

Operando en Condiciones de Borde del Bombeo Mecánico Experiencia en Distrito 8 PAE

Herial Angeletti, Mariano Ballarini, Juan Kerbage, Manuel Tapia, Andres Tiofiolo, Miguel Colla, Sebastian Herrera, Marcelo Teodoulou. **Pan American Energy**
Rodrigo Ruiz, Pablo Yorio. **Tenaris**

El desarrollo de nuevas reservas en zonas profundas y los altos caudales a manejar, exigen los sistemas convencionales de levantamiento artificial a trabajar bajo condiciones de operación más allá de sus límites.

El bombeo mecánico se caracteriza por ser un sistema muy versátil y flexible a la hora de manejar fluidos complejos (sólidos, gas, alta viscosidad, etc), amplios rangos de caudal y profundidad. Es por esto que es ampliamente utilizado en pozos donde se tiene incertidumbre en el índice de productividad, principalmente aquellos que se encuentran afectados a proyectos de secundaria y donde no se cuenta con la suficiente información de ensayos de pintoneo a nivel capa. Es así que durante este periodo de operación, las partes del sistema comienzan a encontrar limitaciones en su rango de aplicación delimitando así las condiciones de borde del mismo.

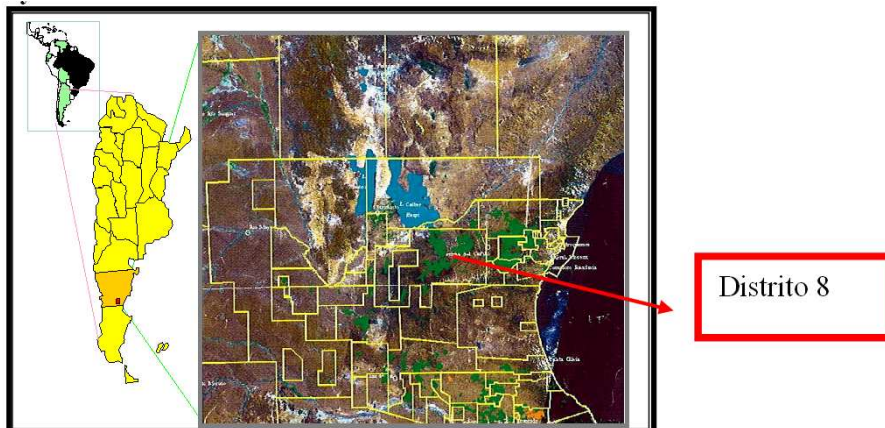
Bajo las circunstancias antes mencionadas y debido a la naturaleza de las exigencias mecánicas sobre el elemento transmisor del movimiento alternativo, el sistema encuentra su punto débil sobre las conexiones convencionales de varillas de bombeo de diseño API. Este diseño fue estandarizado por API en 1926, por lo que se debe considerar que desde su creación hasta la actualidad han cambiado ampliamente las condiciones de operación. Es por esto que para extender la vida útil de las mismas, se han realizado innumerables cambios en el diseño, la manufactura y los tipos de acero.

Dentro de este marco se creó una conexión de varilla de bombeo que cambia radicalmente el diseño de la misma, suministrándole mayor resistencia a la fatiga a toda la sarta. El nuevo diseño presenta un perfil de rosca con doble flanco de contacto, conicidad e interferencia diametral, resultando ser una unión más robusta que a diferencia del diseño API (alta pretensión, concentración sobre primer filete) distribuye los esfuerzos dentro de toda la conexión (baja pretensión). Estas características de la unión le dan confiabilidad al sistema de extracción, aumentando así su vida útil y permitiendo utilizar el sistema en entornos más extremos que los convencionales.

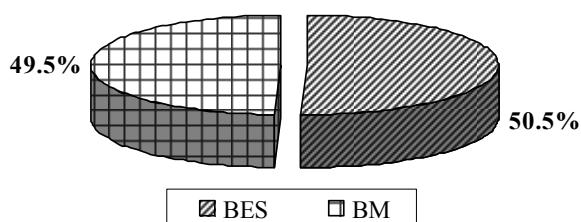
A continuación, se detalla la experiencia realizada con esta nueva conexión trabajando sobre las condiciones de borde del bombeo mecánico dentro de los yacimientos del Distrito 8 de Pan American Energy.

Introducción:

Ubicación y características del distrito



Distribución de los sistemas de extracción



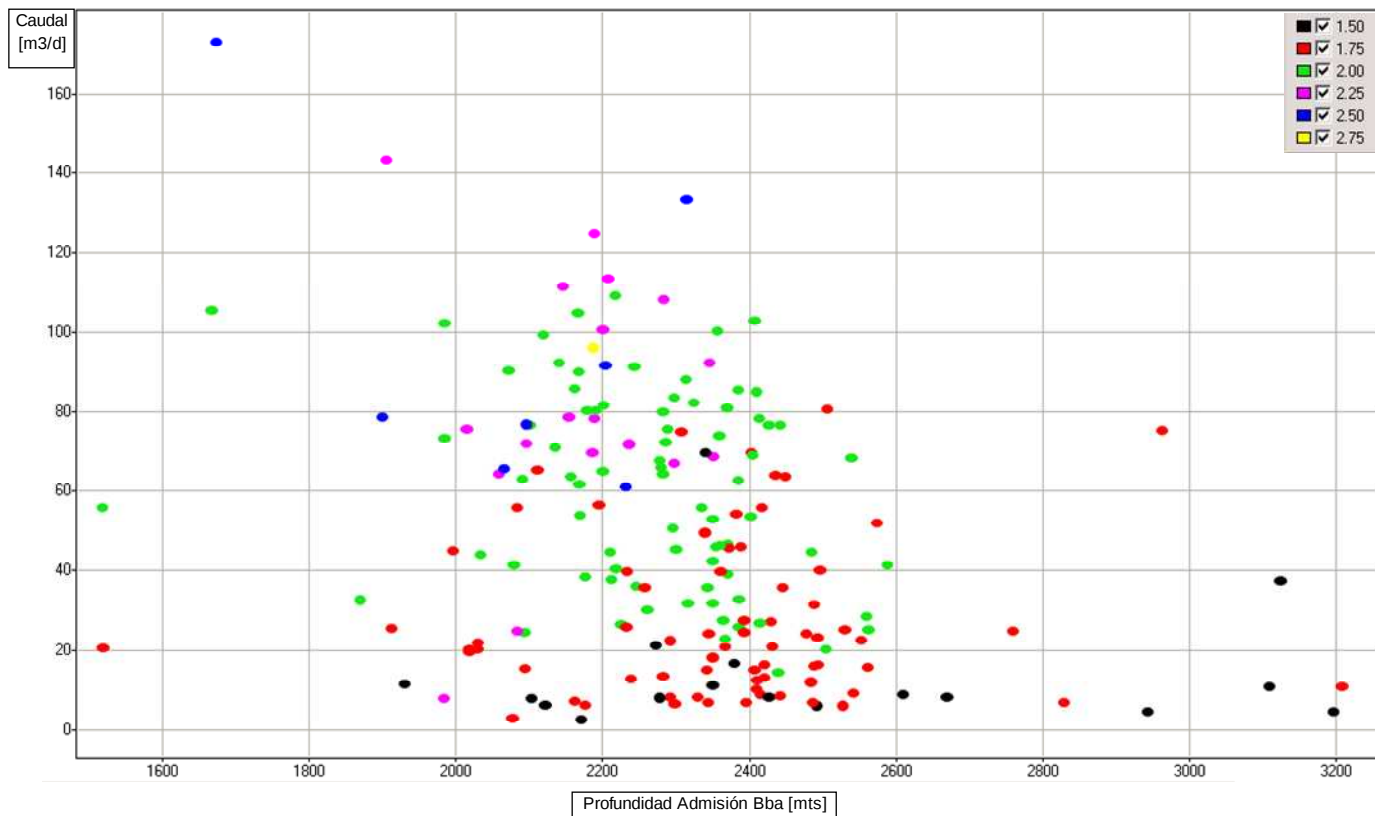
Datos Generales en pozos con BM

Profundidad promedio	2650 m
Diámetro Casing	5 1/2" (15.5 lb/ft)
Diámetro Tubing	2 7/8" (6.5 lb/ft)
Intervalo de punzados	1600m – 2550m
N° de Reservorios	18 - 25
Temperatura Fondo	130°C
Producción Bruta	40 - 125 m3/d
Gas	NO
% Agua	85 - 95 %

Características del Fluido

Medición	Valor	Norma
Densidad [API]	19	ASTM D - 5002
Viscosidad @ 20 °C [cP]	3000	Por reómetro
Viscosidad @ 40 °C [cP]	1200	Por reómetro
Viscosidad @ 60 °C [cP]	300	Por reómetro
Sólidos [mg/l]	50-100	
Emulsión [%]	15	ASTM D-4007
Tendencia Incrustante	350 (moderado)	Índice P mg/l
Agentes corrosivos	H ₂ S (moderado)	
Punto Escurrecimiento [°C]	4	ASTM D-97

Distribución por Diámetro de Bomba, Caudal y Profundidad

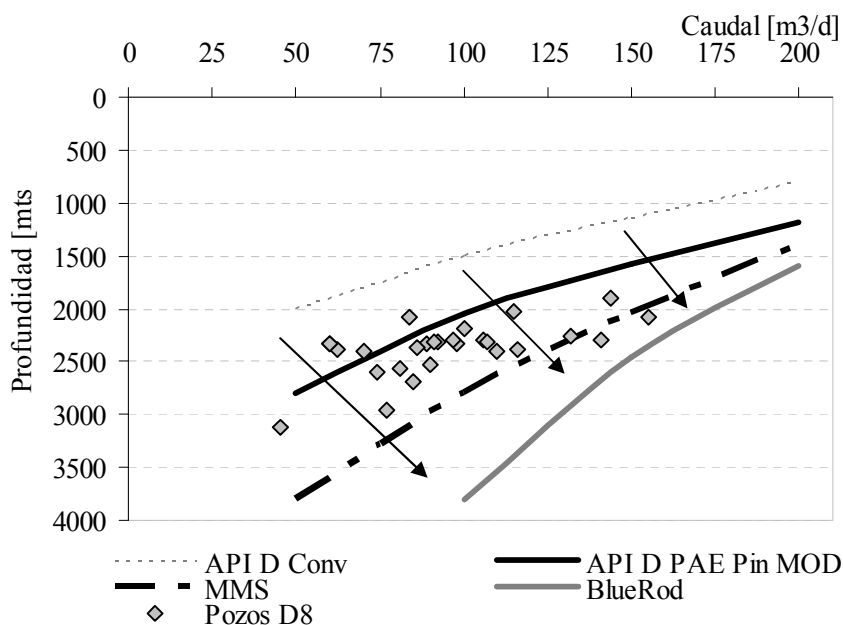


Las profundidades promedio de instalaciones de bombeo mecánico en el distrito superan los 2100 metros hasta alcanzar los 3200 con bombas de 1 $\frac{3}{4}$ " y 1 $\frac{1}{2}$ ".

Diámetro de pistón de Bomba [pulg]	Profundidad promedio [mts]	Caudal promedio [m3/d]	Máxima profundida d alcanzada [mts]	Máxima Caudal Producido [m3/d]
1.5	2600	15	3200	40
1.75	2450	30	3200	80
2	2300	70	2600	110
2.25	2200	90	2350	140
2.5	2150	95	2300	170
2.75	2100	100	2200	100

Condiciones de borde del sistema en la zona

Como se mencionó previamente, el punto débil del sistema se encuentra en las conexiones convencionales de bombeo, es por esto que se definen las condiciones de operación límite para cada tipo de varilla (API grado D, Pin modificado, MMS y BlueRod).



En este grafico se representan las profundidades máximas a alcanzar dependiendo del caudal a extraer con cada tipo de varilla.

Para la confección de las curvas se busco el 100% de goodman (FS 1) para las D, MMS y PC, y para el caso de pin modificado PAE adopta 140 % API D FS 1.

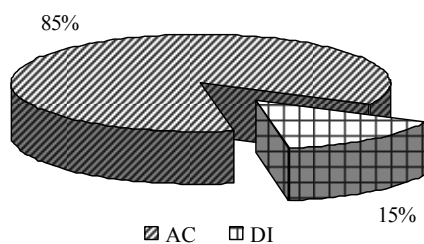
Los pozos del ensayo se ubican por encima de los rangos de aplicación de las varillas grado D en ambas clases, superando en algunos casos lo recomendado para varillas de alta resistencia (MMS).

Desarrollo

Con el fin de minimizar el riesgo de falla, la explotación de los yacimientos dentro del distrito 8 requiere la evaluación permanente y detallada de las condiciones de operación. Producto de esta evaluación y con el objetivo de contrarrestar gran parte de la problemática de fallas en pines, se propuso la implementación de varillas de bombeo con conexiones especialmente diseñadas para trabajar bajo altas solicitaciones mecánicas.

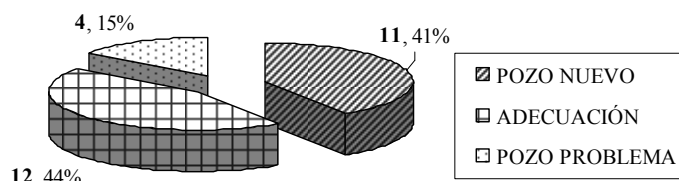
Criterios de selección de casos de estudio

Dentro del ensayo se instalaron 27 pozos con este tipo de varillas, orientados a solucionar diferentes problemáticas de campo como son las altas cargas (AC) y la disminución de intervenciones (DI).



El 85% de los pozos en estudio se instalaron con el fin de poder superar las limitaciones mecánicas de las sartas convencionales de varillas. En el caso de los pozos que se instalaron para disminuir intervenciones, se mantuvieron las mismas condiciones de operación con las que se venía trabajando.

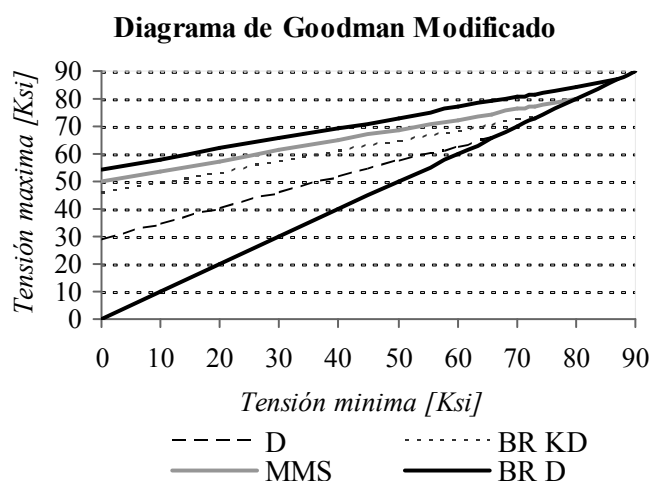
En el 40 % de los pozos las sartas se instalaron durante la terminación de pozos nuevos con profundidades superiores a 2300 mts y un mínimo de 3 y un máximo de 7 fracturas por pozo. Con el objetivo de adecuar la instalación a los requerimientos de producción se bajaron doce sartas (44%), tanto para pozos reparados para proyectos de recuperación secundaria u optimización de producción (bomba de mayor diámetro).



Distribución de exigencias mecánicas en el grupo de ensayo

Las exigencias mecánicas sobre el elemento transmisor están definidas principalmente por el límite a la fatiga del conjunto cuerpo-conexión. La evaluación de las sollicitaciones mecánicas, tanto para las varillas convencionales como para el nuevo diseño, están definidas por el diagrama de goodman modificado.

El American Petroleum Institute (API) en su norma API 11BR, establece las ecuaciones correspondientes a los grados de acero dentro de la norma. En el caso de aquellos grados fuera de la norma y las varillas con conexión mejorada, cada fabricante estipula las ecuaciones para delimitar las tensiones admisibles.



Ecuaciones para calcular tensiones de fatiga admisibles:

API. Grado D

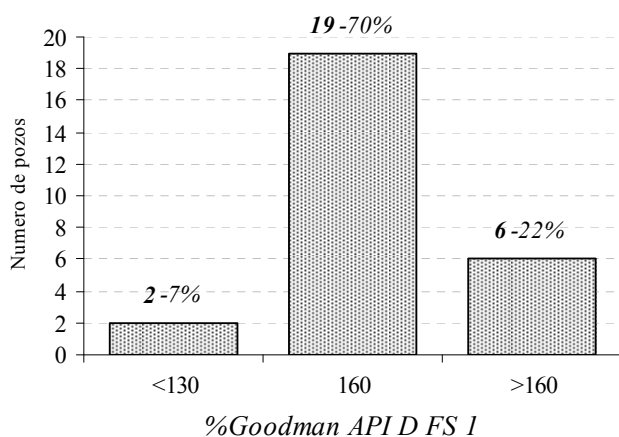
$$T_{adm} \text{ API D [ksi]} = \frac{UTS}{4} + 0.5625 T_{min}$$

Alta resistencia (MMS)

$$T_{adm} \text{ MMS [ksi]} = \frac{UTS}{2.8} + 0.375 T_{min}$$

Nuevo diseño de conexión (BR D y KD)

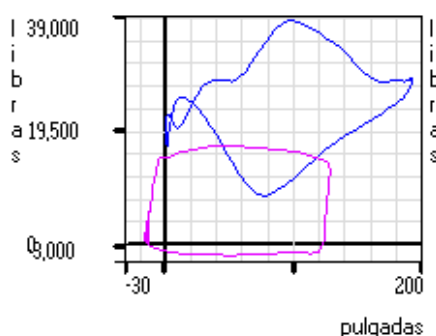
$$T_{adm} \text{ BR [ksi]} = \frac{UTS}{2.3} + 0.375 T_{min}$$



Para poder comparar el rango de aplicación con las varillas convencionales, a continuación se detalla la distribución de exigencias mecánicas de las sartas en ensayo.

El 70% de las sartas esta trabajando entre un 130 y un 160 % goodman con respecto a limite de fatiga admisible para una varilla API grado D (Factor de Servicio 1).

En promedio las cargas máximas de trabajo en los pozos de ensayo se encontraba en las 33000 libras (15 Tn), alcanzando un máximo de 39000 (17.7 Tn) en una instalación con bomba de pistón de 2 ½" a 2300 mts de profundidad.



Performance en pozos "problema"

Con el fin de evaluar el desempeño del nuevo diseño de varillas de bombeo en pozos problema se realizó una comparación entre el índice de pulling anual (IPA) previo y posterior a la instalación.

Pozo	Período de Estudio				Fallas en Varillas de Bombeo			
	Fecha de instalación de BlueRod	Fecha final del estudio	Años de trabajo con BlueRod acumulados	Fecha inicial del estudio	Total de fallas antes de BlueRod	Total de fallas después de BlueRod*	Fallas por año antes de BlueRod	Fallas por año después de BlueRod
E1	13/05/2011	15-01-2013	1.65	18-09-2009	3	0	1.82	0.00
E2	18/07/2011	15-01-2013	1.47	27-01-2010	4	2	2.72	1.36
E3	05/06/2011	15-01-2013	1.59	02-11-2009	5	3	3.15	1.89
E4	12/11/2012	15-01-2013	0.17	10-09-2012	0	0	0.00	0.00
Total de fallas analizadas					12	5		
Índice de pulling anual (IPA)							1.92	0.81
Diferencia							-58%	1.11

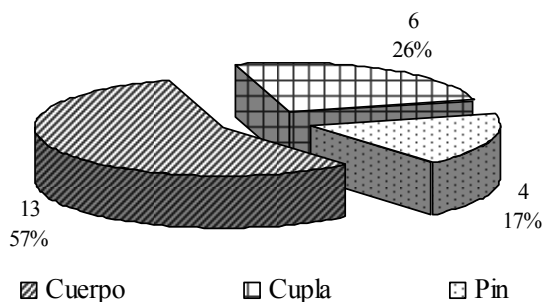
Del análisis se desprende que en los pozos problema en estudio se logró reducir el IPA en aproximadamente un 60% considerando el mismo periodo de operación. Esto genera un ahorro considerable en operaciones de pulling.

Las fallas con en el nuevo diseño en pozos problema se produjeron solo sobre el cuerpo. Si se considera que el nuevo diseño modifica la performance de la conexión, se puede observar que la reducción de fallas sobre esta sección es eficaz.

Pozo	Período de Estudio				Solo considerando Fallas en Conexión			
	Fecha de instalación de BlueRod	Fecha final del estudio	Años de trabajo con BlueRod acumulados	Fecha inicial del estudio	Total de fallas antes de BlueRod	Total de fallas después de BlueRod	Fallas por año antes de BlueRod	Fallas por año después de BlueRod
E1	13/05/2011	15-01-2013	1.65	18-09-2009	1	0	0.6	0.0
E2	18/07/2011	15-01-2013	1.47	27-01-2010	2	0	1.4	0.0
E3	05/06/2011	15-01-2013	1.59	02-11-2009	0	0	0.0	0.0
E4	12/11/2012	15-01-2013	0.17	10-09-2012	1	0	5.8	0.0
Total de fallas analizadas					4	0		
Índice de pulling anual (IPA)							1.94	0.00
Diferencia							-100%	1.94

Tendencia de fallas

La tendencia de fallas en todo el grupo de pozos en estudio se localizó principalmente en cuerpo observando una mejora sustancial en la conexión.



En general las estadísticas de fallas bajo similares condiciones de operación están focalizadas en falla de pines de varillas convencionales. Esta nueva tecnología, ha logrado alcanzar el máximo rendimiento de la varilla al invertir las tendencias hacia las falla en cuerpo con un 57%.

Conclusiones

- Se logró producir pozos con intervenciones repetitivas mejorando el índice de intervención reduciendo costos operativos.
- Se superó el límite mecánico de las varillas convencionales, ampliando así el rango de aplicación del bombeo mecánico.

Acciones a futuro

- Se continuará evaluando las mejoras necesarias para reducir las fallas en cuerpo.

Bibliografía

- API RP 11BR, "**Recommended Practice for Care and Handling of Sucker Rods**", API, USA. April, 2008.
- API Spec 11B, "**Specification for Sucker Rods**" API, USA. 27th ed., May, 2010.
- Angeletti, Herial; Colla, Miguel; Mazzola, Ricardo. Pan American Energy; Diaz Telli, Francisco Carrizo, Felix Muse, Daniel. Tenaris. "**Experiencia de campo con conexión premium de varillas de bombeo diseñada para aplicaciones de altas cargas**". Jornadas de Producción (2009 ago. 20-21 : Comodoro Rivadavia, Chubut)
- Diaz Telli, Francisco Carrizo, Felix Fernandez Ezequiel. Tenaris. "**Conexión premium de varillas de bombeo diseñadas para aplicaciones de altas cargas, Experiencia de campo**". Jornadas de Perforación, Terminación, Reparación y Servicio de Pozos. 2009
- Fernandez Ezequiel. Tenaris. "**Premium Technology – Beyond the limits of Artificial Lift Systems- Field Experiences**". Southwestern Petroleum Short Course. Lubbock, TX.
- Catalogo de Producto TENARIS. "**BlueRod™ Varillas de Bombeo Premium**". <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/SuckerRods/BeamPumping/BlueRod.aspx>