

3° CONGRESO DE PRODUCCION

19 al 22 de Setiembre – Mendoza

Pozo LmS 68: seis años de operación ininterrumpida con Varillas de Bombeo de acero AISI 4320

Autores:

Marisa Poli y Persi Ardaya – Repsol YPF

Alejandro Ameglio – TenarisSiderca División Varillas de Bombeo

Rodolfo Tapia – TenarisSiderca

1.- Sinopsis:

La Unidad Económica Rincón de los Sauces (Neuquén) de Repsol-YPF posee pozos productores de petróleo con fluidos de elevada corrosividad, principalmente en los yacimientos Chihuido de la Sierra y Lomitas.

Estos fluidos tienen un alto contenido de CO₂ en gas, con presiones parciales del mencionado gas superiores a 30 psi.

De acuerdo al criterio NACE y a lo observado en la práctica, estos pozos son muy corrosivos desde el punto de vista de corrosión carbónica.

Adicionalmente, estos yacimientos tuvieron en los últimos años una gran influencia de la recuperación secundaria, lo que ocasionó un incremento en la concentración de SH₂ en gas, producido principalmente por la contaminación bacteriana del reservorio.

La presencia de ambos gases corrosivos prioriza el uso de materiales con mayor resistencia a la corrosión, tanto para prolongar la vida útil de los mismos como para disminuir los costos de operación.

Durante los años 1998 y 1999 se ensayaron, en pozos de alto caudal y elevado índice de pescas, dos tipos de varillas de bombeo revestidas: con bronce-aluminio y con acero inoxidable AISI 316 + revestimiento epoxy exterior.

Si bien, en ambos casos, los resultados obtenidos fueron buenos, sólo un grupo reducido de pozos podía amortizar los elevados costos asociados a estos materiales, por lo que era necesario encontrar una alternativa de más amplia aplicación.

Como resultado de la búsqueda de aceros diferentes a los de uso habitual en el yacimiento, a partir del año 2000 se inicia la utilización de varillas de bombeo de acero AISI 4320 con la

finalidad de evaluar su performance en pozos con antecedentes de alto número de pescas por corrosión.

Este trabajo tiene por objeto describir en particular la experiencia llevada a cabo en uno de los pozos identificados como problemáticos, el pozo LmS 68, en el cual se bajó la primera sarta de este material el 23 de Febrero del 2000.

Al momento de la instalación de este nuevo material, el pozo contaba con un índice de 2 pescas anuales por causas de corrosión. A la fecha el pozo lleva 6 años de operación ininterrumpida, con el consecuente ahorro económico que ello ha generado además de probar que esta nueva alternativa es factible de uso en el entorno corrosivo de los mencionados Yacimientos.

2.- Introducción

En el Centro de Investigación Industrial (CINI) del grupo Techint, se llevaron a cabo ensayos para estudiar en condiciones de laboratorio el comportamiento en medios corrosivos de los distintos aceros utilizados para varillas grado D (AISI 1530, AISI 4142 y AISI 4320).

Los ensayos realizados fueron los siguientes:

– Resistencia al Sulfide Stress Cracking (SSC)

Se evaluó siguiendo los métodos A y D de la norma NACE 0177-96. Es claro que estos ensayos no reproducen las condiciones reales de servicio de las varillas, ya que se trata de métodos que aplican cargas estáticas y no alternativas como las reales.

En el caso del método A se trata de la inmersión de la probeta en un medio ácido ($\text{Ph}=2,7$) con burbujeo constante de gas sulfhídrico (H_2S) y cargas de tracción uniaxial del 70-100% de la capacidad nominal de fluencia del material.

Para el caso del método D, el ensayo es de carácter fracto-mecánico y permite calcular el factor de intensidad de tensiones crítico del material (K_{ISSC}).

– Ensayos de inmersión

Se expuso una probeta de cada uno de los aceros durante 400 horas en solución NACE A, con burbujeo en SH_2 . Cada probeta se extrajo del cuerpo de la varilla mediante cortes transversales, de modo que las superficies expuestas fueron:

- Superficie lateral de la varilla, en estado “as received”
- Una cara resultante del corte, pulida hasta espejo

Luego del ensayo se realizó un corte longitudinal y se analizó el perímetro de las caras resultantes del mismo, utilizando microscopio óptico y SEM/EDX.

– Ensayos en medios ricos en CO_2

Para evaluar la resistencia a la corrosión en medios ricos en CO_2 , se utilizaron las siguientes técnicas electroquímicas:

Resistencia de polarización lineal (LPR) Barrido potencio-dinámico

Se evaluó una probeta tomada del cuerpo para cada formulación de acero, utilizando electrodo de cilindro rotatorio.

Los ensayos electroquímicos se realizaron con las siguientes condiciones:

- Solución salina: símil yacimiento
- Velocidad equivalente de flujo: 2,5 m/s
- Temperatura: 60 ° C
- Presión total: 1 bar
- Presión parcial de CO₂: 1 bar
- PH: 5,35

Bajo estas condiciones, los resultados de los ensayos de resistencia de polarización lineal (LPR) indicaron que la menor velocidad de corrosión correspondía al acero AISI 4320 M:

Acero	Velocidad de corrosión (mm/año)
AISI 4320 M	1,6
AISI 4142 M	2,4
AIAI 1530 M	2,9

Los barridos potencio-dinámicos indicaron además que el AISI 4320 presentaba un potencial mas noble que los restantes materiales.

Si bien el acero AISI 4320 fue el que mejor comportamiento mostró en medios ricos con CO₂, fue el de peor performance en medios con Sulfhídrico. Esto se supone que puede estar asociado al alto contenido de Níquel que tiene el acero en su composición química (la norma NACE MR0175 sugiere utilizar materiales en medio sour con un contenido de Níquel que no supere el 1 % en peso).

A pesar de que los resultados de laboratorio no fueron del todo alentadores, se decidió igualmente en conjunto extender la prueba a las condiciones de campo, ya que se consideró con muy buen criterio que las condiciones reales de operación no eran tan exigentes como las de laboratorio para los ensayos en medio H₂S.

La prueba llevada a cabo en campo se la podría dividir en 2 etapas:

– Sartas bajadas en pozos que luego se les cambió de sistema de extracción.

Se bajaron 6 sartas completas (una de ellas se volvió a reutilizar en otros 2 pozos) en pozos que luego se levantaron por cambio de sistema de extracción a bombeo electrosumergible. Los tiempos de ensayo fueron desde 5 meses en el menor de los casos hasta 20 meses en el mayor de los casos, saliendo todas ellas sin indicios de corrosión.

– Sartas actualmente en uso

En la actualidad existen 5 pozos con sartas completas de este material en uso.

La sarta correspondiente al pozo LmS-68 fue la primera en bajarse en el yacimiento. La fecha del evento fue el 23/02/00 y es la que mayor duración tuvo hasta la fecha (75 meses).

3.- Desarrollo

3.1- Historial del pozo LmS-68

Este pozo se perforó originalmente en Diciembre de 1990 y comenzó a operar en Enero de 1991.

En el período comprendido entre Abril de 1999 y Febrero de 2000 (10 meses) tuvo 3 intervenciones por pesca de varillas en cuerpo por corrosión, por este motivo se lo seleccionó como uno de los candidatos para el ensayo.

Si bien el pozo estaba en tratamiento químico con inhibidor de corrosión, registraba un importante recambio de materiales.

A continuación se indican los controles del pozo al momento en que fuera instalada la sarta y los valores actuales, observándose el correspondiente incremento en el porcentaje de agua y disminución en el caudal de gas:

Fecha	Caudal Bruto(m3/d)	% de Agua	Caudal de gas(m3/d)
02/2000	106	60	1150
05/2006	103	96	223

3.2- Características del pozo LmS-68

El análisis de agua de formación del pozo en cuestión es el que se muestra en la tabla 2:

Aniones y cationes	Concentración (mg/l)
Cloruros	73.500
Carbonatos	0
Bicarbonatos	2.086
Sulfatos	2.200
Hierro Total	2
Calcio	1.806
Magnesio	240
Sodio	47.000
Bario	0
CO2 disuelto	308
SH2 disuelto	0,20

Tabla 2- Caracterización del agua de formación de los pozos en ensayo

pH: 6,7

Temperatura (°C): 30

Densidad (gr/cm3): 1,08

El contenido de dióxido de carbono en el gas de entrecolumna oscila entre 60-70 % molar, mientras que el contenido de sulfhídrico en gas es de 500 ppm..

3.3- Producto seleccionado como candidato

De acuerdo a la corrosividad del pozo en cuestión, se seleccionó la siguiente alternativa de material para Varillas de Bombeo como candidato para el ensayo de campo:

Varillas de bombeo de acero AISI 4320

La varilla de bombeo de acero AISI 4320 tiene las propiedades mecánicas de una varilla API Grado D y composición química semejante a la varilla API Grado K, que la hace apropiada para el uso en pozos corrosivos.

La microestructura que posee, luego del tratamiento térmico de normalizado y revenido, es bainítica.

Sus propiedades mecánicas son las siguientes:

Tensión de Fluencia (Ksi): 85 min

Tensión de rotura (Ksi): 115/140

La diferencia principal con respecto al acero que se está utilizando en forma standard (AISI 4142) es la composición química, dado que ambos aceros poseen idénticas propiedades mecánicas y microestructura.

La tabla 3 muestra la diferencia entre las composiciones químicas:

Elemento	AISI 4142	AISI 4320
C	0,40 - 0,45	0,18 - 0,24
Mn	0,75 - 1,00	0,80 - 1,00
S	0,025 Máx	0,025 Máx
P	0,025 Máx	0,025 Máx
Si	0,15 - 0,35	0,15 - 0,35
Ni	0,25 Máx	1,15 - 1,50
Cr	0,80 - 1,10	0,70 - 0,90
Mo	0,15 - 0,25	0,20 - 0,30
V	-	0,03 - 0,07
Cu	0,25 Máx	0,25 Máx

Tabla 3- Composición química de los aceros AISI 4142 y AISI 4320

Tal lo indica la tabla 3, las diferencias se encuentran en el contenido de Carbono y en los aleantes que le otorgan resistencia a la corrosión (Níquel, Cromo y Molibdeno).

4.- Ensayo de Campo

4.1- Instalación bajada en el pozo

Para el comienzo del ensayo se decidió la instalación del siguiente diseño de sarta:

65 varillas diám. 1" MMKD (AISI 4320M)

84 varillas diám. 7/8" MMKD (AISI 4320)

12 varillas diám. 1" Grado D (AISI 4142M)

4.2- Instalación sacada del pozo (Intervención del 01/10/02)

A los 30 meses de ensayo (01/10/02) el pozo tuvo una intervención por cambio de bomba. Se observó el estado de la sarta y la misma salió sin ningún indicio de corrosión (ver fotos 1 y 2).

Se volvieron a bajar las mismas varillas al pozo.



Foto 1- Cuerpo vb 4320 pozo LmS-68 (int 01/10/02)



Foto 2- Cebolla y cuadrante vb 4320 pozo LmS-68 (int 01/10/02)

4.3- Condiciones operativas actuales del pozo

En el gráfico siguiente (Gráf. 1) se puede observar que las condiciones de producción del pozo no han variado significativamente desde la instalación de este tipo de varillas (Feb. 2000)

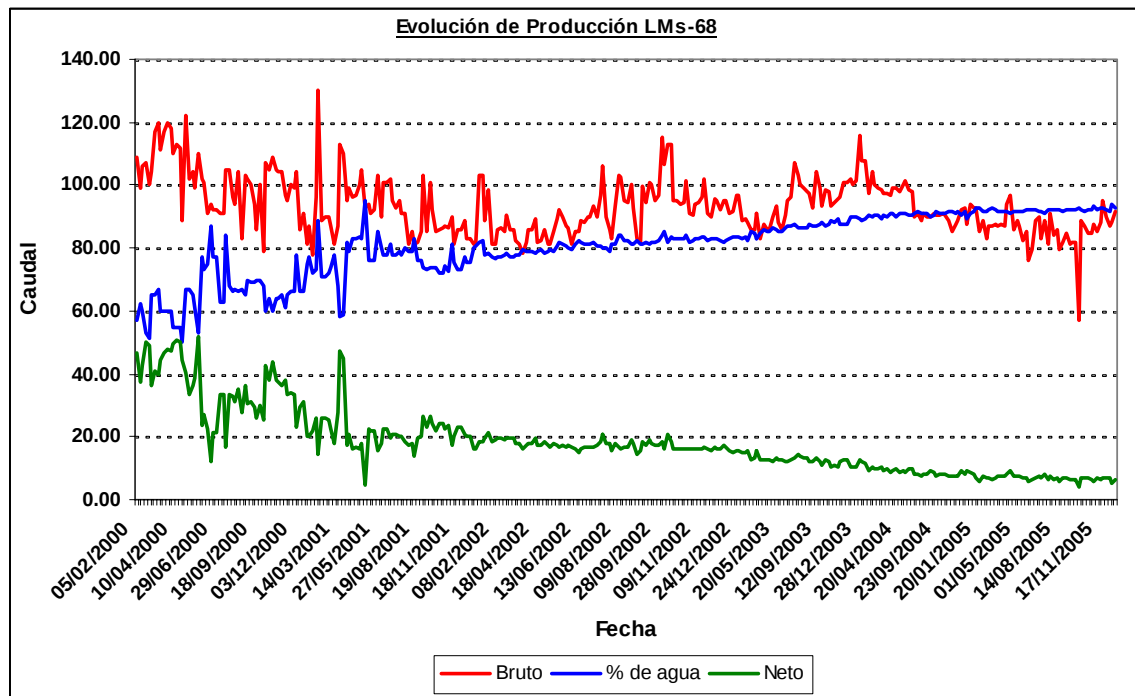
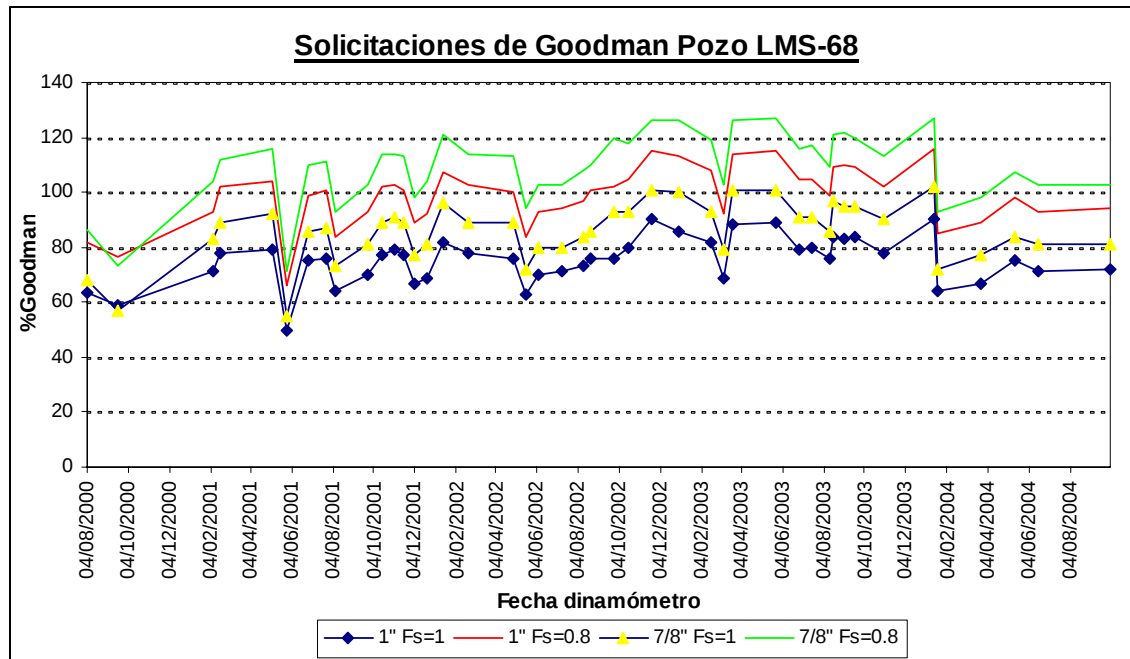


Gráfico 1 – Evolución de producción

En cuanto a las condiciones operativas de la sarta de bombeo, puede observarse la evolución de los valores de cargas sobre los tramos de varillas (%Goodman) en el Gráf. 2. Al respecto es importante destacar que para las varillas del tramo diám. 1", la sollicitación máxima fue de **116%** de Goodman ($F_s=0.8$), mientras que en el tramo diám. 7/8" la misma fue de **127%** de Goodman ($F_s=0.8$).

Si bien ambos valores son elevados para las condiciones del entorno corrosivo que se encuentran en este pozo, se trata de valores puntuales.



4.4- Ahorros obtenidos

Para poder cuantificar los ahorros obtenidos, se utilizó la “teoría del espejo”, es decir comparar los gastos de pulling y varillas de bombeo generados en iguales períodos de tiempo, anteriores y posteriores a la bajada de los materiales especiales.

En el periodo anterior a la instalación de las varillas MMKD, se produjo un total de 14 intervenciones en el plazo de 6 años (tiempo que lleva la instalación en funcionamiento); de estas, 4 intervenciones correspondieron a pesca de varillas mientras que las restantes se originaron en cambios de bomba.

Si se analiza sólo el gasto generado por problemas en varillas que registra el pozo en el último año, se puede observar:

Fecha de intervención	Causa de intervención	Material reemplazado	Costo (U\$d)
24-Sep-1998	Cambio de Bomba	Varillas 1" y 7/8"	6294
29-Abr-1999	Pesca de varillas	Varillas 1" y 7/8"	21043
19-Jul-1999	Cambio de Bomba	Varillas 1"	5094
30-Dic-1999	Pesca de varillas	Varillas 7/8"	11083
23-Feb-2000	Pesca de varillas	Varillas 1" y 7/8"	10400

Nota: Se instalan las varillas 4320 MMKD en el pozo. El costo informado corresponde a dichas varillas

Total gastos (varillas) en el año previo a la instalación	U\$D 43614
---	------------

Total costo varillas AISI 4320 (MMKD)	U\$D 10400
AHORROS VARILLAS	U\$D 33214

5.- Conclusiones

A través del ensayo de campo descrito en el presente trabajo, se arribaron a importantes conclusiones, las que mencionamos a continuación:

- a- Las varillas de material AISI 4320 mostraron un excelente comportamiento frente a la corrosión en comparación al material de uso standard (AISI 4142M) utilizado con anterioridad. Esto correlaciona con la buena resistencia a la corrosión carbónica observada en los ensayos de laboratorio.
- b- Se logró prácticamente eliminar la ocurrencia de intervenciones con el correspondiente ahorro en los costos de materiales y pulling.
- c- Si bien el pozo tiene un tenor importante de H₂S medido en el gas, el comportamiento observado en campo fue satisfactorio, no correlacionando con los ensayos de susceptibilidad a SSC realizados en laboratorio bajo condiciones de mayor severidad que las reales existentes en campo.
- d- Los valores de sollicitación de la columna, en promedio, se ubican alrededor del 80% Goodman (considerando $F_s=1$). Si se considera el entorno corrosivo existente ($F_s=0.8$), los promedios resultan de 100% Goodman.
- e- La sarta de varillas ha superado los 18 MM ciclos a fatiga en el pozo, casi duplicando el valor normal de límite a fatiga de una varilla (10 MM ciclos).

6.- Referencias

- API Specification 11B, "Specification for sucker rods", 26th Ed., January 1998.
- API Recommended Practice 11 BR, "Recommended Practice for care and handling of sucker rods", 8th Ed., October 1989.
- NACE TM 0177-96: "Laboratory testing of metal for resistance to specific forms of environmental cracking in H₂S environments".
- C. Morales and T. Pérez, "Performance in corrosive environments of the different steels used by Metalmecánica for API Grade D sucker rods", Report 1641/00, Centro de Investigación Industrial de la Organización Techint, Buenos Aires, Argentina (junio 2000).
- SPE 81119 "The use of AISI 4320 sucker rods at corrosive environments as a field experience", G.Ramírez, M.Poli, F.Salas, D.Olmos, A.Ameglio, R.Tapia – SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Port of Spain, Trinidad, West Indies, 27-30 April 2003.