

Prolongación de la vida útil de las instalaciones del pozo mediante la utilización de varillas grado KD

Ing. Juan Manuel Garro; PLUSPETROL S.A. jmgarro@pluspetrol.net
Ing. Juan Ignacio Lapuente; PLUSPETROL S.A. jlapuente@pluspetrol.net

Sinopsis

Con el objetivo de disminuir la cantidad de pescas en cuerpo de varillas de bombeo Grado D en pozos con sistema de extracción por cavidades progresivas (PCP) relacionadas principalmente a problemas de corrosión, se decidió probar las varillas de bombeo grado KD y a través de una comparación técnico-económica verificar sus beneficios respecto de la alternativa de tratar la instalación con inhibidor de corrosión, tanto con dosificación en fondo como por bacheos.

Se consideraron las opciones viables y, previas a implementación, se las evaluó económicamente para determinar cuál de ellas resultaba más rentable.

En el análisis, se buscaron los pozos representativos de cada una de las tecnologías aplicadas para intentar dirimir la continuidad de las aplicaciones.

En base al análisis realizado, se concluyó que el uso de varillas de bombeo grado KD, combinado con cuplas spray metal y tubería revestida interior con polietileno expandido de alta densidad, es la mejor medida técnica-económica para atacar las fallas por “corrosión carbónica en cuerpo de varilla” debido a sus mejores prestaciones en el yacimiento.

Las pruebas de campo confirman que la aplicación de esta tecnología prolongó la vida útil de las instalaciones superando las prestaciones de la varilla de bombeo grado D.

Se presentan los resultados del protocolo de prueba realizado bajo condiciones preestablecidas.

Introducción

Los yacimientos El Corcobo Norte y sus aledaños, Jagüel Casa de Piedra, Cerro Huanul Sur, Puesto Pinto, El Renegado y Gobernador Ayala Este engloban las denominadas “Áreas Río Colorado”, que comprenden las concesiones CNQ-7/A, CNQ-7 y Gobernador Ayala III.

Estos yacimientos se ubican geográficamente al norte del Río Colorado, abarcando parte del sur de la Provincia de Mendoza (Departamento Malargüe) y el este de la Provincia de La Pampa (Departamento Puelén). En la figura 1 y 1.a puede verificarse tal ubicación.

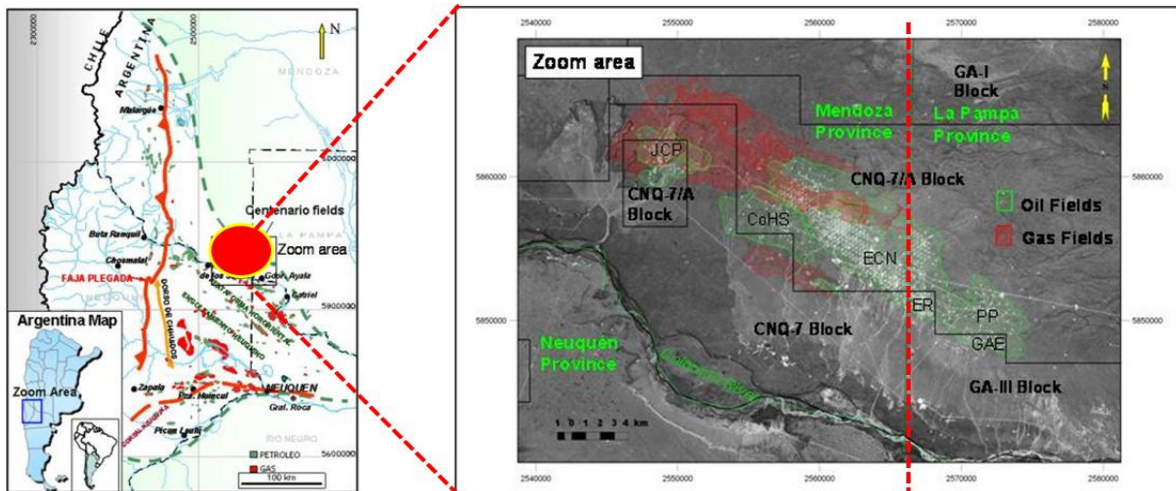


Figura 1 y 1a: Ubicación de las Áreas

Los reservorios principales en el área son areniscas no consolidadas de la Formación Centenario, con un 60% de las reservas en el Miembro Inferior y el resto en el Miembro Superior a una profundidad promedio de 600 m. La porosidad promedio es del 30% y la permeabilidad varía entre 0.5 y 4 Darcy, siendo el promedio 1 Darcy. El espesor útil promedio de la formación es de 8 m, siendo el mayor espesor de 18 m. El mayor volumen de petróleo tiene una gravedad API de 18° y viscosidad in situ entre 160 y 270 cP, si bien han sido hallados petróleos pesados de varios rangos.

Actualmente el Yacimiento posee 590 pozos en producción efectiva y 356 inyectores. Tienen una profundidad promedio de 650 m. El sistema de levantamiento artificial preponderante es la bomba de cavidades progresivas (PCP) instalada en 583 pozos, por lo tanto los desarrollos se realizan en su totalidad sobre este tipo de sistema. Las varillas de bombeo están expuestas a sollicitaciones mecánicas, principalmente de torque, los cuales son muy variables, pero a modo de referencia el promedio de torque aplicado a la sarta de varillas de bombeo es de 120 lb/ft.

Respecto a las condiciones de corrosión del yacimiento las instalaciones están expuestas a 3 tipos de corrosión: carbónica (por acción de CO_2), sulfhídrica (por acción del SH_2) y microbiológica (por acción de bacterias sulfato reductoras). De estos 3 tipos, la que predomina es la carbónica desarrollada en menor medida en la zona Este. Por otro lado la corrosión sulfhídrica se da en la zona Centro-Oeste. La presión parcial promedio de CO_2 es 65 psi y de H_2S : 0,05 psi. Para mitigar los efectos de la corrosión existen 123 pozos tratados con inhibidor de corrosión en continua por entre columna (sin capilar a fondo de pozo), 32 pozos con batchs quincenales de inhibidor de corrosión y 122 pozos con batchs de biocida.

Actualmente 441 pozos tienen instalados tubings revestidos con polietileno expandido de alta densidad en su interior (alrededor del 78% de la población). Esta implementación tecnológica, aplicada en forma de piloto a mediados del año 2012 y masivamente a partir del año 2013, hizo que el mayor causal de fallas fuese resuelto provocando una modificación significativa en la matriz de fallos pasando a tomar mayor protagonismo los problemas relacionados a pescas en cuerpo de varillas de bombeo. Como podemos ver en la gráfica a continuación, una vez atacadas las causas por Falta o Pérdida de Hermeticidad en columna de caños (PH-), comenzaron a aparecer otras problemáticas que tomaron mayor significancia.

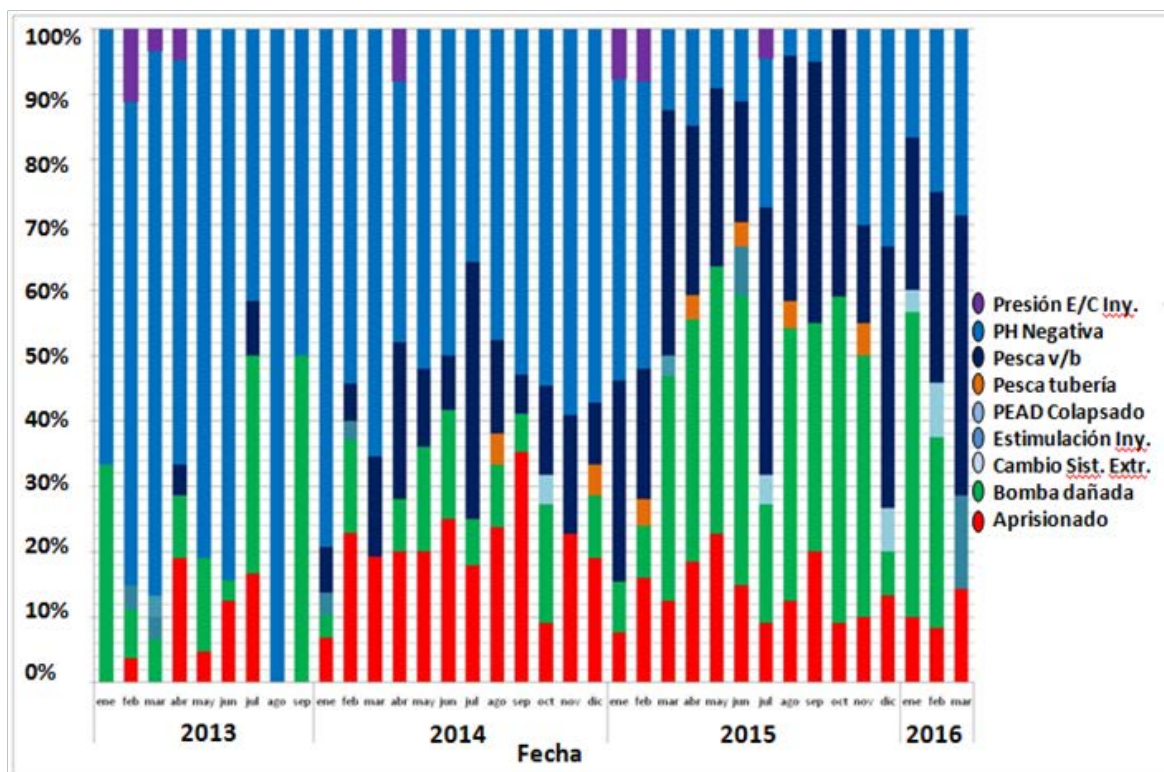


Figura 2: Evolución de la matriz de fallas en instalaciones de fondo de pozo

Pasó a tomar protagonismo la causa denominada “pesca de varilla de bombeo” como causa principal de pérdida de producción por intervención con equipo de pulling. En este informe se presentan alternativas para atacar esta problemática y luego de un análisis técnico – económico se puso en práctica un piloto de prueba para evaluar resultados reales de campo.

Desarrollo

1. Causas de pesca de varillas

Para atacar el problema debemos buscar las principales causas, por lo tanto se realizaron análisis de causa raíz de manera individual en cada pozo para confeccionar una base de datos como punto de partida de un análisis de alternativas. Esto arrojó los resultados expuestos en el siguiente gráfico

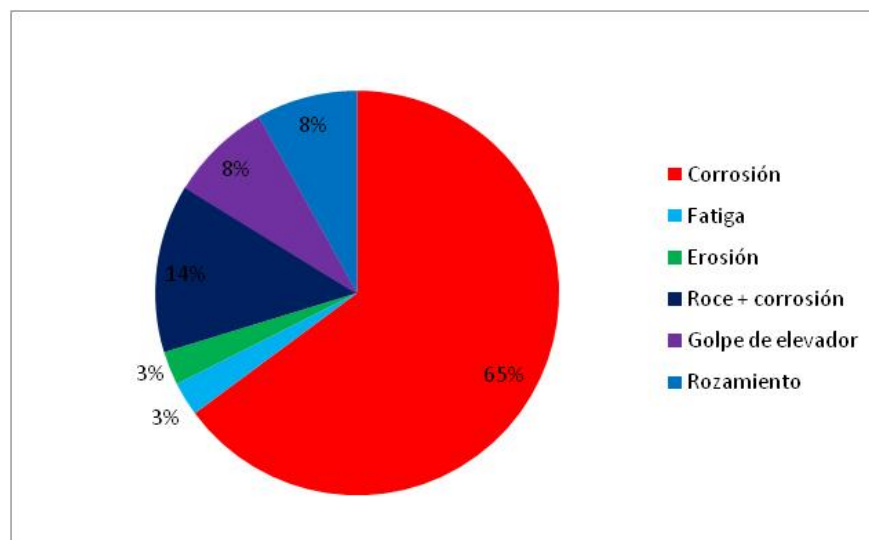


Figura 3: Causales de pesca de varillas de bombeo (colocar título en el gráfico)

De aquí se puede observar que la corrosión, al ser la problemática con mayor ocurrencia, será nuestro objetivo de estudio.

1.1. Mecanismos de corrosión

La corrosión es el proceso mediante el cual un metal se deteriora al reaccionar con el medio ambiente que lo rodea. Se da como resultado de un proceso electroquímico que es producido al presentarse un intercambio o flujo de electrones entre dos electrodos (ánodo y cátodo), utilizando un medio conductor. En este caso el ánodo es la zona de la varilla que pierde electrones (pérdida de electrones-oxidación) y el cátodo otra zona de la misma varilla que gana electrones (ganancia de electrones-reducción). Esto se debe a la heterogeneidad de los materiales que hace que existan micro-celdas de corrosión en una misma pieza. El electrolito es el agua salada presente en el fluido de producción y el conductor la varilla de bombeo.

El dióxido de carbono es un gas que presenta alta solubilidad en el agua y que al estar presente forma “Ácido Carbónico” incrementando la acidez del fluido, favoreciendo su agresividad química. El parámetro que permite evaluar la corrosión por CO₂ es la presión parcial de este gas, teniendo los siguientes valores como parámetros de reseña:

- $PpCO_2 < 7$ psi (0,5 bar): Corrosión poco probable
- 7 psi (0,5 bar) $< PpCO_2 < 30$ psi (2 bar): Corrosión posible
- $PpCO_2 > 30$ psi (2 bar): Corrosión

En las varillas de bombeo, la morfología típica de la corrosión por CO₂, también llamada corrosión dulce consiste en una pérdida de material con forma de gusano, con bordes filosos.

En el caso en estudio los valores de laboratorio indicaron una alta tasa de corrosión, sumado a ello la morfología del material extraído de los pozos de casos testigo y caracterizaciones de sólidos corroboraron el ataque por CO₂ como causante de corrosión.



Figura 4

Para afirmar que la problemática principal es CO₂, también agregaría:

- Si tenemos datos de caracterizaciones de sólidos donde arroja como resultado carbonato de hierro.
- Un mapa del Yacimiento (mapeo que llevamos) con las presiones parciales. Un único mapa con esta variable.

1.2. Identificación del elemento en falla

Se ha identificado el problema de pesca en varillas de bombeo por el mecanismo de corrosión, pero existen tres puntos sustancialmente desiguales donde debe identificarse la falla. Es por ello que se realizó un estudio para ubicar las fallas, siendo los puntos susceptibles en una sarta de varillas los siguientes:

- Cupla,
- Conexión de varillas o zona de transición (hombro, cuadrante y cebolla)
- Cuerpo de varilla

Debemos discernir entre estos ya que son diferentes constructivamente, dimensionalmente y con solicitudes mecánicas dispares. Se confeccionó una base sobre datos reales de campo, la cual, permitió identificar que la problemática se localiza principalmente en el cuerpo de las varillas de bombeo.

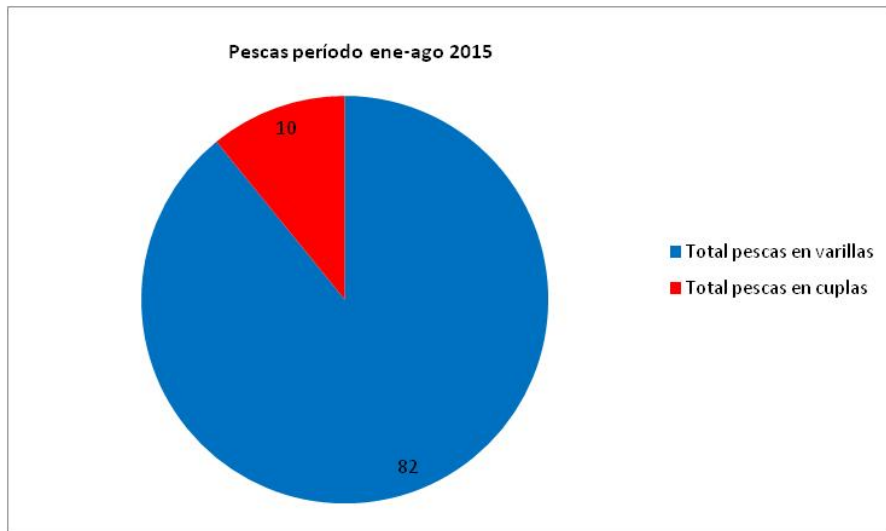


Figura 5: Distribución de fallas en varillas

Sería conveniente agregar un párrafo que explique el por qué del período de esta distribución, que quede más claro que nos tomamos un tiempo para lograr una muestra representativa de casos para abordarlo de esta forma.

Todos estos datos hicieron que el problema fuera identificado y acotado como ***pescas en cuerpo de varilla de bombeo por acción de la corrosión carbónica***. Este será el eje de estudio, a partir del cual se sustentarán las hipótesis para solucionar el inconveniente descrito. A modo de ejemplo se puede mostrar el caso testigo, donde se observa la falla en cuerpo, por acción de corrosión carbónica.



Figura 6; Caso testigo del grado de corrosión

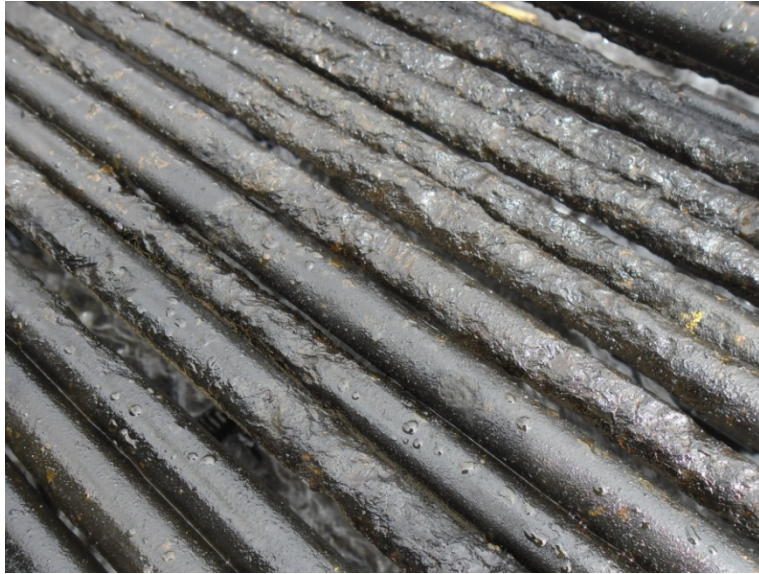


Figura 7: Caso testigo del grado de corrosión II

2. Selección de alternativa de tratamiento

Existen dos alternativas técnicas principales para mitigar los efectos de la corrosión sobre varillas de bombeo.

2.1. Cambio de la metalografía de los materiales: utilizar varillas con mejor desempeño a corrosión.

Por cuestiones comerciales y económicas el uso más común, prácticamente el 90% del mercado argentino, son varillas de bombeo de acero grado D. En este caso ante la situación expuesta anteriormente se solicitó el reemplazo de materiales a grado de acero KD. Este material al tener menor % de carbono mejora la resistencia a la corrosión a igualdad de propiedades mecánicas y estructura. A su vez también mejora la tenacidad (energía absorbida antes de la rotura), mejorando la resistencia a la corrosión-fatiga. El agregado de níquel cumple dos funciones principales. Mejora la tenacidad, y aumenta la resistencia para compensar lo que se pierde al bajarle el carbono.

COMPOSICIÓN QUÍMICA SEGÚN TIPO DE ACERO						
	GRADOS API					
	GRADO C		GRADO K		GRADO D	
	C	K	D CARBON	D ALLOY	KD SPECIAL	D SPECIAL
Acero	1530 M	4621 M	1530 M	4142 M	4320 M	4330 M
C	0.31-0.36	0.18-0.25	0.31-0.36	0.40-0.45	0.18-0.25	0.30-0.37
Mn	1.40-1.60	0.70-1.00	1.40-1.60	0.75-1.00	0.80-1.00	0.70-0.95
S	0.025 Mx.	0.025 Mx.	0.025 Mx.	0.025 Mx.	0.025 Mx.	0.025 Mx.
P	0.025 Mx.	0.025 Mx.	0.025 Mx.	0.025 Mx.	0.025 Mx.	0.025 Mx.
Si	0.25-0.40	0.15-0.30	0.25-0.40	0.15-0.35	0.15-0.35	0.15-0.35
Ni	0.15 Mx.	1.65-2.00	0.15 Mx.	0.25 Mx.	1.15-1.50	1.65-2.00
Cr	0.2 Mx.	0.3 Mx.	0.2 Mx.	0.80-1.10	0.70-0.90	0.80-1.10
Mo	0.05 Mx.	0.20-0.30	0.05 Mx.	0.15-0.25	0.20-0.30	0.20-0.30
V	0.10-0.15	—	0.10-0.15	—	0.03-0.07	0.035-0.100
Nb	—	—	—	—	—	—
Al	0.01-0.04	0.01-0.04	0.01-0.04	0.01-0.04	0.01-0.05	0.01-0.06
Cu	0.25 Mx.	0.25 Mx.	0.25 Mx.	0.25 Mx.	0.25 Mx.	0.25 Mx.
PROPIEDADES MECÁNICAS						
YS (Ksi)	60 Min.	60 Min.	85 Min.	100*	100*	100*
UTS (Ksi)	90-115	90-115	115-140	120-140	120-140	125-140
TRATAMIENTO TÉRMICO						
	Normalizado	Normalizado	Normalizado	Normalizado	Normalizado	Normalizado
	Revenido		Enfriamiento for.	Revenido	Revenido	Revenido

Figura 8: Composición química según tipo de acero (Fuente TENARIS)

Este tipo de cambio es un tratamiento directo sobre la causa raíz del problema. Por otro lado, los cambios del tipo indirectos introducen una mayor cantidad de variables al sistema que son más difíciles de controlar.

2.2. Tratamiento Químico: Inyección de químicos de manera continua por entrecolumna

El tratamiento de inyección de inhibidor de corrosión en continua por entrecolumna se realiza mediante un capilar de poliamida que se introduce unos 8 a 10 mts por entre columna. El inhibidor es inyectado por la acción de una bomba tipo Dosivac (o similar) de manera continua durante las 24 hs.

El inhibidor de corrosión, (base imidazolina), es luego succionado por la bomba en fondo de pozo y arrastrado por ella hacia superficie protegiendo la instalación mediante la formación de un film protector que separa el acero del electrolito.

De los pozos productores, hay 123 que están en tratamiento con inhibidor de corrosión de manera continua mediante capilar de poliamida por entre columna de unos 10 metros aproximadamente y 30 pozos tratados mediante batchs de inhibidor de corrosión quincenales.

Dentro del estudio realizado sobre las pescas, se analizó la incidencia de las mismas en pozos tratados con inhibidor de corrosión (en continua y batch). Observando que el 54% de las pescas se dieron en pozos sin tratamiento.

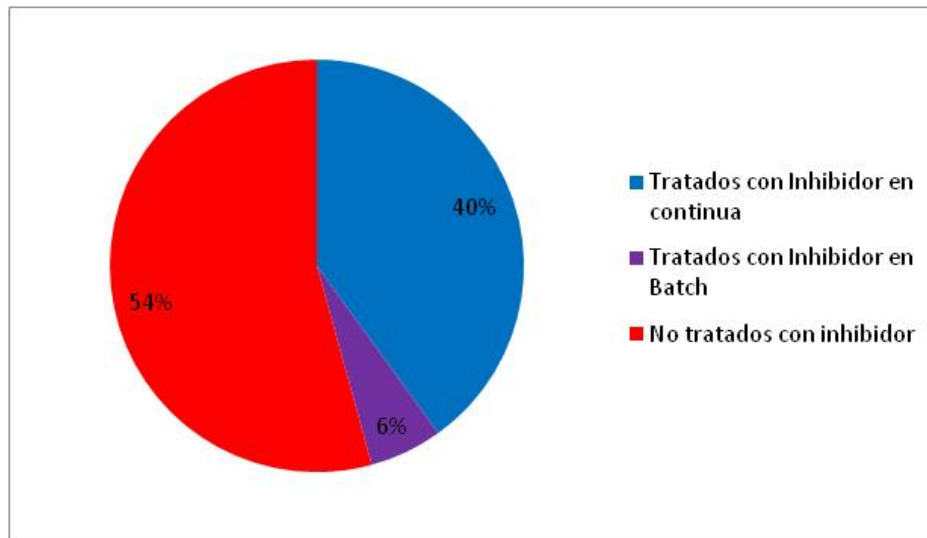


Figura 9: Distribución de pescas en función de pozos con tratamiento químico

Este 46% de pescas en pozos tratados, se debe a una combinación de factores entre los cuales el rozamiento tiene una incidencia muy importante ya que provoca que se desprenda la película protectora del inhibidor y que se produzca el ataque corrosivo en la varilla que roza contra la pared interna del tubing. También podemos mencionar el estrangulamiento de la poliamida y la falla de dosificación como otras causas que inciden en la eficiencia del tratamiento.

Este gráfico contribuye a identificar la necesidad de tomar alguna acción sobre pozos que no están tratados, ya sea por “incluir los mismos en el Programa de Tratamiento Químico” o en su defecto “Introducir un cambio en la composición química del material”.

2.3. Análisis económico de tratamientos

En el análisis, se buscó un caso testigo representativo de cada una de las tecnologías aplicadas para intentar dirimir la continuidad de una de las aplicaciones. Es por este motivo que se realizan comparaciones.

COMPARACION ECONOMICA	VARILLAS KD	TRATAMIENTO QUIMICO
Logística	+	++
Costo Producto	++++	+
Operación y mantenimiento		++
Instalación de tecnología	++++	+

Tabla 1: Pozos bajo prueba con varillas de bombeo grado KD

2.4. Resultado de análisis técnico- económico

Como resultado del análisis técnico – económico se puede concluir que existe cierto margen para afrontar los mayores costos de varillas grado KD. Esto queda sujeto a la ampliación de la vida útil de la instalación y el recupero post inspección no destructiva. Existe un punto de equilibrio que será producto de análisis de los costos expuestos en la tabla anterior y costos operativos por instalación.

Este análisis realizado, fue el inicio para comenzar a las aplicaciones de uso de varillas grado KD. La aplicación de este tipo de varillas, en nuestro caso de análisis, deben ir acompañadas indefectiblemente, en combinación con cuplas spray metal y tubería revestida con polietileno expandido de alta densidad, siendo una medida técnica-económica propia del yacimiento más efectiva para atacar las fallas por corrosión en cuerpo de varilla.

3. Protocolo de ensayo

3.1.1. Selección de pozos candidatos y consideraciones particulares

El pozo candidato debe reunir las siguientes condiciones:

- Instalación tubing con Polietileno Expandido de Alta Densidad.
- Índice de pulling mayor a 0.5 ppa. O sea más de una intervención cada dos años.
- Al menos un antecedente de pesca en cuerpo de varillas de bombeo por corrosión.
- CO2 30 psi < Pparcial (realizar lectura en gas).
- SH2 0.05 psi < Pparcial (realizar lectura en gas).
- Más de 2 caldos de bacterias. Sin embargo, si el pozo presentara valores de presiones parciales mayores a los indicados en el ítem anterior y no manifestara presencia de bacterias, igualmente aplicará.
- Corte de agua superior al 80%.
- Mantener las mismas variables con las que venía operando el pozo

3.1.2. Matriz de decisión para aplicación de varillas KD

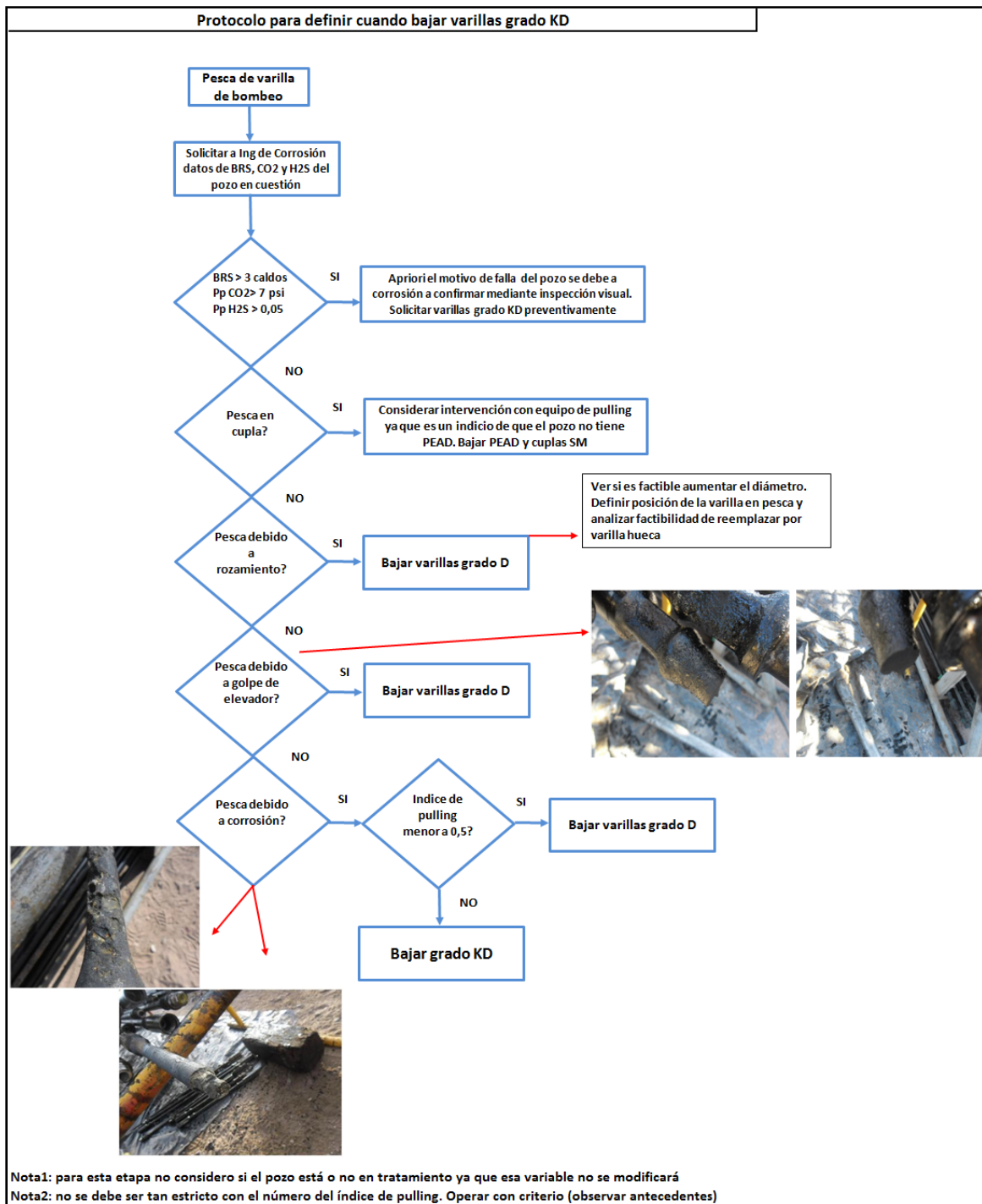


Figura 10: Matriz de decisión

3.1.3. Parámetros a medir y/o calcular

Se medirán / calcularán los siguientes parámetros:

- Caudal de producción bruta [m³/día]
- Porcentaje de agua [% W]
- Nivel Dinámico [m]

- Presión dinámica [PSI]
- Régimen de la bomba (RPM)
- Torque (%)
- Caldos de bacterias
- PPM de gases CO₂ y SH₂
- Tiempo medio entre fallos (MTBF)
- Dimensiones de las varillas en cuerpo antes y después de su puesta en servicio.
- Ausencia de material (en cuerpo, hombro y cebolla).

3.1.4. Indicador de éxito

Para evaluar el éxito de la aplicación se tomará como parámetro el tiempo medio de falla (MTBF).

Por lo tanto se deberá tener un indicador del tiempo de duración de varillas de bombeo grado D y comparar con el mismo tiempo de varillas de bombeo grado KD, marcado por el hito de pesca en varilla grado KD.

A modo de ejemplo para ampliar lo mencionado con anterioridad se tiene registro de duración del pozo ECN-0135, en el cual se instalaron varillas de bombeo nuevas grado D y luego de 275 días se produjo un fallo por corrosión (pesca de varilla en cuerpo). El reporte de inspección no destructiva indicó un rechazo del 94% por corrosión. Luego se instalaron varillas de bombeo grado KD, las cuales duraron 516 días hasta que debió intervenir el pozo por una pesca debido a un golpe de elevador, manteniendo las varillas un perfecto estado de conservación.

3.1.5. Consideraciones

Durante el desarrollo del piloto de prueba se deben mantener las condiciones previas al cambio, es decir, si se tenía varillas de bombeo grado “D” sin dosificación de producto químico alguno, solamente se cambiarán por varillas grado “KD” y continuará sin tratamiento químico.

Si previo a la intervención, el pozo tenía algún tipo de tratamiento químico, se seguirá con ese tratamiento químico y se reemplazarán las varillas por grado “KD”. De esta manera se puede establecer un patrón de comparación más certero sin modificar variables que no vienen al caso de lo que se está estudiando. Es decir, haciendo un paralelismo, se tendrá especial cuidado en no modificar más de una variable por vez.

Por otro lado a la hora de la intervención la operativa, se deberán tener las consideraciones particulares para realizar las maniobras adecuadas de manipulación de las varillas grado KD.

3.1.6. Resultados del protocolo de prueba

Luego de la aplicación, se concluyó que **hay una prolongación en la vida útil de las instalaciones.**

En 5 pozos se observó una mejora sustancial de duración y aún no existe falla por lo que continúan en operación.

En un pozo, se intervino por pesca pero no fue causada por corrosión sino por un golpe del elevador que provocó una marca o entalla en la varilla que luego causó la rotura de la misma por concentración de tensiones. Este pozo había superado un 88% su duración respecto a la anterior instalación con varilla grado D.

El promedio de días en pozos que han superado el tiempo de duración anterior y que continúan operando con varillas de bombeo grado KD es de 360 días, frente a los 265 de los mismos pozos con la instalación anterior con varillas de bombeo grado D, lo cual indica que los cambios introducidos fueron satisfactorios.

Piloto de instalación de varillas grado "KD"				
POZO	Duración v/b "D" (días)	Duración v/b "KD" (días)	Extensión "Run-Life"	Status
Pozo 1	275	516	241	
Pozo 2	478	565	87	
Pozo 3	251	264	13	
Pozo 4	278	423	145	
Pozo 5	143	361	218	
Pozo 6	246	300	54	
Pozo 7	267	279	12	
Pozo 8	179	277	98	
Pozo 9	215	232	17	

Tabla 2: Pozos bajo prueba con varillas de bombeo grado KD

En la tabla también se pueden encontrar los pozos en los que se instalaron varillas grado KD, los cuales aun no han superado el tiempo medio entre fallas de varillas grado D pero siguen en marcha sin alteraciones en los datos de producción que haga presuponer un fallo inminente. Por lo tanto, se debe continuar acumulando días para abordar a una conclusión con una población mayor, que ayudará a disminuir la dispersión.

Conclusiones

1. El uso de varillas KD ha demostrado ser una posible herramienta para mitigar los problemas de corrosión en un Yacimiento con corrosión carbónica.
2. Se considera una alternativa técnico económica frente a la inhibición desde superficie.
3. El estudio permitió identificar un incremento en el MTBF, destacando un caso de 241 días de duración extra.
4. La aplicación del protocolo se extendió a 37 pozos por sus buenos resultados.
5. Para ampliar los conocimientos es necesario tiempo de exposición de las varillas al medio corrosivo.
6. Para obtener conclusiones a priori se realizaron inspecciones, las cuales no arrojaron datos significativos.
7. Desde el punto de vista económico existe un punto, particular de cada ámbito de aplicación, en el cual se compensan los mayores costos de varillas grado KD. Las evaluaciones deberán considerar parámetros operativos, logísticos y de materiales.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a Pluspetrol S.A. por su apoyo y permiso para esta publicación. Asimismo, se agradece a los integrantes del equipo de Ingeniería de Producción que hicieron posible el desarrollo y al equipo de Well Construction.