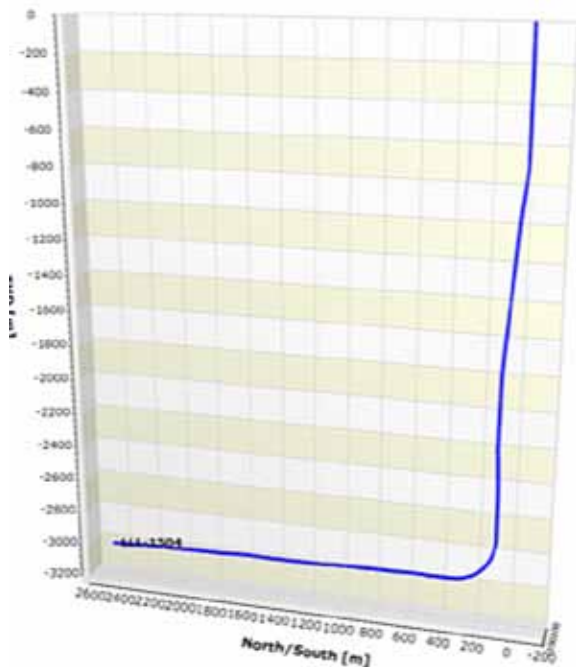


Figura 4. Geometría de pozo por intervenir, pez ubicado a 4160 m.

Hacia finales de 2020 y luego de una campaña exitosa con el uso de esta tecnología, se trabajó en un pozo con geometría horizontal descrito en la figura 4; donde luego de varias operaciones de *Plug & Perf* durante el fracturamiento hidráulico, se quedaron atrapados 8,4 m del *string* de BHA de P&P.

Se requirió entonces de la utilización de la herramienta tractor en conjunto con *stroker* para cable eléctrico para recuperar el BHA dejado en fondo de pozo. El objetivo por recuperar se encontraba a una profundidad de 4160 m, dentro de la rama horizontal del pozo con una tangente que iniciaba en profundidad de 3082 m.

Disposición: locación de seis pozos (Figura 5).

Secuencia operativa

A continuación, se presenta el orden de la secuencia operativa ejecutada.

Carrera #1

Se inició la carrera de recuperación de BHA empleando tractor y *stroker* para cable eléctrico, y se realizó la

verificación de tensión normal cada 500 m según estándar operativo hasta alcanzar profundidad vertical de 3150 m. En esa profundidad el cable eléctrico no manifestó avance por gravedad y, por lo tanto, se inició la operación de transporte asistido con tractor eléctrico hasta alcanzar profundidad de 4500 m.

Una vez alcanzado los 4500 m se realizó la verificación de funcionamiento de *stroker* para cable eléctrico y se prosiguió con el desplazamiento asistido en baja velocidad hasta encontrar tope de pez a la profundidad de 4160 m.

El contacto con el pez se evidenció por un incremento en el consumo medio de corriente para el tractor eléctrico y alcanzó valores de 2,5 amps, se mantuvo encendida la herramienta por un par de minutos posterior al contacto para asegurar el mejor contacto posible entre tope de pez y pescante.

Luego del apagado de herramienta tractor, se realizaron dos ciclos de *stroker* hacia abajo para asegurar el enganche con el pez, y después se recuperó el cable eléctrico y se certificó enganche al notar un incremento en la lectura de tensión normal en el panel del guinche sin movimiento aparente de BHA. Con el enganche verificado, se completó un ciclo de *stroker* hacia arriba para recuperar el BHA atrapado y dar inicio al POOH.

El comportamiento en el consumo de corriente para la secuencia de eventos descrita se resume en la figura 6.

Se recuperaron 8,4 m de BHA para P&P de manera exitosa. En la tabla 5 se resumen los tiempos de operación para la ejecución del servicio de recuperación con el empleo del tractor y *stroker* para cable eléctrico. El total de tiempo de operación efectivo fue de 13,4 h.

Actividad	Horas
Preparativos en superficie	5
Armado (<i>rig-up</i>)	0,67
Carrera por gravedad	1,00
Operación de pesca	4
Recuperación de herramienta	2
Desarmado (<i>rig-down</i>)	0,75

Tabla 5. Tiempos operativos para carrera de pesca.

Toda la operación de pesca descrita fue realizada en simultáneo con la operación de fractura de los otros seis pozos del pad que nunca se detuvo. Durante la ejecución de la operación de pesca se realizaron, en simultáneo, un total de siete etapas de fractura en los pozos que conforman el PAD.

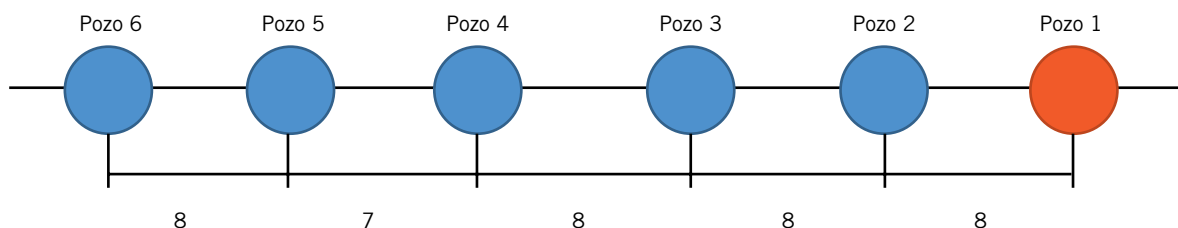


Figura 5. Layout de locación, distancia entre pozos medida en metros. Pozo intervenido: Pozo 1.

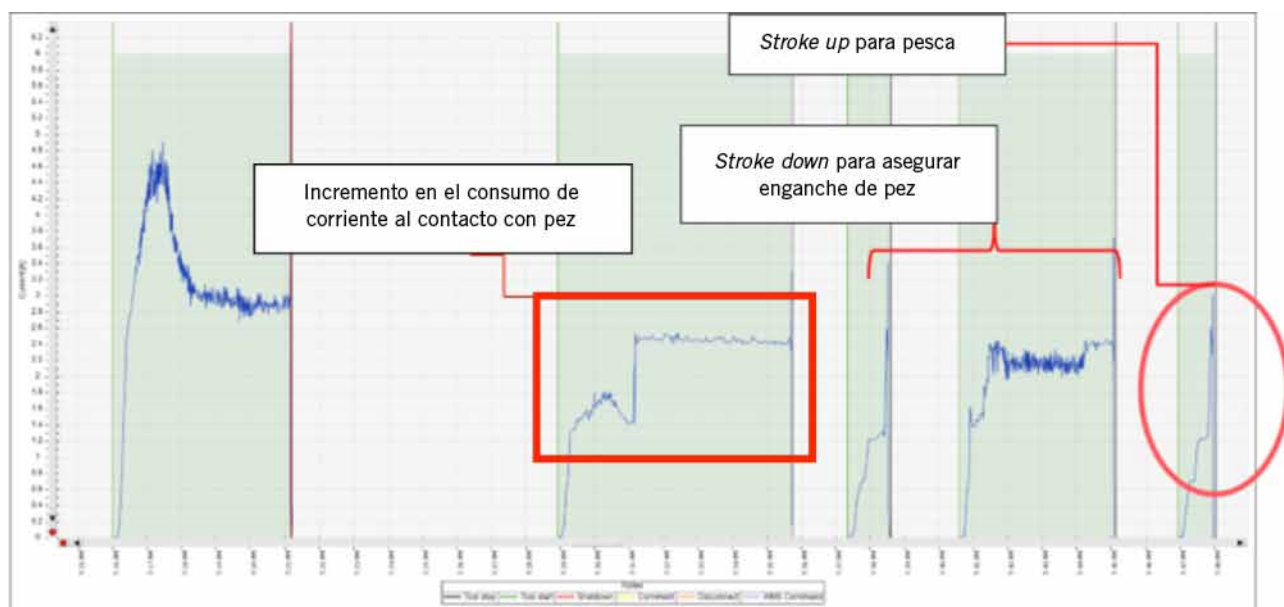


Figura 6. Consumo de corriente para contacto con pez y recuperación con *stroker*.

Pozo	Día 1	Día 2
Pozo # 2	0*	0*
Pozo # 3	1	0
Pozo # 4	0	1
Pozo # 5	1	2
Pozo # 6	1	1
Fracturas realizadas por día	3	4

Tabla 6. Etapas de fractura ejecutadas durante la operación de pesca. *No se fractura por problemas en boca de pozo.

Estas siete etapas de fractura fueron completadas como se muestra en la tabla 6.

Al comparar lo realizado con una simulación teórica para el mejor de los escenarios con la alternativa de *coiled tubing*, se hubiesen completado cinco etapas de fractura durante el mismo período en el que se completó la intervención con cable eléctrico según el esquema de la tabla 7.

Pozo	Día 1	Día 2
Pozo # 2	0	0
Pozo # 3	0	0
Pozo # 4	0	0
Pozo # 5	1	2
Pozo # 6	1	1
Fracturas realizadas por día	2	3

Tabla 7. Etapas de fractura teóricas durante la ejecución de pesca con *coiled tubing*.

Conclusiones

A partir de las experiencias documentadas en este trabajo y otras realizadas durante la campaña operativa, podemos resumir los siguientes beneficios obtenidos

como consecuencia del resultado de la tecnología e-line tractor y *stroker* a través de cable eléctrico para pescas en las operaciones de fracturas hidráulicas en pozos no convencionales:

- La tecnología e-line tractor y *stroker* es una alternativa validada para la ejecución operativa de carreras de pesca a través de cable eléctrico.
- En el caso 1 se logró realizar un 18% más de etapas de fractura en comparación a si se hubiera utilizado el *coiled tubing* para realizar la pesca en dicho PAD.
- En el caso 2 se logró realizar un 40% más de etapas de fractura en comparación a si se hubiera utilizado el *coiled tubing* para realizar la pesca en dicho PAD.
- A partir de la utilización de e-line tractor y *stroker* a través de cable eléctrico se obtuvo una reducción del 62% de tiempo efectivo de operación en comparación con una operación estándar de *coiled tubing*.
- A partir de la utilización de e-line tractor y *stroker* a través de cable eléctrico se obtuvo una reducción del 39% en el costo operativo en comparación con una operación estándar de *coiled tubing*.
- La operación de pesca con herramientas robóticas a través de cable eléctrico permite operar simultáneamente el pozo intervenido con la pesca y continuar con las fracturas hidráulicas en los otros pozos del PAD, sin necesidad de detener entre tres a cuatro pozos, adicionales al que se está interviniendo, si se utilizara *coiled tubing* (esto es función del equipo necesario en superficie).
- A la fecha se han ejecutado exitosamente ocho operaciones de pesca a través de cable eléctrico. Con cada servicio se han optimizado los procedimientos operativos hasta alcanzar un tiempo de ejecución promedio de 13 horas.
- La ejecución del servicio bajo el tiempo promedio de 13 horas representa una reducción del 68% en el tiempo de ejecución en comparación con el primer servicio ejecutado.



Apéndice Herramientas para intervención a través de e-line

Tractor para cable eléctrico

Esta herramienta permite aplicar fuerza sobre la sarta de herramientas en fondo para vencer la fricción, desplegando la línea eléctrica y transportando las sondas de registros u otras herramientas hasta la profundidad programada. Se opera con línea eléctrica (*wireline*), al transmitirle voltaje desde superficie.

El tractor para cable eléctrico convierte energía eléctrica en energía hidráulica, mediante la operación de un sistema de bombeo hidráulico en el fondo, que recircula aceite de su reservorio interno a través de los circuitos hidráulicos de la herramienta. Cuando la herramienta es accionada, los brazos de cada sección Tractora son ex-

tendidos hidráulicamente fuera de cuerpo de la herramienta. Las ruedas inician a rotar automáticamente una vez que emergen fuera del cuerpo del tractor para cable eléctrico. Cada rueda contiene motores hidráulicos independientes, que facilita la rotación de estas y el avance de la herramienta.

La herramienta tractor funciona mediante la interacción de tres secciones:

- **Sección electrónica:** cerebro de la herramienta, mediante comandos eléctricos controla las secciones electro-hidráulica y motriz.
- **Sección electro-hidráulica:** un motor eléctrico activa las bombas del sistema hidráulico que envía aceite contenido en un depósito dentro de la herramienta.
- **Sección motriz:** la sección motriz convierte la fuerza hidráulica en fuerza mecánica. El gasto de



Figura 7. Elementos que conforman tractor para cable eléctrico.

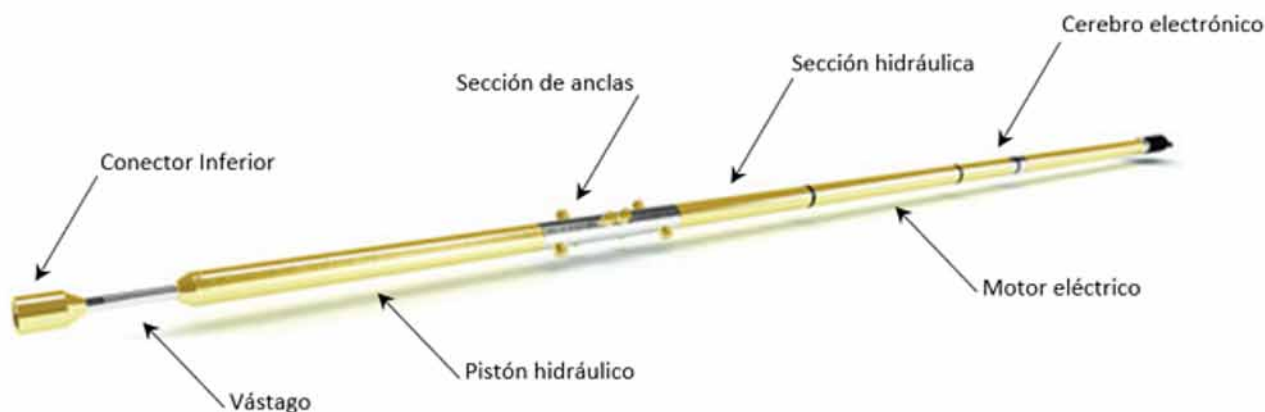


Figura 8. Elementos que conforman *stroker* para cable eléctrico.

aceite y la presión resultante de la presurización de los circuitos de apertura de brazos y de tracción en las ruedas permite ejercer fuerza sobre la sarta de herramientas (Figura 7).

Stroker para cable eléctrico

Diseñado para aplicar hasta 66.000 libras de fuerza axial, el *stroker* se ancla dentro de la tubería y aplica la fuerza con capacidad bidireccional. Puede empujar o tirar, también puede ser combinado con una larga variedad de herramientas de manipulación mecánica. De esta manera, cualquier operación típica *wireline* se puede realizar en un pozo horizontal con línea eléctrica incluso sustitución de tapones para asentar, recuperar tapones mecánicos y abrir válvulas de aislamiento de zona entre otras aplicaciones. La fuerza aplicada se puede controlar desde superficie en tiempo real (Figura 8).

De manera similar a la tecnología de tractor para e-line, el *stroker* para cable eléctrico se compone de tres secciones generales:

- **Sección electrónica:** cerebro de la herramienta, mediante comandos eléctricos controla las secciones electro-hidráulica y motriz.
- **Sección electro-hidráulica:** un motor eléctrico activa las bombas del sistema hidráulico que envían aceite contenido en un depósito dentro de la herramienta. Dos sistemas son alimentados secuencialmente, un sistema de anclaje para asegurar que la herramienta permanece fija al *casing* mientras opera y un sistema de aplicación de fuerza, con capacidades de aplicación de fuerza con valores hasta las 100 K lbs.
- **Sección de aplicación de fuerza:** está compuesta por un pistón hidráulico y un vástago. El flujo interno de aceite a alta presión permite que se ejerza fuerza directamente sobre el conector inferior a través del vástago. Según la configuración interna de la sección hidráulica el rango de aplicación de esta fuerza puede variar entre 12 K lbs y 100 K lbs.

Bibliografía

Well Tractors for Highly Deviated and Horizontal Wells, SPE 28871. Londres, 25-27. Octubre 1994.

Reduction of Cost with New Well Intervention Techno-

logy. Well Tractors. SPE 30405. Aberdeen, 5-6. Septiembre 1995.

The Challenges of Deviated Wells. SPE/IADC SPE 108270-PP. Cairo, 22-24. Octubre 2007.

Wireline Tractor Technology Supports Fast Tracking New Well Design. IADC/SPE 115202-PP. Jakarta, 25-27. Agosto 2008.

Wireline Well Tractor Technology Experience in Extended Reach Horizontal Well. SPE 136535. Abu Dhabi, 1-4. Noviembre 2010.

Rigless Intervention: Barriers and Misperceptions About Using Lightweight Intervention Solutions To Increase Oil Recovery from Deepwater, Subsea Wells Bevan Morrison, OTC 24054-MS. Houston, Texas, USA, 6-9. May 2013.

New Advances in Mechanical Engineering Enables Pulling Forces of up to 60,000 lbs. Experience Gained from Offshore Norway Case Stories. SPE-173837-MS. Bergen, Noruega. 22 abril 2015.

