

Solución Integral a Problemáticas en la Transmisión de Torque en PCP Experiencia de Campo con Nuevo Diseño de Varillas Huecas

Oswaldo Araya, Pedro Quinteros, Sebastián Mariscotti, Joaquín Vaz. **SINOPEC ARG**
Rodrigo Ruiz, Pablo Yorio, Matias Pereyra. **TENARIS**

Los nuevos desafíos a los que se enfrenta actualmente el sistema de bombeo por cavidades progresivas requieren que todos los elementos del sistema cubran las exigencias mecánicas necesarias para evitar fallas prematuras. Entre estos desafíos se encuentran: alto caudales de producción por la implementación de proyectos de recuperación secundaria, mayores profundidades y fluidos complejos (alto contenido de sólidos, corrosión, etc.).

Como en todo sistema de transferencia de esfuerzo, cuando se amplía la capacidad de trabajo de una de las variables se incrementan las exigencias mecánicas del conjunto hasta encontrar su limitante o punto débil en otra pieza. Avances en la manufactura de la bomba en subsuelo han ampliado la capacidad de trabajo del sistema, el cual encuentra su limitación en el elemento transmisor de torque, las varillas de bombeo.

Las varillas de bombeo convencionales API, estandarizadas a mediados de la década de 1920, no fueron diseñadas para trabajar bajo el esfuerzo combinado que les imprime el bombeo PCP (torsión y carga axial). Bajo las nuevas exigencias mecánicas que debe soportar el elemento transmisor, el punto débil del sistema se encuentra en el diseño de la conexión convencional. Es por esto que se están desarrollando nuevas tecnologías, entre ellas la varilla de bombeo hueca.

Algunas de las ventajas que ofrece esta nueva tecnología son: alto torque para alcanzar la tensión de fluencia, alta resistencia al backspin, disminuye notoriamente el desgaste con el TBG, brinda la posibilidad de inyectar fluidos por dentro (reductores de fricción, inhibidores de corrosión, etc.) y producir por el interior y el exterior de la misma para disminuir considerablemente las pérdidas de carga e incrementar los rangos de operación del sistema.

Este trabajo detalla la experiencia realizada al implementar el nuevo diseño de varilla hueca con diámetro exterior constante (external flush) y límite de torque operativo de 1500 lb.ft (2000 N.m) en los yacimientos Cañadón Minerales y Piedra Clavada de Sinopec Argentina Exploration and Production Inc.

Introducción

Se seleccionaron tres (3) pozos candidatos para el ensayo del nuevo diseño de varilla hueca. Los mismos están ubicados en los yacimientos Piedra Clavada y Cañadón Minerales, en donde se requería que el elemento transmisor del momento de torsor alcanzara los requerimientos mecánicos del sistema para las condiciones de operación necesarias.

Ubicación de los pozos de ensayo

Los yacimientos Piedra Clavada y Cañadón Minerales están ubicados en el norte de la provincia de Santa Cruz y al sur de la cuenca del Golfo San Jorge (Figura 1 en anexo).

Las características de los pozos en ambos yacimientos se encuentran dentro del rango de aplicación del bombeo PCP. En el caso de Piedra Clavada, los altos caudales combinados con petróleo viscoso, son las principales problemáticas con la que debe trabajar el sistema. En Cañadón Minerales, los pozos manejan importantes volúmenes de fluido que al estar combinados con el aporte de sólidos de la formación requieren de elementos que resistan torques altos y fluctuantes.

Debido a estas condiciones de operación no convencionales y con el objetivo de minimizar el riesgo de falla es que el elemento transmisor en el sistema PCP requiere de diseños que se ajusten a las necesidades del pozo.

Caracterización del elemento transmisor

Las varillas de bombeo macizas convencionales (API 11B) no fueron diseñadas para trabajar bajo el esfuerzo combinado de torsión y carga axial. Debido a las exigencias mecánicas actuales, el punto débil de la sarta se encuentra en el diseño de la conexión convencional. Es por esto que se desarrollan nuevas tecnologías, entre ellas la varilla de bombeo hueca.

Uno de los mayores inconvenientes en la transmisión de torque en el sistema PCP se produce cuando la sarta se detiene. La inercia de la sarta en ese momento provoca el giro brusco en sentido opuesto al de rotación que dependiendo de su naturaleza puede durar de unas décimas de segundo a varios minutos. Este fenómeno es conocido como backspin.

El sistema PCP acumula energía en dos formas:

- Debido a la deformación torsional elástica de la sarta.
- Como energía potencial de la columna de fluido en el espacio anular entre casing y tubing (ecualiza las presiones entre espacio interno y externo del tubing).

De las dos formas de backspin, la transformación de energía de deformación es la más crítica. Como consecuencia de este efecto, las conexiones pueden desajustarse de forma total (falla por desenrosque) o parcial. En el caso de que el desajuste sea parcial la puesta en marcha podría generar el sobre desplazamiento de la conexión (falla por rosca “barrida” o pin cortado).

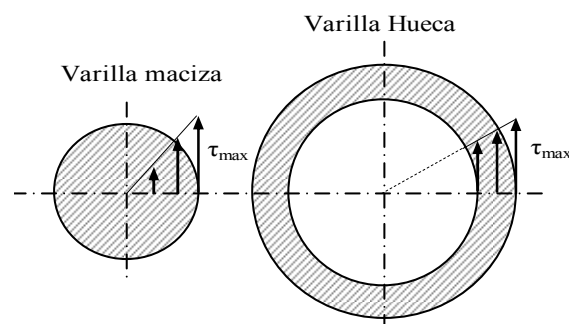
Cuando se compara la varilla maciza y la hueca durante el backspin podemos observar que para un caso tipo con las siguientes características:

- Torque: 800 lbf (1084 Nm)
- Largo de la columna: 1300 mts

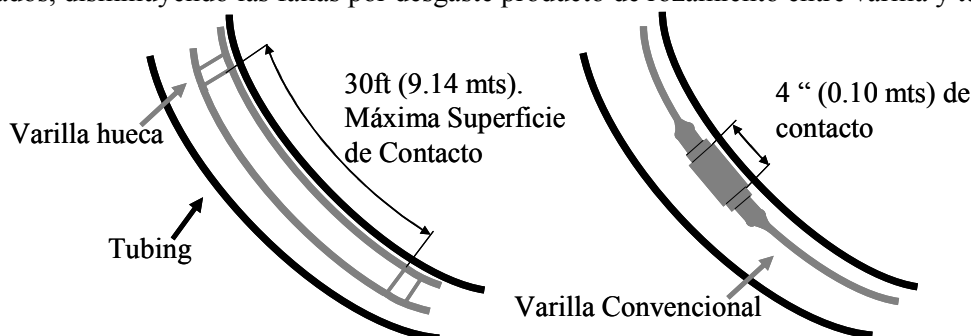
Los giros que acumulados durante el arranque, y hasta que la última varilla comienza a girar, son los siguientes para cada tipo:

- Varilla hueca: 8 vueltas
- Varilla maciza de 1” grado D: 69 vueltas

La varilla maciza acumula aproximadamente diez veces la cantidad de giros que acumula la varilla hueca. Esta diferencia se produce principalmente por su considerable diferencia en el momento polar de inercia. La transformación de energía de deformación a cinética tiene una duración de entre 0.3 y 0.6 seg, generando un “golpe” elástico que provoca el desajuste de las conexiones y que es de difícil control desde superficie. Debido a la robustez de la varilla hueca, la misma puede soportar mayores exigencias mecánicas y además proveer la capacidad de transportar fluidos por su interior.



La terminación external flush del nuevo diseño de varilla hueca (OD 48,8 mm o 1,9 pulgada) le otorga una excelente performance contra el backspin así como también en aplicaciones de pozos desviados, disminuyendo las fallas por desgaste producto de rozamiento entre varilla y tubing.



El diseño de diámetro interno semi constante de las uniones (internal near flush, IF), disminuye la turbulencia favoreciendo la circulación de fluidos por el interior de las mismas. Su elevada interferencia diametral le permite operar con torques de hasta 1500 libras*pie (2033.73 N.m).

En el caso del cuerpo, los tubos sin costura utilizados como materia prima para el nuevo diseño de varillas huecas poseen una microestructura refinada como resultado de la combinación de un acero de baja aleación al Cromo Molibdeno con el tratamiento térmico de temple y revenido (figura 2).

Desarrollo

Caracterización de la problemática en los pozos donde se instalo el nuevo diseño

Pozo A. Yacimiento Piedra Clavada

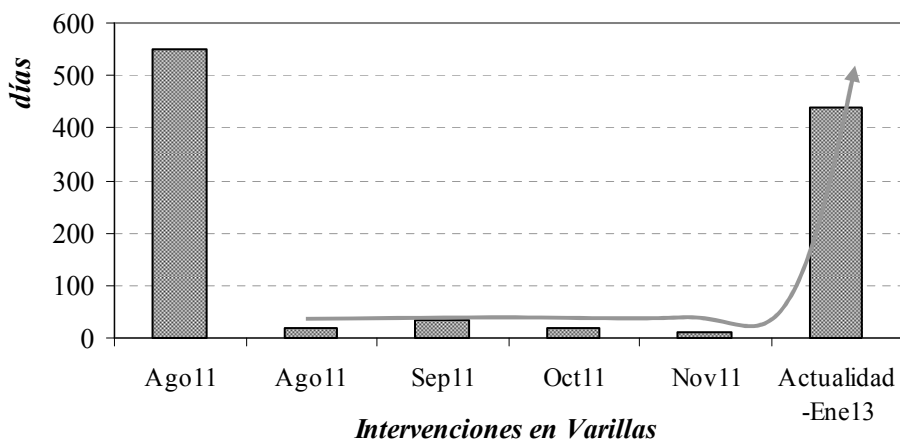
- o Tubing: 2 7/8"
- o Casing: 5 1/2"
- o Torque máximo esperado: 1100 lbft (1500 Nm)
- o RPM: 200
- o Caudal máximo: 110 m3/d
- o Profundidad de la Bomba: 1800 mts.
- o Viscosidad del fluido: 1796 cp @ 30°C
- o % Agua: 96%
- o % Sólidos: 2%
- o Fecha de instalación: 04/11/2011
- o Estado: Continúa en operación
- o Días en operación (al 15/01/2013): 431 días

Durante el año 2011, el pozo alcanzó cinco (5) fallas en pin de varillas de bombeo alta resistencia convencional. Las fallas en varillas de bombeo se produjeron por sobretorque, tanto por barrido de pines como por fisura en el primer filete de rosca (Figura 3, 4 y 5 del anexo).

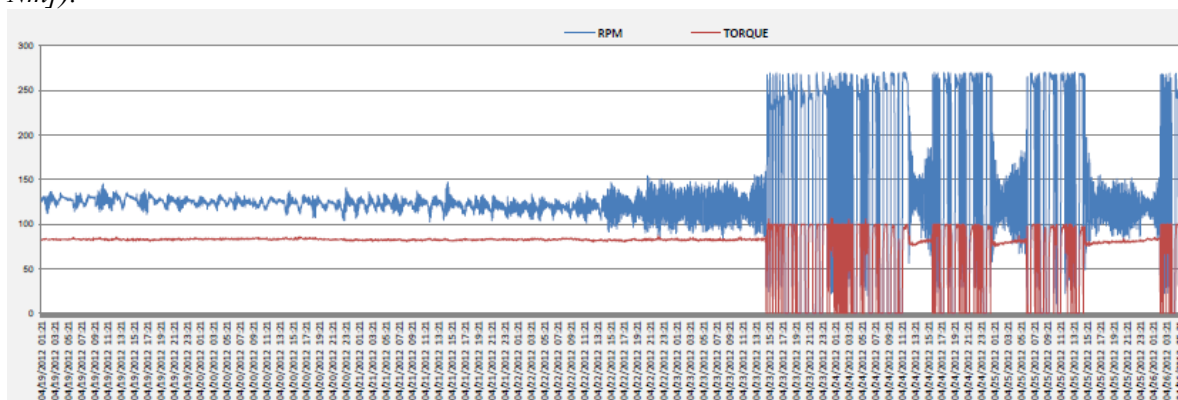
Pozo	Fecha de Interv	Tiempo entre Intervenciones [Días]	Sistema de Levantamiento Artificial	Clasificación de Intervención Simple	Localización	Observación
A	01/02/2011	83	BM	OTROS	ANCLA	MMS
	04/08/2011	184	PCP	VARILLA DE BOMBEO	PIN	MMS. CAMBIA SLA BM-PCP
	24/08/2011	20	PCP	VARILLA DE BOMBEO	PIN	MMS
	29/09/2011	36	PCP	VARILLA DE BOMBEO	PIN	MMS
	20/10/2011	21	PCP	VARILLA DE BOMBEO	PIN	MMS
	02/11/2011	13	PCP	VARILLA DE BOMBEO	PIN	MMS. Instala varilla hueca 1500
	13/07/2012	254	PCP	BOMBA	BOMBA PCP	
	20/10/2012	99	PCP	BOMBA	BOMBA PCP	
	15/01/2013	87	PCP	EN OPERACIÓN		

Después de esta sucesión de fallas se analizó la alternativa de instalar varillas huecas y debido a la solicitud de torque, el nuevo diseño de varilla hueca se adaptaba a las necesidades del pozo. Con el fin de evaluar la performance de las mismas se detalla a continuación la evolución en el tiempo entre fallas en el elemento transmisor, antes y después su instalación.

Pozo A. Tiempo entre Fallas en Varillas de bombeo



El siguiente gráfico representa el régimen de trabajo y el torque al que estuvo sometida la sarta, previo a la última falla en bomba (mediciones tomadas cada tres (3) segundos con registrador en el variador de velocidad). *Torque en % del máximo torque seteado en variador (1200 lbft [1600 Nm]).*



Como se puede observar, mientras el rotor se iba aprisionando, el valor de revoluciones por minuto (RPM) fluctuaba entre 100 y 150. Durante el agarre y desprendimiento del rotor los valores de torque y RPM alcanzaron el límite seteado en 1200 lbft [1600 Nm]. Este efecto es comúnmente conocido como Stick & Slip, y genera altas sollicitaciones sobre las conexiones en varillas de bombeo convencionales.

El torque fluctuante provoca un sobre recorrido en el desplazamiento relativo entre ambas caras de contacto entre el pin y la cupla convencional. El fenómeno es agravado por la acumulación de giros adicionales que la varilla maciza tiene con respecto a la varilla hueca. Es por esto que durante la parada del sistema, se produce el efecto retroceso de giro brusco (backspin), que al transformar la energía de deformación en cinética, puede alcanzar torques extremadamente elevados en pequeñas cantidades de tiempo.

Pozos B y C. Yacimiento Cañadón Minerales

Pozo B

- o Tubing: 2 7/8"
- o Casing: 7"
- o Torque máximo esperado: 1100 lbft (1491 Nm)
- o RPM: 233
- o Caudal máximo: 150 m3/d
- o Profundidad de la Bomba: 1380 mts.
- o ° API: 19
- o % Agua: 96%
- o % Sólidos: 2% (Valor tomado para diseño de instalación).
- o Fecha de instalación: 02/04/2012
- o Estado: Continúa en Operación
- o Días en operación (al 15/01/2013): 283 días

Pozo	Fecha de Intervención	Tiempo entre Intervenciones [Días]	Sistema de Levantamiento Artificial	Clasificación de Intervención Simple	Localización	Observaciones
B	09/05/2010	-	BM	TUBING	CUERPO	Corrosión-Rozamiento
	04/03/2011	299	BM	OTROS	ANCLA	-
	19/08/2011	168	BM	TUBING	CUERPO	Corrosión-Rozamiento
	30/03/2012	224	PCP	VASTAGO	CUERPO	Instala varilla hueca 1500
	01/01/2013	277	PCP	BOMBA	BOMBA	ROTOR APRISIONADO
	15/01/2013	14	PCP	-	-	En Operación

En la última intervención el rotor estaba aprisionado con arena. Las varillas resistieron el pico de torque producido durante la maniobra. Para poder extraerlas se debió realizar un desenrosque sobre la bomba.

El objetivo de la instalación de varillas huecas en este pozo, además de cubrir las expectativas de torque, buscaba reducir las fallas en tubing por desgaste. Se continuara con el proyecto para evaluar la performance sobre este punto.

Pozo C

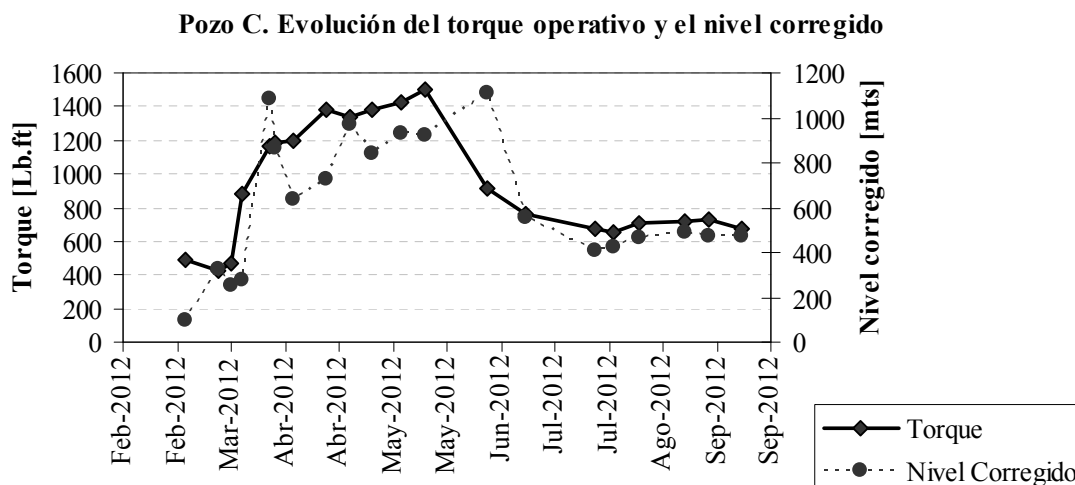
- o Tubing: 2 7/8"
- o Casing: 7"
- o Torque máximo esperado: 1200 lbft (1762 Nm)
- o RPM: 216
- o Caudal máximo: 144 m3/d
- o Profundidad de la Bomba: 1315 mts.
- o Viscosidad del fluido: 1500 cp @ 40°
- o % Agua: 96%
- o % Sólidos: 2% (Valor tomado para diseño de instalación).
- o Fecha de instalación: 08/04/2012
- o Estado: Fuera de funcionamiento (Cambian condiciones de operación)
- o Días en operación (al 01/01/2013): 262 días
- o Características del fluido: Incrustante

Este pozo comenzó operando en el año 2008 con PCP, pero producto de sucesivas fallas por falta de sumergencia, se cambió el sistema de extracción a bombeo mecánico (BM) [durante este tiempo no pertenecía a un proyecto de recuperación secundaria]. A medida que se incrementaba el caudal bruto, progresivamente se incrementó el diámetro de bomba hasta llegar al modelo TH 2 3/4", el cual tenía repetidos inconvenientes con agarre de pistones por arena. Es por este motivo que se analizó la posibilidad de volver al sistema PCP.

Para poder hacer el cambio de BM a PCP, los requerimientos de torque superaban el rango de trabajo recomendado para varillas convencionales. Por lo que para esta instalación se optó por el nuevo diseño de varillas huecas flush.

Pozo	Fecha de Intervención	Tiempo entre Intervenciones [Días]	Sistema de Levantamiento Artificial	Clasificación de Intervención Simple	Localización	Observación
C	30/10/2008	-	PCP	OTROS	WO	Instala sistema PCP. Pozo con Carbonato
	31/01/2009	93	PCP	BOMBA	BOMBA	
	07/09/2009	219	BM	TUBING	CONEXIÓN	Desgaste en cuplas de varillas
	03/04/2010	208	BM	TUBING	CUERPO	Desgaste y Corrosión
	24/09/2010	174	BM	BOMBA	PISTÓN	Incrustación
	14/02/2012	508	PCP	TUBING	CUERPO	Instala varilla hueca 1500
	01/01/2013	322	PCP	BOMBA	BOMBA	Se extrae sarta de varillas huecas por cambio en las condiciones de operación

Tal como se puede observar en la evolución del torque sobre la sarta durante el periodo de operación, el máximo alcanzado estuvo en los 1500 lbft, logrando los 322 días de operación sin inconvenientes.



Debido a cambios en las condiciones de operación (influencia de inyectores en proyecto de recuperación secundaria), se cambió la profundidad y el modelo de bomba disminuyendo así los requerimientos mecánicos sobre las varillas. Por lo que no se continuó con la experiencia y se instalaron varillas convencionales.

Conclusiones

- Se logró producir en pozos con condiciones de operación complejas sin fallas en el elemento transmisor.
- La performance en pozos con alto torque fluctuante fue satisfactoria, generando ahorros al disminuir las fallas en la sarta de varilla, logrando a su vez minimizar las pérdidas de producción asociadas.

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.
- James M. Gere. "*Timoshenko, Resistencia de Materiales*". 5ta Edición. Parainfo.

4. Olmos, D. E.; Ernst, H.; Villasante, J.; Jonson, D. H.; Ameglio, A. F.; Del Pozo, L. **"Hollow rods: Development of a New Technology for PCP"**, Society of petroleum Engineers (SPE) Paper #69558, 2001.
5. Catalogo de Producto TENARIS. **"HolloRod™ Series"**. <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/SuckerRods/ProgressiveCavityPumping/HolloRodSeries.aspx>
6. Marcelo Hirschfeldt, Paulino Martinez, Fernando Distel. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Argentina. **"Artificial-Lift Systems Overview and Evolution in a Mature Basin: Case Study of Golfo San Jorge"**. SPE 108054. 2007.
7. Marcelo Hirschfeldt, Rodrigo Ruiz. SPE. Oilproduction.net. **"Selection Criteria for Artificial-Lift Based on the Mechanical Limits: Case Study of Golfo San Jorge Basin"**. SPE 108054. 4-7 de Octubre de 2009. Anual Technical Conference and Exhibition. New Orleans. Luisiana. USA.

Anexo

Figura 1

Ubicación de los yacimientos

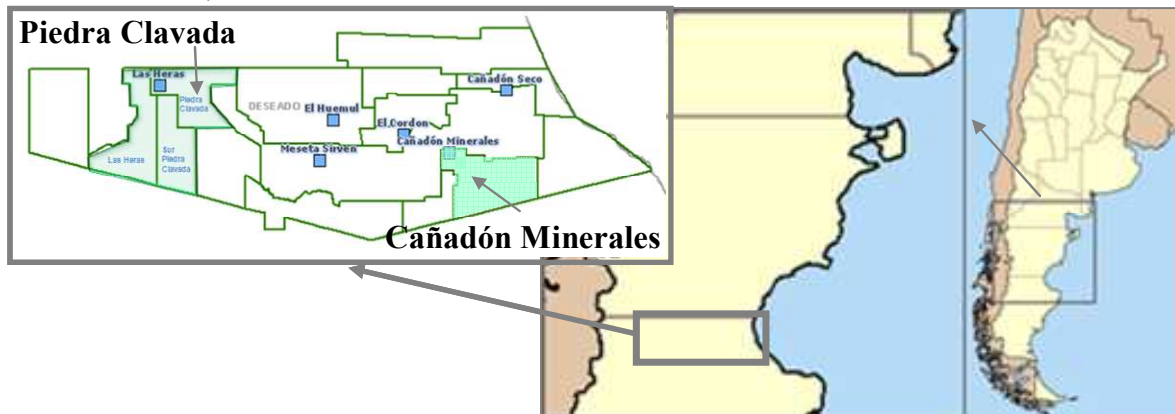


Figura 2

Nuevo diseño de varilla hueca external flush con 1500 lbft max.

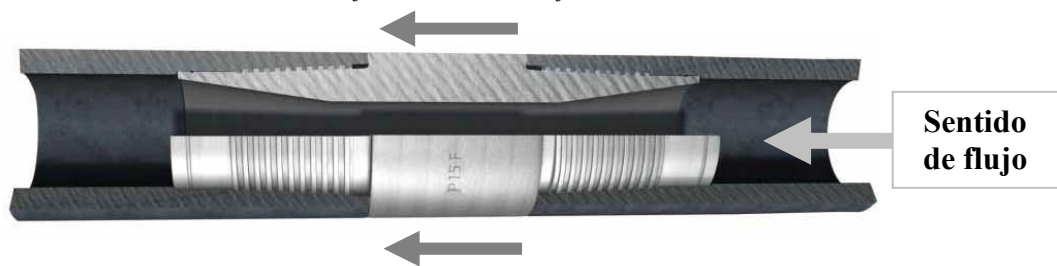


Figura 3 y 4

Pines deformados por exceso de torque en el Pozo A.



Figura 5

Falla en pin por exceso de desplazamiento circunferencial en el Pozo A.

