

Pan American Energy LLC
Unidad Golfo San Jorge

Uso de Unidades de Bombeo con Carrera Larga
Yacimiento Cerro Dragón

Pan American Energy LLC
Francisco Nercesian
Horacio Fernandez Castro
Roberto Grande

Weatherford
Juan José Saiz

Sinopsis

En el presente trabajo se exponen las primeras experiencias con unidades de bombeo de carrera larga (Rotaflex) en el yacimiento Cerro Dragón, como una alternativa a los sistemas convencionales usados en el área.

La gran expansión experimentada por la compañía en los últimos años requirió adecuar los sistemas de explotación para caudales de producción cada vez mayores. La inyección de agua se incrementó en un 240% y la producción de petróleo en un 175% en 6 años como consecuencia de la implementación de nuevos proyectos de recuperación secundaria y la ampliación de proyectos existentes.

El aumento de los caudales de producción produjo que las instalaciones de bombeo mecánico con equipos AIB trabajaran al límite de su capacidad, lo que derivó en un incremento de intervenciones con equipos de Pulling por fallas. El bombeo electrosumergible posibilitó aumentar la capacidad de extracción en el área, sin embargo este sistema no brindó una solución adecuada en determinados pozos con gran aporte de arena o en pozos con restricciones de casing donde no pudo ser bajada la instalación.

Los equipos de carrera larga brindan alta capacidad de extracción, trabajando con bombas de hasta 3 ¼" y carreras de 288". A su vez, la baja velocidad de bombeo reduce en gran parte los ciclos de esfuerzo sobre las varillas. Los problemas de arena se mitigaron mediante el uso de pistones con anillos y desarenadores ciclónicos. Esto contribuyó a disminuir el índice de fallas sin tener que resignar producción.

Sin embargo, la introducción de estos nuevos equipos en el campo requirió de un mantenimiento preventivo mas riguroso que las tradicionales unidades de bombeo.

Introducción

El área Cerro Dragón se encuentra en la cuenca del Golfo San Jorge, al sur de la provincia de Chubut y norte de Santa Cruz, ocupando una superficie total de 3.480 km². El área cuenta con 2.214 pozos productores con una profundidad promedio de 2.290 metros y 410 pozos inyectoros de agua. Actualmente se producen en Cerro Dragón 119.922 m³ de fluido por día, 14.490 m³/día de petróleo y 7.7 MM³/día de gas. El 46% de la producción de petróleo proviene de proyectos de recuperación secundaria, con una inyección total de agua de 115.754 m³/día.

Bajo este panorama, y con una tendencia de constante crecimiento de la producción, se requieren nuevas alternativas tecnológicas que permitan extraer cada vez mayores caudales, minimizando las fallas prematuras en las instalaciones.

Descripción de la unidad de bombeo Rotaflex

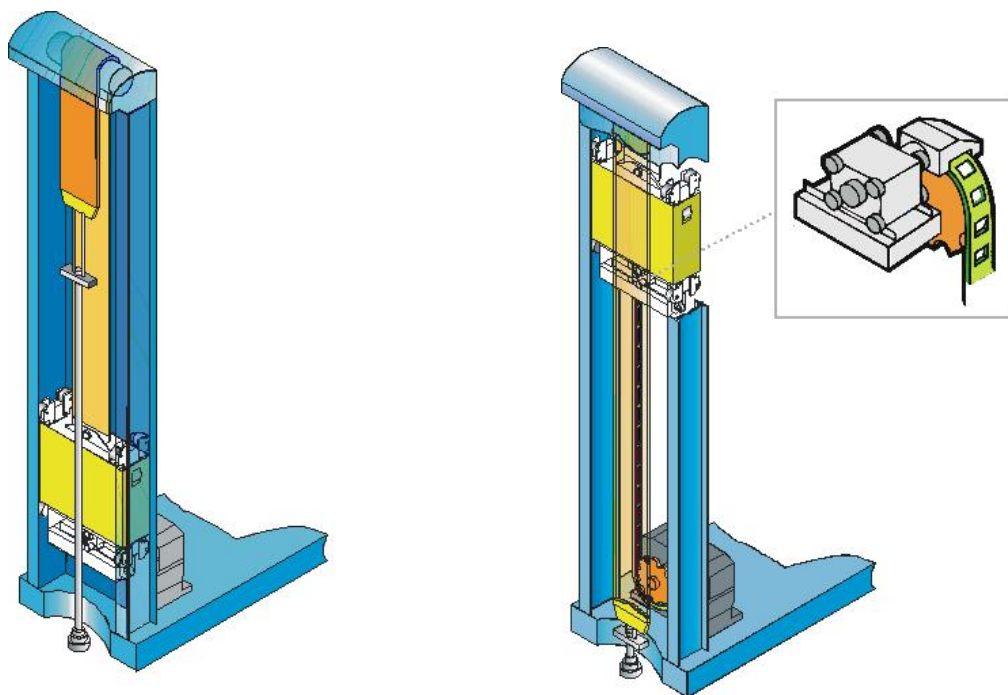


Fig. 1: Unidad Rotaflex.

El Rotaflex es una unidad de baja velocidad de bombeo y carrera larga (Figura 1). En dichos equipos el motor eléctrico está conectado directamente a una caja reductora, la cual transmite el movimiento de rotación a una rueda dentada motora que conduce una cadena a velocidad relativamente constante. Dicha cadena viaja entre la rueda dentada mencionada anteriormente y otra fijada en la parte superior de la torre (Figura 2).

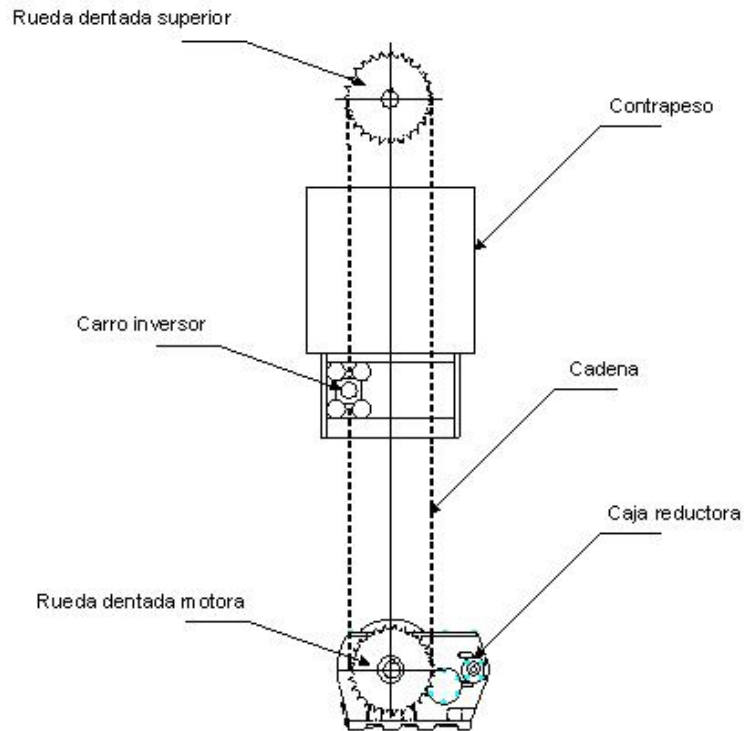


Fig. 2: Sistema de cadena y contrapeso.

El contrapeso del equipo consiste en un cuadro de 4.263,8 kg. (9.400 lbs.) con placas de acero que pueden agregarse o quitarse con el objeto de balancear el torque de la unidad. El mismo se encuentra fijo a uno de los eslabones de la cadena por medio de un carro inversor, y se mueve solidariamente con ésta en las carreras ascendente y descendente. Los cambios de sentido se producen en las ruedas dentadas inferior y superior cuando dicho eslabón, fijo al carro inversor del contrapeso, pasa a través de ellas (Figura 3).

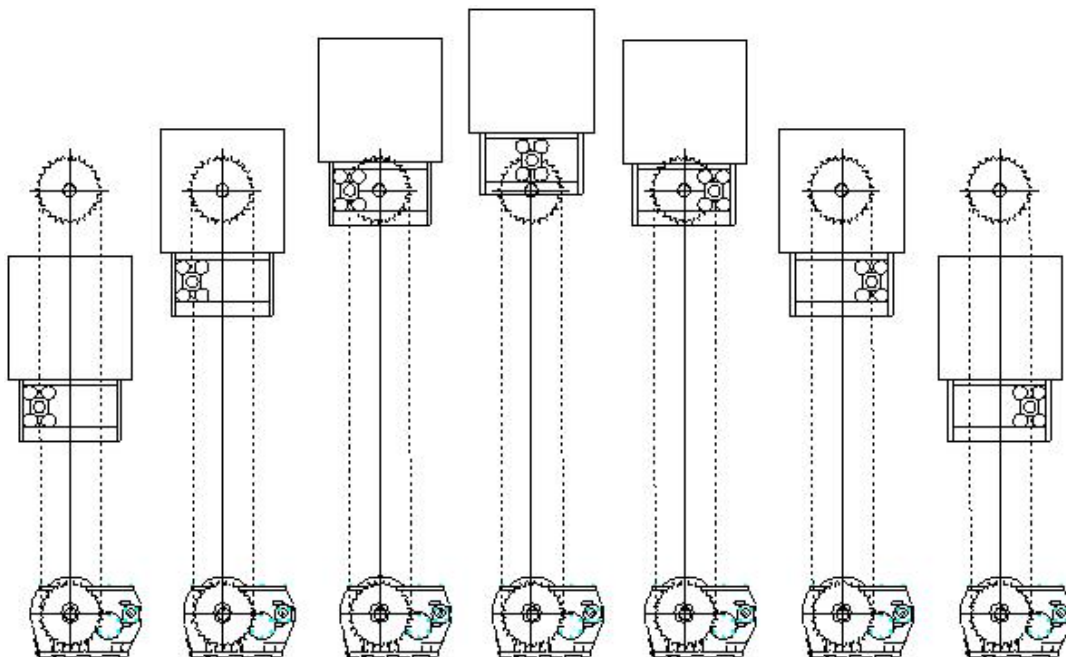


Fig. 3: Movimiento del contrapeso.

El contrapeso se encuentra a su vez conectado al extremo de una cinta conductora flexible. Ésta lo conecta con el vástago pulido de la sarta de varillas pasando por un tambor giratorio en el tope de la torre. De esta manera, en la carrera ascendente del pistón, el contrapeso baja; mientras que en la carrera descendente, el contrapeso sube (Figura 4).

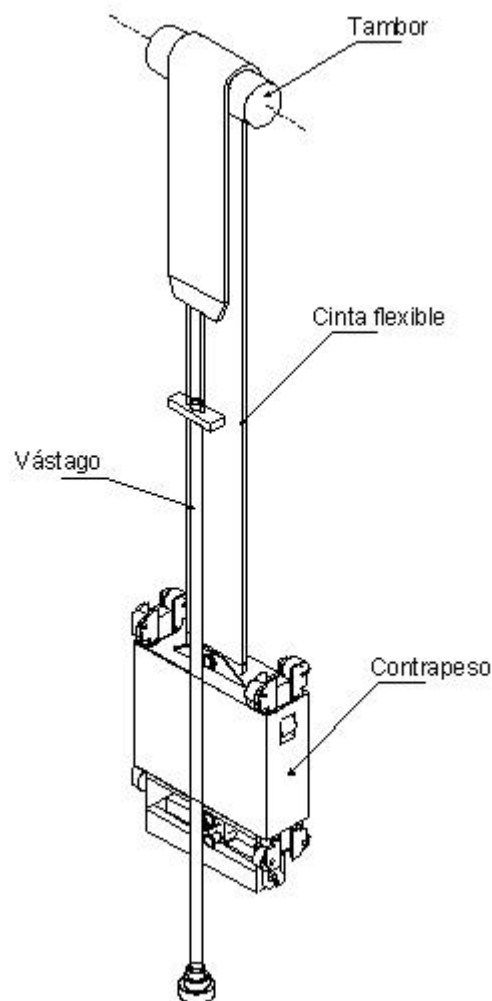


Fig. 4: Conexión entre contrapeso y vástago.

Características de la unidad de bombeo Rotaflex

La principal característica de estas unidades es la larga carrera que poseen (288" los modelos 800 y 900 y 306" el modelo 1100) en comparación con los equipos de bombeo tradicionales. En contrapartida, el régimen de bombeo al que pueden trabajar las unidades Rotaflex es menor, no pudiendo superar los 4,5 golpes por minuto según recomendaciones del fabricante (sin variador de velocidad). Las bajas velocidades y las carreras largas resultan en un llenado mas completo de la bomba y en una reducción en el ciclo de esfuerzo de las varillas. Constructivamente poseen un brazo de palanca más corto que las unidades de bombeo convencionales, lo que permite trabajar con cargas estructurales del mismo rango exigiendo con menor torque a la caja reductora (el brazo de palanca es de 18", que es la distancia entre el eje de la rueda dentada motora y el perímetro de la misma) (Figura 5).

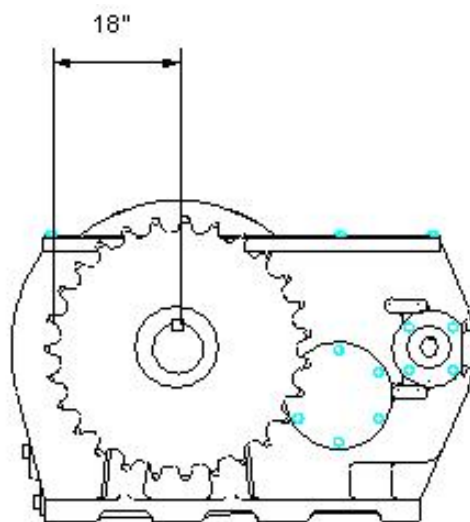


Fig. 5: Caja reductora. Brazo de palanca de 18".

Otra característica distintiva de estos equipos de carrera larga es la de tener una velocidad constante en la mayor parte de las carreras ascendente y descendente. Esto minimiza el efecto inercial debido a la aceleración en la sarta de varillas.

En el siguiente cuadro se muestran los distintos modelos de unidades Rotaflex con sus especificaciones técnicas:

Modelo	800	900	1100
Capacidad de la estructura (lbs)	25.600	36.000	50.000
Longitud de carrera (in)	288	288	306
Caja reductora (lbs-in)	228.000	320.000	320.000
Peso de la unidad (lbs)	46.000	46.000	56.000
Peso de la base (lbs)	29.000	29.000	29.000
Contrapeso mínimo (lbs)	9.400	9.400	14.000
Máxima carga libre (lbs)	9.800	17.800	16.000
Contrapeso máximo (lbs)	19.000	27.000	30.000

Experiencias en Cerro Dragón

El uso de las unidades de bombeo de carrera larga en Cerro Dragón tiene como objetivo la evaluación de un sistema de extracción alternativo para pozos especialmente problemáticos. No se pretende reemplazar algún sistema de explotación en particular, sino complementar los utilizados actualmente, buscando entre todas las alternativas tecnológicas posibles la mejor solución para cada pozo.

Actualmente se encuentran en producción dos unidades modelo 900 (320-360-288), y se están evaluando candidatos para cinco unidades mas del mismo tipo.

Selección de candidatos:

Por ser la primera experiencia con unidades Rotaflex se priorizaron los pozos cercanos a las bases operativas para facilitar la inspección y el seguimiento de las mismas. Del grupo preseleccionado según el criterio anterior se eligieron pozos que presentaran las siguientes características:

- Altos caudales de producción debido a la respuesta de la recuperación secundaria.
- Altos niveles de sumergencia.
- Alto índice de fallas con sistema de bombeo mecánico (principalmente pesca de varillas), debido a la gran exigencia del sistema.
- Fallas prematuras de bombas electrosumergibles, principalmente por sólidos.

El criterio de selección de candidatos para las cinco nuevas unidades a instalar en el campo fue similar en los tres primeros puntos. Sin embargo se dio prioridad en este caso a pozos donde fue imposible bajar un diseño de electrosumergible por alguno de los siguientes motivos:

- Restricciones en casing de 5 ½" que no permitieron el paso de las bombas electrosumergibles TR3 con camisas de circulación.
- Instalaciones de producción con packer por rotura de casing. El packer por debajo de la rotura no permite el paso del cable de alimentación.

Descripción de Casos:

Caso A

Pozo: PCG-834

Yacimiento: Cañadón Grande

Proyecto de Recuperación Secundaria: CGIIIW

Diámetro de Casing: 5 ½"

Profundidad del pozo: 2.500 mts.

En Agosto de 2001 se bajó instalación de bombeo electrosumergible, produciéndose la primer falla (corte de eje por sólidos) a los 60 días. Luego de 2 fallas prematuras mas por sólidos, se decidió volver al bombeo mecánico con una bomba de 2 ¾" a 1.717 mts. El 5 de Noviembre de 2004, y luego de reiteradas pescas de varillas, se instala la primera unidad Rotaflex del área en el pozo de referencia. En la intervención se punzaron nuevas capas por lo que se esperaban mayores caudales de producción. En el nuevo diseño se mantuvo el diámetro de pistón pero se profundizó la bomba.

	Instalación Anterior	Instalación Actual
Aparato de bombeo	M-1280-427-192	R-900-360-288
Bomba	3 ½" x 2 ¾" x 25'	3 ½" x 2 ¾" x 37'
Profundidad bomba	1717,56 mts.	1892,32 mts.
Diseño de varillas	Sarta 87 con barras de peso de 1 5/8"	Sarta 87 con barras de peso de 1 5/8"

De esta primera experiencia se obtuvieron muy buenos resultados respecto a producción y disminución de intervenciones de Pulling. Sin embargo, el equipo sufrió una falla el 19/8/2005 produciéndose la rotura de un eslabón de la cadena. Este hecho motivó la formación de un equipo

interdisciplinario entre proveedor y usuario, con el objeto de llevar a cabo un análisis de causa raíz de la falla. De dicho análisis surgieron las siguientes consideraciones:

Secuencia de fallas:

1. Rotura de rueda guía posterior inferior izquierda de carro portaplacas (contrapeso), provocando desalineación de carro y cadena.
2. Rotura de segunda rueda guía (posterior inferior derecha).
3. Carro inversor comienza a trabajar con desplazamiento angular respecto al eje de marcha.
4. Desgaste prematuro de pestaña de ruedas guía frontales de carro inversor.
5. Desgaste de pestañas de ruedas posteriores / anteriores de apoyo de carro inversor.
6. Fisura y posterior rotura de placa de eslabón extremo de cadena en orificios cruzados.

Finalmente y como conclusión, se identificó como causa raíz la desalineación de la torre del equipo, producto del hundimiento de la locación que desencadenó la secuencia de fallas hasta terminar con la rotura de uno de los eslabones de la cadena.

Caso B

Pozo: PCG-156

Yacimiento: Cañadón Grande

Proyecto de Recuperación Secundaria: CGIIE

Diámetro de Casing: 5 ½"

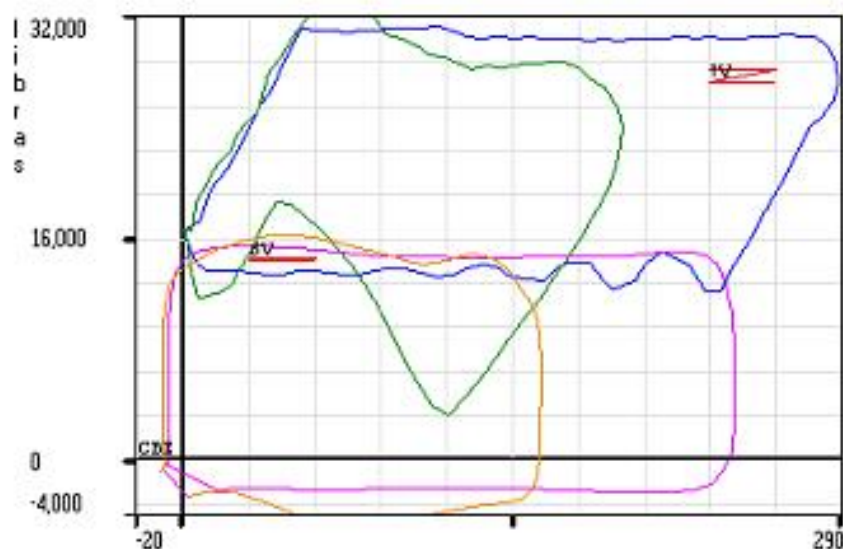
Profundidad del pozo: 2.165 mts.

Unidad instalada el 5 de Febrero de 2005. El pozo presentaba reiteradas intervenciones por fallas, especialmente en varillas de bombeo.

En el nuevo diseño se bajó una bomba con pistón de 3 ¼" y 288" de carrera con anillos para arena y encastre. Esta bomba es la mas grande de Cerro Dragón. La sarta de tubing es de 2 7/8" excepto en el tramo de la bomba donde es de 3 ½" para poder alojar el pistón.

	Instalación Anterior	Instalación Actual
Aparato de bombeo	M-1280-427-192	R-900-360-288
Bomba	3 ½" x 2 ¾" x 25'	3 ½" x 3 ¼" x 37'
Profundidad bomba	1797, 56 mts.	1800 mts.
Diseño de varillas	Sarta 87 (varillas de alta resistencia), con barras de peso 1 5/8"	Sarta 87 (varillas de alta resistencia), con barras de peso 1 5/8"

En la Figura 6 se puede ver la comparación de las gráficas dinamométricas con la instalación anterior y con la unidad Rotaflex. Este último, al trabajar con velocidad constante en las carreras ascendente y descendente, exhibe una carta dinamométrica de superficie mas rectangular y mas parecida a la carta ideal. Este es un factor importante en la reducción de fallas puesto que minimiza el efecto de la aceleración en la sarta de varillas.



- Instalación anterior a 8,5 gpm y 192" de carrera (M1280-427-192).
- Instalación actual a 4 gpm y 288" de carrera (R900).

Fig. 6: PCG-156 - Comparación de cartas dinamométricas entre AIB y Rotaflex .

En cuanto a datos de producción, el pozo pasó de producir 165 m³/d de fluido y 2,9 m³/d de petróleo (a 8,5 gpm y 192" de carrera) a 194 m³/d de fluido y 4,6 m³/d de petróleo (a 4 gpm y 288" de carrera).

Como resultado de esta adecuación se logró aumentar el tiempo entre fallas debido principalmente al bajo régimen de trabajo (4 golpes por minuto). Si se toma en cuenta el promedio del tiempo entre intervenciones (medido en días) antes y después de la instalación del Rotaflex se ve una mejoría pasando de 106 a 215 días. Si del total de intervenciones se toman sólo las que corresponden a pesca de varillas la mejoría es aún mayor. De un promedio de 126 días entre fallas, ya se llevan 510 días desde la adecuación a la fecha del presente análisis sin intervenciones por este tipo de fallas. En el Gráfico 1 se puede ver el tiempo entre intervenciones totales por fallas (barras) desde enero de 2004 a la fecha. Trazad una línea de tendencia se nota la mejora lograda en este sentido con la instalación del equipo Rotaflex.

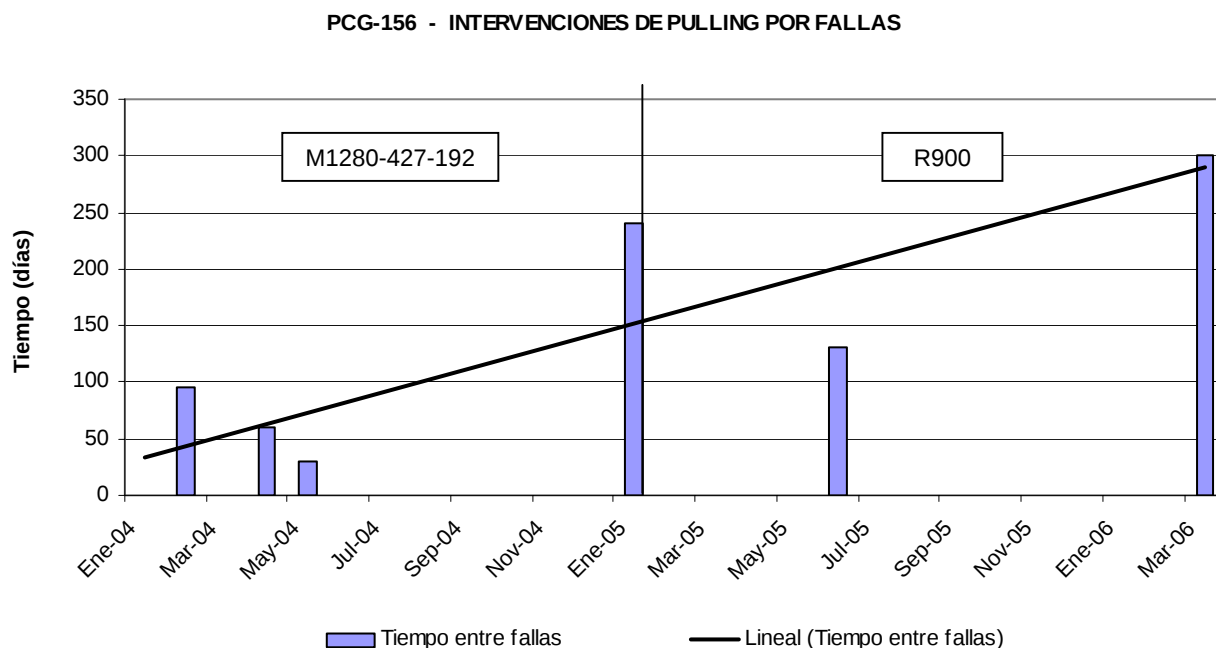


Gráfico 1: Tiempo entre intervenciones por falla.

El problema principal en la instalación del pozo de referencia se tuvo con el ancla Catcher de 5 1/2", produciéndose rotura del mismo y pesca de tubings en la falla de Marzo de 2006. Para salvar esta situación se reemplazó el ancla por un empaquetador de doble agarre mecánico modelo "P" sin gomas para obtener mayor resistencia a las cargas producidas por el movimiento alternativo de la bomba.

Caso C

Pozo: PCD-839

Yacimiento: Cerro Dragón

Proyecto de Recuperación Secundaria: CDII E

Diámetro de Casing: 5 1/2"

Profundidad del pozo: 2.582 mts.

En Enero de 2004 se intervino el pozo con el objeto de punzar nuevas capas afectadas a la recuperación secundaria, en el marco de la implementación del proyecto CDII E. Como consecuencia, el pozo pasó de una producción de 12 m³/d de fluido a mas de 100 m³/d de fluido. Debido a este incremento de casi un 90% en el caudal de fluido, se reemplazó el bombeo mecánico por bombeo electrosumergible. Sin embargo este sistema presentó reiteradas fallas por sólidos, por lo que en Agosto de 2005 se volvió a bajar instalación de bombeo mecánico con un régimen de trabajo de 10 gpm a 168" de carrera. Debido a la gran exigencia del sistema en Febrero de 2006 se intervino el pozo por falla en la bomba. La nueva instalación con equipo R900 fue bajada el 18/2/2006 con el objetivo de disminuir el índice de fallas manteniendo el mismo nivel de producción. Actualmente el régimen de bombeo es de 3,9 gpm, y 288" de carrera.

La sarta de tubings en el nuevo diseño es de 2 7/8" en la totalidad del pozo, y la bomba bajada contiene pistón con anillos para arena, y dispositivo de encastre.

	Instalación Anterior	Instalación Actual
Aparato de bombeo	A-912-305-168	R-900-360-288
Bomba	2 ½" x 2" x 24'	2 7/8" x 2 ¼" x 37'
Profundidad bomba	2364 mts.	2364 mts.
Diseño de varillas	Sarta 86 (varillas con pin mayor), barras de peso 1 5/8"	Sarta 87 (varillas de alta resistencia), barras de peso 1 5/8"

Como instalación adicional se agregó un desarenador ciclónico por debajo de la bomba debido a los antecedentes de fallas por arena de formación. Dicho equipo separa las partículas sólidas por acción centrífuga antes de que ingresen en la bomba.

En la Figura 7 se ve la comparación entre los diagramas de superficie y de fondo entre la instalación anterior con AIB y la actual con la unidad R900. En la carta de fondo se puede apreciar el incremento de carrera neta con la nueva instalación. Por otro lado, al igual que en el caso anterior, se nota el parecido a la carta ideal en el caso del equipo Rotaflex debido a las velocidades lentas y constantes que disminuyen considerablemente el efecto de la aceleración sobre las varillas.

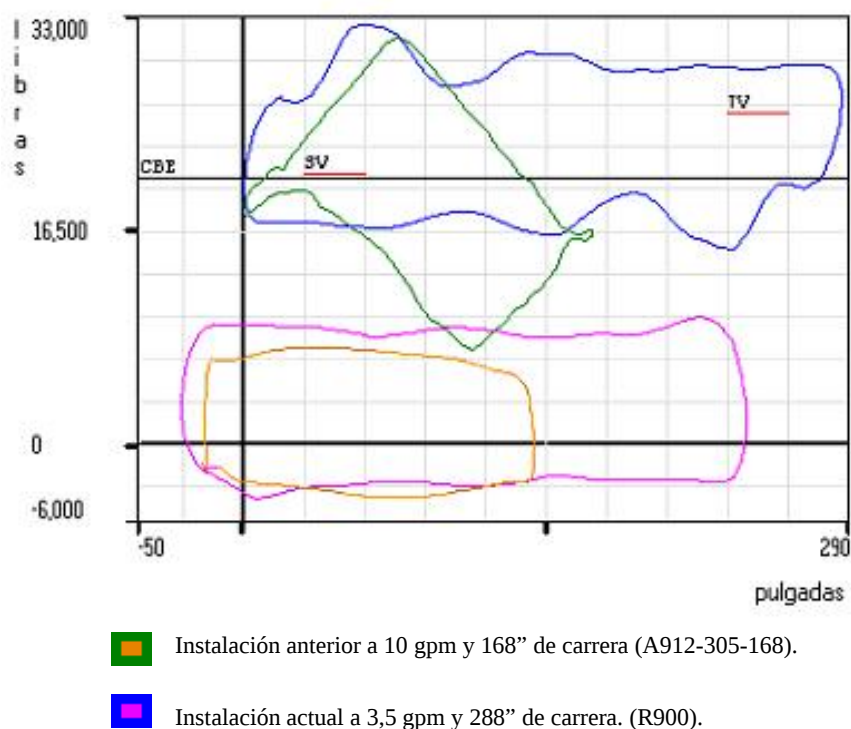


Fig.7: PCD-839 - Comparación de cartas dinamométricas entre AIB y Rotaflex

En cuanto a los datos de producción el pozo pasó de 99 m³/d de fluido y 7,9 m³/d de petróleo con la instalación anterior a 10 gpm y 168" de carrera, a 98,2 m³/d de fluido y 8,8 m³/d de petróleo con la unidad R900 a 3,5 gpm y 288" de carrera. Con estos datos, y teniendo en cuenta que la velocidad de bombeo puede llegar hasta 4,5 gpm en el último caso, se observó que se pueden mantener y hasta aumentar los caudales de producción.

Debido al poco tiempo de funcionamiento de la unidad Rotaflex en el pozo de referencia, al momento no se pueden obtener conclusiones definitivas sobre la performance del equipo en cuanto a reducción de fallas. Sin embargo ya se llevan mas de 190 días de la instalación del equipo sin intervenciones, y ya se empieza a notar una tendencia positiva en este aspecto. En el Gráfico 2 se pueden ver los tiempos entre intervenciones de Pulling por fallas (barras) y la línea de tendencia.

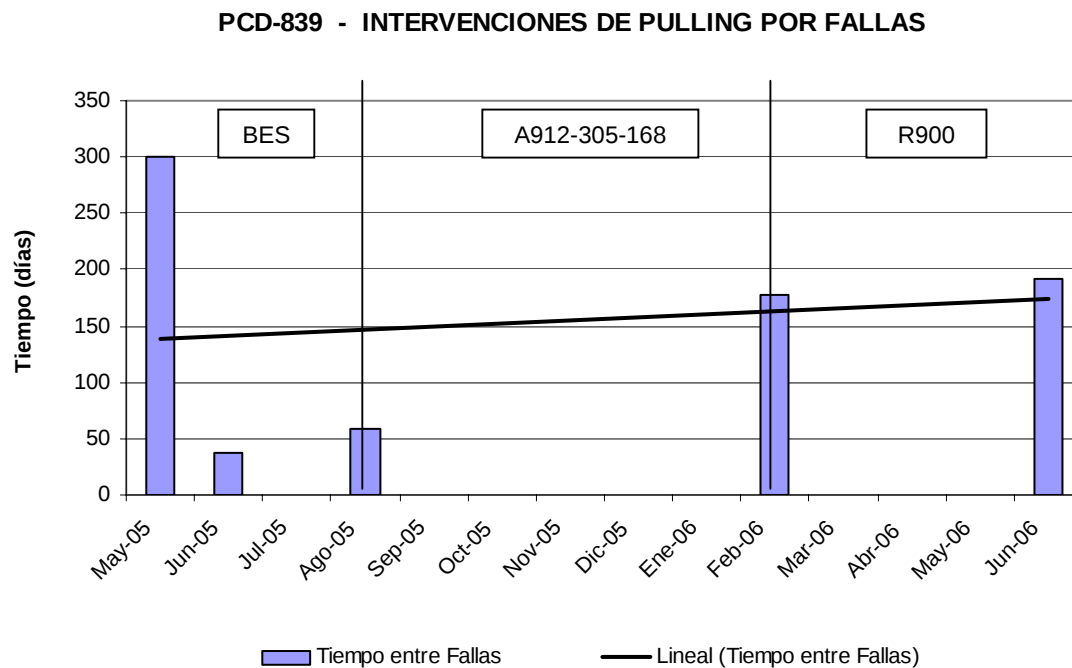


Gráfico 2: Tiempo entre intervenciones por falla. PCD-839

Algunas consideraciones sobre el montaje

Uno de los factores fundamentales para el buen funcionamiento de la unidad Rotaflex es la correcta preparación de la locación. Es por eso que se considera apropiado hacer mención a este tema en el presente trabajo.

El equipo se debe ubicar de tal modo que la correa esté directamente sobre el centro del pozo. La base de tierra debe ser de un material apropiado, y debe estar bien compactada de manera tal de contener un mínimo de 57 ton. (125.000 lbs.) sin excesivo hundimiento. La locación debe extenderse 3 pies fuera de la base de hormigón (incluida en el equipo) en todas las direcciones.

La base de hormigón debe estar levemente inclinada. El fabricante recomienda una altura de 3" a 4" mayor en la cabeza de pozo, dado que la mayor parte del peso del equipo se encuentra concentrada sobre el apoyo de las vigas (Figura 8). De esta manera se permite el asentamiento normal del terreno sin la desalineación de la torre, que como se comprobó en el caso del pozo PCG-834, fue la causa raíz física de la rotura de la unidad Rotaflex.

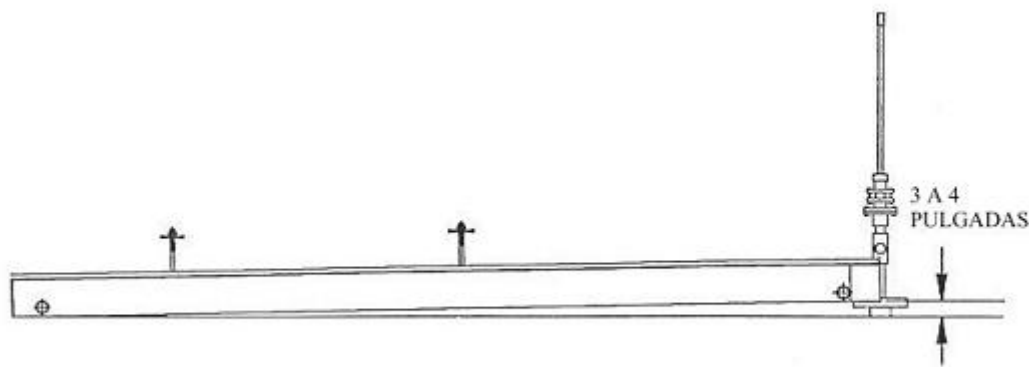


Fig. 8: Base de hormigón

Conclusiones:

El uso de las unidades de carrera larga en Cerro Dragón surgió de la búsqueda de alternativas tecnológicas para explotar pozos con altos caudales de producción y grandes profundidades que no pudieron ser producidos en forma eficiente con los sistemas convencionales. Como se mencionó anteriormente, el objetivo es complementar los actuales sistemas y no reemplazar alguno de ellos. Como primera experiencia se tomaron pozos con alto índice de intervenciones.

Como conclusión de las experiencias en campo de las unidades Rotaflex se obtuvo un incremento en el tiempo medio entre fallas, manteniendo y aumentando los caudales de producción. En el caso del PCG-156, tomando la historia del pozo desde enero de 2004 hasta la fecha, se incrementó más del 100% el promedio de tiempo entre fallas luego de la optimización con Rotaflex. Por otro lado el pozo PCD-839 no presenta fallas desde la optimización y ya muestra una tendencia positiva en este aspecto.

Las carreras largas y bajas velocidades ayudaron a resolver los bloqueos por gas. Los problemas de arena se solucionaron con pistones con anillos y desarenadores ciclónicos usados tradicionalmente en instalaciones con bombas electrosumergibles. Para los diseños con bombas de diámetro de pistón 3 ¼" se resolvió reemplazar el ancla catcher por un empaquetador "P" de producción sin gomas, luego de la experiencia en el pozo PCG-156.

De la experiencia con el pozo PCG-834 surgió la importancia de realizar correctamente la base para la buena alineación vertical del equipo y de realizar un mantenimiento preventivo más riguroso que con los AIB. Se preparó una campaña de capacitación a supervisores de campo, ingenieros y personal de mantenimiento sobre el uso y características de estos equipos.

Actualmente se están evaluando candidatos para cinco unidades más a instalar en Cerro Dragón (yacimientos Zorro y La Madreselva), en pozos con restricciones de casing, altas sumergencias y altos caudales de producción.

Referencias:

1. Manual de Producción , Pan American Energy, Unidad de Gestión Golfo San Jorge.
2. J. N. McCoy, O. Lynn Rowian, Dr. A. L. Podio and Dieter Becker: “Rotaflex efficiency and balancing”.
3. Manual de Montaje y Mantenimiento Rotaflex 900, Weatherford.
4. Diego Palomeque, Daniel Rodríguez, Pablo Prado, “Uso del variador de frecuencia para la optimización del sistema de extracción Rotaflex”.