

Estudio de Performance de Varillas Revestidas con Bronce - Aluminio en YPF S.A. Yac. R.D.L.S.

Ing. Diego Olmos – Ing. Alejandro F. Ameglio

Metalmechanica S.A

Ing. Rodolfo Tapia

Siderca SAIC

Dr Gustavo Bianchi – Ing. Lelio DaSilva – Ing. Guillermo Ramirez – Ing.

Marisa Poli

Repsol-YPF S.A.

Abstract

Este trabajo tiene por objeto describir la experiencia de uso de varillas revestidas con Bronce - Aluminio en los yacimientos Chihuidos de la Sierra Negra y Lomitas de la empresa en el área Rincón de los Sauces (Neuquén).

Este nuevo material fue desarrollado específicamente para ser utilizado en los entornos corrosivos de estos yacimientos. El desarrollo se realizó en forma conjunta entre proveedor – operador cuyo objetivo era obtener una solución técnico - económica para las varillas de bombeo a utilizar en dichos yacimientos.

Introducción

Los yacimientos en que se desarrolla la experiencia, Lomitas y Chihuido de la Sierra Negra, ubicados en la cuenca Neuquina (noroeste de la provincia de Neuquen), República Argentina.

Éstos yacimientos relativamente jóvenes (entraron en fase de desarrollo fines de los '80 principios de '90). Producen de las formaciones Troncoso y Avilé, con profundidades promedios de 1.000-1.100 y 1.300-1.350 respectivamente, estando entubados en su mayoría con CSG de 51/2", utilizando tubería de producción de 27/8".

A principios del año 1997, el yacimiento tenía 652 pozos productores (con una producción de 40.000 m3/día total de bruta y 20.000 m3/día seca). En 1993 comienza con el programa de recuperación secundaria mediante la inyección selectiva de agua.

El programa empezó inyectando 500 m3/día, estando actualmente en 82.000 m3/día (valor estabilizado en el año 1999). En promedio los pozos pasaron de producir con un corte de agua de 10% a superior del 50-70%. El GOR de los pozos es de 10/20, con un 60% de CO2 en el gas.

Inicialmente el yacimiento estaba explotado principalmente por bombeo mecánico, utilizando varillas API Gr. D API 86 (1"-7/8"-3/4") ó API76 (7/8"-3/4")

Con el comienzo de la respuesta de la secundaria, los niveles dinámicos de pozos aumentaron notablemente, con lo cual se procedió a adecuar los sistemas extractivos:

- Se colocaron bombas electrosumergibles (en pozos donde B.M. no era viable por los altos caudales);
- Se rediseñaron las instalaciones de B.M.;

En una primera etapa debido al gran incremento de las cargas esperado para B.M., se comenzaron a instalar a modo de prueba varillas alta resistencia (3/4 pozos). Dada la severidad de los entornos corrosivos (potenciado por la metalurgia propia de las varillas de alta resistencia) y la dificultad de tratar con inhibidores de corrosión, se concluyó que no era conveniente adoptar el uso de éste tipo de varillas.

Paralelamente se implementó un plan de seguimiento de corrosividad e intervenciones de los pozos productores, de modo de definir un programa de tratamiento con inhibidores de corrosión. Si bien, como es lógico de esperar esto mejoró la durabilidad de las varillas, ciertas condiciones particulares en muchos pozos, como rozamiento, erosión, altas velocidades de flujo y altas cargas de fatiga hicieron necesario buscar soluciones complementarias para determinado grupo de pozos.

La evolución propia del yacimiento también marcó la criticidad y limitaciones del uso de las varillas Gr. D. En algunos casos la duración de las varillas llegó a ser menor a los 60 días.

Desarrollo

1 - Caracterización de los pozos del Yacimiento

1-1- Instalación de producción típicas de pozos en B.M.

Prof.: 1.400/1.800 m

Tubing: 27/8"

Diámetro pistón bomba: 2.75"

AIB: C-912-365-192

Carrera: 168"-192"

Velocidad de bombeo: 8/10 gpm

Producción Bruta: 100/200 m³/día (50/70% Agua - GOR 10/20)

Diseño de Sarta Anterior al Ensayo: 50 v/b Gr. D 1", 108 v/b Gr. D 7/8", 13 v/b Gr. D 1"

1-2 Entorno Corrosivo

1-2-1 Análisis químico del agua de formación de los pozos en análisis (composición promedio)

Densidad (gr/lt)	1,0 – 1,10
Temperatura (°C)	40/50
pH “in situ”	6,00/6,50
Cloruros (mg/lt)	40.000/ 50.000
Carbonatos (mg/lt) “in situ”	n/c
Bicarbonatos (mg/lt) “i situ”	1.600/1.700
Sulfatos (mg/lt)	1.400/5.500
Dureza Total (mg/lt) “in situ”	6.000 /7.000
Calcio (mg/lt) “in situ”	1.200/1.500
Magnésio (mg/lt)	700/800
Sódio (mg/lt)	30.000/40.000
T.S.D. (mg/lt)	80.000/90.000
Hierro Total (mg/lt)	3,00/11,00
Dióxido de Carbono (mg/lt) “in situ”	160/170
Sulfídrico (mg/lt) “in situ”	0,00

1-2-2 Análisis del gas producido por entre caños del pozo (promedio GOR 10/20)

Dióxido de Carbono (% molar)	57,00
Gás Sulfídrico (ppm)	0,00

Nota: si bien los análisis de gas no revelan la presencia de SH₂ los análisis de depósitos de corrosión y la morfología de ataque en algunos pozos revelan la presencia inequívoca de bacterias sulfato reductoras.

2 - Tipología del Ataque Corrosivo

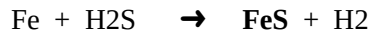
Las instalaciones de fondo de los pozos productores de petróleo del yacimiento Chihuido de la Sierra Negra (ChSN) y Lomitas (Lm) presentan un severo ataque corrosivo debido a las características físico - químicas del agua de formación. La corrosión es provocada por la presencia de cloruros, sulfuros y dióxido de carbono disuelto en agua, además de la presencia de alto contenido de sólidos.

Los tipos de corrosión predominantes son:

a. Corrosión dulce: Del tipo carbónica con la morfología característica de líneas extendidas de picaduras redondeadas y consumo de material metálico según la reacción electroquímica,



- b. Corrosión ácida: La presencia de sulfuro de hidrogeno en gas o sulfuros disueltos en agua provoca la formación de picaduras y de una película firmemente adherida al metal base. También puede ocurrir corrosión generalizada y el crecimiento de producto de corrosión delgado. El proceso de degradación del acero es el siguiente:



- c. Corrosión generalizada por cloruros: El alto contenido de cloruros presentes en ChSN-Lm en el rango de 50 a 120 g/l con solo trazas de gases ácidos promueve un ataque general con pequeñas picaduras redondas y poco profundas. Este tipo de ataque consume una importante cantidad de metal reduciendo así su área y el limite de resistencia a la tracción.
- d. Corrosión- Erosión: El contenido de altos porcentajes de arenas (silicatos) y el efecto de alta velocidad de fluido (erosión) enmascara el tipo de corrosión predominante con la remoción continua los productos de corrosión formados. Esto normalmente genera una superficie lisa y limpia del metal.

3 – Descripción de la Solución

3-1 Requerimientos previos

En base al planteo previo y la experiencia recogida en otros yacimientos, la solución técnica a implementar debía reunir las siguientes características:

- Posibilidad de brindar alta resistencia mecánica (p/extraer en BM pozos entre 150/200 m3/d);
- Resistir condiciones de abrasión (sólidos) y rozamiento (tbg - varillas);
- Alta resistencia corrosión CO2 predominante;
- Disminuir un diámetro de la sarta (7/8"-3/4") en lugar de (1"-7/8"-3/4") de modo de reducir la velocidad de flujo en la zona de la cupla de 1";
- Robustez para adecuarse a las condiciones "habituales" de manipuleo en el campo;
- Adecuación a la ecuación económica, de modo de que la solución no sea válida sólo para los pozos altamente productores, sino que sea "masificable" a un grupo de pozos;

El objetivo era lograr un producto que otorgara una situación intermedia entre las performance de:

- Varilla de acero al carbono + inhibición
- Varilla revestida con metalizado + epoxi cuya performance es satisfactoria siempre que durante el manipuleo y torque no se produzcan daños en el revestimiento (generadores de fallas súbitas) ni haya rozamiento entre tbg/varillas.

La segunda alternativa, si bien se probó en el área, previamente se conocía que por su elevado costo la solución sólo era aplicable a un número muy reducido de pozos;

De éste modo en una etapa experimental, se realizaron pruebas de revestimientos metálicos sobre probetas con diferentes materiales (Cr13; Cr18; Al y Bronce al Aluminio). Sobre éstas probetas y tomando una solución “típica” se determinaron las curvas de potencial dinámico de corrosión para cada uno de ellas. En base a éstas curvas y a la caracterización mecánica de cada uno de los revestimientos, se determinó que el revestimiento mas adecuado para una prueba de campo era el de Bronce al Aluminio.

3-2 Revestimiento de Bronce - Aluminio

3-2-1 Proceso de aplicación:

El método de aplicación consiste en cortocircuitar eléctricamente dos alambres del material de aporte, mientras una corriente de aire comprimido proyecta el material fundido sobre el sustrato. De esta manera se logran velocidades de deposición altas con buena adhesión y baja porosidad. La superficie base es sometida en forma previa a un proceso que asegure un grado de limpieza y activación adecuado.

El proceso se realiza en forma automática para asegurar una alta homogeneidad del espesor del revestimiento, alta adhesión y buenas propiedades mecánicas.

3-2-2 Características del recubrimiento

Composición Química de la aleación

Cobre	90,0	%
Aluminio	9,0	%
Hierro:	0,5	%

Dureza (min.):	65 - 68 HRB
Espesor de capa:	0,180 mm
Tensión de Anclaje:	6.740 psi
Densidad:	6,3 g/cm ³
Peso:	0,033 lbs/ft ² /mil

4- Experiencias de Campo

4-1 Metodología empleada

A principios del año de 1998 se comenzaron las pruebas de campo. Los pozos a ensayar se seleccionaron de acuerdo a sus características corrosivas y antecedentes de fallas (la muestra es representativa del resto de los pozos). De cada pozo se relevó la siguiente información:

- Evolución de las condiciones de producción (caudales, instalaciones, %H₂O);
- Antecedentes de fallas;
- Historia previa de reemplazo de materiales (1)
- Condiciones de inhibición

(1) Dicha información estaba disponible, dado que se realizaron “inspecciones selectivas” de varillas y tubing, que permitió conocer cual era el % de descarte de material, causa y posición en el pozo para los materiales retirados del pozo en las intervenciones previas.

En cada pulling se presenci6 la bajada de los materiales. En las primeras intervenciones se evalu6 el efecto del uso de elevadores con postizos pl6sticos y bronce. Finalmente se concluy6 que es suficiente el uso de elevadores y llaves convencionales que se encuentren en buen estado de conservaci6n.

Dentro del programa de seguimiento de los pozos, en caso de producirse una intervenci6n (por la causa que fuere, p.ej.: cambio de bomba, p6rdida tbg, etc.), se presenciaba la maniobra para evaluar el estado de los revestimientos, centralizadores y dem6s materiales.

4-2 Instalaciones bajadas

Para cada uno de los casos se instalaron sargas de alta resistencia (acero templado y revenido – tensi6n de rotura 150.000 psi). En otro grupo de pozos posteriormente se instalaron varillas Gr. D (varillas usadas condici6n II revestidas)

El objetivo de instalar sargas de alta resistencia era utilizar sargas tipo API76 (7/8"-3/4") en lugar de API86 (1"-7/8"-3/4") Gr.D, lo que no s6lo representaba una economi6, sino principalmente una disminuci6n de la velocidad local de flujo en la zona de la cupla (previamente se detectaba mayor incidencia de la corrosi6n erosi6n en cuplas –varillas de 1").

En todos los casos los dise1os de sargas de varillas fueron optimizados mediante el uso de modelos predictivos, utilizando barras de peso para minimizar los efectos de la compresi6n. Adem6s para controlar la posible ocurrencia de rozamiento entre la sarga y tubing se colocaron en todas las varillas de la sarga tres centralizadores inyectados por varilla.

En la Tabla siguiente se puede observar un resumen de los dise1os de sargas

Pozo	Varillas UHS/pozo		V. Grado D/pozo			B.Peso
	7/8"	3/4"	1"	7/8"	3/4"	1 1/8"
CHSN 204	106	101				20
CHSN 336	67	85				20
CHSN 260	74	80				38
CHSN 137	70	88				13
CHSN 358	86	72				15
CHSN 98	10		54	54		20

4-3 Resultados de Campo

Para el primer lote de pozos en el cual se instalaron varillas, en la tabla siguiente se presenta un resumen conteniendo fecha de instalación y vida útil de las varillas convencionales Gr.D y la duración de las varillas revestidas.

Pozo	Fecha de instalación	Vida útil v/b comunes (días)	Vida útil Bronce-Al al 10/99 (días)	Cant. interv. v/b comunes 1997-1998	Cant. interv. actual 1998-1999
CHSN 204	22/01/1998	62	810	9	3
CHSN 336	01/10/1998	64	558	14	2
CHSN 260	11/10/1998	105	548	6	2
CHSN 137	21/10/1998	150	538	8	5
CHSN 358	04/11/1998	85	524	8	2
CHSN 98	18/12/1998	93	480	8	0

Adicionalmente como complemento sobre los antecedentes previos de los pozos ensayados se puede señalar que el porcentaje de reemplazo promedio de varillas Gr. D, en cada intervención había era promedio de 80% por corrosión.

En base a la observación de campo relevada, se puede comentar:

- De las intervenciones listadas en la tabla superior, sólo una corresponde a pesca de varillas (CHSN 137). El resto fueron por otras causas (tbg, bbas, etc.). En todos los casos el % de reemplazo no superó el 10% (se hizo un reemplazo preventivo por exceso de rozamiento);
- En la primer maniobra de bajada en el pozo CHSN204, se detectó daños mecánicos del revestimiento en el cuadrado para llave por efecto de la llave de torque. En las maniobras siguientes se sacaron muestras de éstas varillas para su posterior análisis en laboratorio para observar si había corrosión preferencial. De la observación se comprobó que no existía pitting en el sustrato, el revestimiento se mantuvo intacto y se había formado una película pasivante sobre el acero “desnudo” de color negro. Por medio de EDAX se determinó que dicha película es de sulfuro de cobre;
- El mismo efecto se registró en otras muestras retiradas del mismo pozo y de otros pozos donde se registraron daños mecánicos no sólo luego de la bajada, sino por rozamiento en algunos puntos. Incluso algunas de las varillas con daños en los cuadrantes han trabajado por mas de dos años.
- La eficiencia de la protección de los centralizadores fue muy satisfactoria, ya que se pudo observar rozamiento y disminución del diámetro de los mismos;
- En algunos pozos se registró un importante rozamiento en la zona de las barras de peso y en varillas próximas a las mismas. Si bien no hubo fallas en los pozos por esto, en algunas intervenciones hubo que reemplazar varillas debido a que por el efecto del pandeo de la sarta se verificó desprendimiento local del revestimiento;

- En un caso se detectó un desprendimiento de revestimiento que sería adjudicable a un defecto de aplicación del revestimiento. Ésta fue una retroalimentación importante para la optimización del proceso;

4-4 Discusión de Resultados

En base a las observaciones de campo, análisis de laboratorios sobre las muestras y el seguimiento de los pozos, se pueden realizar las siguientes conclusiones:

- El revestimiento de bronce al aluminio probó ser eficiente en la protección predominantemente carbónica como la de los yacimientos evaluados;
- Es posible utilizar satisfactoriamente una varilla de alta resistencia en entornos corrosivos, mediante la protección con revestimiento con bronce al aluminio;
- Ante el daño localizado del revestimiento, no se produjeron fallas súbitas ni corrosión por pitting localizados. Sobre la zona dañada se produjo un depósito pasivante del acero base. De todos modos no se ha podido establecer cual es la magnitud límite del daño del que es capaz de ser efectivamente pasivado.
- Las propiedades mecánicas del revestimientos son adecuadas para adaptarse a los requerimientos mecánicos durante el servicio en el pozo y las operaciones de manipuleo en el campo;
- Se logró un aumento notable de la vida útil de las varillas, que se tradujo en una reducción del índice total de intervenciones y la casi eliminación de roturas de varillas por corrosión;
- Se determinó que el uso de centralizadores inyectados, rotadores de sartas de varillas y la optimización del diseño de la sarta usando barras de peso es fundamental para asegurar condiciones operativas adecuadas de la sarta, protegiendo la integridad del revestimiento;
- La reducción de gastos operativos logrados en los pozos (reducción del orden del 50%); se evaluó comparativamente tomando el costo de material reemplazado en las intervenciones anteriores a la instalación de varillas revestidas y horas de pulling consumidas vs. el costo de materiales y horas de pulling en la intervención de instalación y posteriores, tomando períodos de tiempo iguales (“método del espejo”)
- La ecuación económica para evaluar la conveniencia del uso de los revestimientos se independizó de los valores netos de producción de los pozos y sin tener en cuenta las pérdidas de producción;
- A la fecha hay instaladas varillas en mas de 20 pozos y se está comenzando una fase de instalación en otro 20/30 pozos mínimo;
- De la observación de performance y adecuación de los diseños se resolvió instalar en el futuro BP 11/2” y en algunos pozos colocar 5 centralizadores por varilla;
- Es importante mantener un seguimiento de las sartas (algunas migraron de pozo por mejoras extractivas) de modo de mensurar efectivamente los ahorros envueltos;

Bibliografia

- *Thermal Spraying – Practice, Theory and application*, Miami: American Welding Society, 1985;
- *Sucker Rods Specification API Spec.11B 26th Edition*, Washington: American Petroleum Institute;
- *API Recommended Practice 11BR (RP11BR) Eighth Edition*, Washington: American Petroleum Institute, October 1998
- *ASM Handbook Volume 19, Fatigue and Fracture*, 2nd Edition, Ohio 1997
- *ASM Handbook Volume 13, Corrosion*, 6th Edition, Ohio 1998