

Utilización de casing de ERFV en pozos inyectores de agua salada

D. Peralta, PESA, Neuquén, Argentina

A. Maggioni, PESA, Neuquén, Argentina

R. Garcia, PESA, Neuquén, Argentina

Resumen

En el presente artículo se detalla el ensayo de aplicación realizado al material "Casing de ERFV (Epoxy Reinforced Fiber Glass)".

El mismo consta de dos etapas: en la primera se ensayó el comportamiento del material frente a tratamientos de fractura. Para tal efecto se bombeó a través de un modelo montado en superficie el equivalente a tres fracturas y posteriormente se midió el desgaste producido por los tratamientos mencionados.

En la segunda etapa se evaluó el comportamiento del casing durante la entubación, aislación y operaciones de completación, para lo cual se perforaron, entubaron y completaron cuatro pozos inyectores del yacimiento Puesto Hernández (Argentina) utilizando casing de ERFV Ø 5 ½"

Introducción

En los últimos años, los pozos inyectores de agua salada del Yacimiento Puesto Hernández en la Cuenca Neuquina de Argentina, muestran un incremento en problemas de incrustaciones y corrosión de casing, con los costos de mantenimiento asociados y mermas de inyección. En algunos casos los problemas son tan severos que se ha llegado a perder pozos. Para mitigar el mencionado problema, y visto las conocidas y probadas propiedades de la ERFV que en este yacimiento se utiliza en tubing y líneas de conducción, se analizó la instalación de casing de este material en los inyectores. Como estos pozos necesitan de estimulaciones hidráulicas para alcanzar los niveles de inyección propuestos, y dado que en la industria no se conocen antecedentes de haber realizado fracturas a través casing de ERFV, se realizó un ensayo para evaluar la erosión que el agente de sostén produce sobre este material. Superada esta instancia, se perforaron, entubaron y completaron cuatro pozos inyectores del yacimiento Puesto Hernández utilizando casing de ERFV Ø 5 ½".

Historia

Junto con la necesidad de inyectar la totalidad de agua de producción a formación, y dado que generalmente ésta es sumamente corrosiva e incrustan-

te, surgió la necesidad de desarrollar nuevos materiales de tubulares resistentes a estos factores.

El primer componente que se reemplazó en pozos inyectores fue el tubing. Para ello se evaluaron innumerables alternativas de materiales y diseños (ERFV, acero revestido con pintura epoxi, con polietileno, etc.) Con el correr del tiempo y de acuerdo a las características de cada pozo, algunos materiales se posicionaron mejor frente a otros en función de sus propiedades.

Entre los mencionados podemos citar al ERFV que pese a sus limitadas características mecánicas es uno de los más utilizados en la Cuenca Neuquina como tubería de inyección.

Solucionado el problema en la sarta de completación, quedó por resolver el problema de corrosión e incrustación en el revestidor expuesto al agua de inyección. Para ello y considerando el camino recorrido con la tubería de inyección, se decidió focalizar el estudio a la utilización de ERFV en éste último.

Si bien existen experiencias de su utilización reportadas, las mismas fueron muy escasas y poco difundidas. No obstante algunas publicaciones tratan la evaluación del cemento detrás de este tipo de cañerías.^{1,2,5}

En la cuenca Neuquina se utilizó como revestimiento solo en diámetros reducidos (Ø 2 3/8", Ø 2 7/8" y Ø 3 ½") como completación monobore y especialmente en reentubaciones de pozos corroídos con sus cañerías de revestimiento deterioradas.

Desarrollo

1º Etapa

El objetivo de la primer etapa fue evaluar, en un modelo montado en superficie, el desgaste interior sufrido por erosión en operaciones de fractura durante la terminación de pozos.

El modelo estuvo compuesto por 2 caños casing Ø 5 ½" (Fig. 1). En el extremo de entrada de fluido al piloto se colocó un dispositivo adaptador de diámetro menor al casing (Ø 3 ½") que permitió simular el efecto de turbulencia generado por el packer de estimulación o el casing saver en caso de ser utilizado.

Se bombearon a través del mismo tres fracturas de iguales características a las de los pozos reales:

Presión:	940 psi
Caudal Promedio:	30 bpm
Concentración:	2 / 4 / 6 lpg
Fluido de Fractura:	Gel Lineal 25 lb/1000 gal
Volumen de Gel Bombeado:	6.200 gal
Arena de Fractura:	16/30
Cantidad de Arena Bombeada:	240 bolsas

Previo a los bombeos e inmediatamente después de cada uno de ellos se llevaron a cabo mediciones de diámetro interno para determinar el desgaste ocasionado. En todos los casos se tomaron tres mediciones de diámetro interno por estación a 0°, 60° y 120°.

Una vez corregidos los datos de campo se pudo observar que las pérdidas de diámetro máximas sufridas no superaban 0.5 centésimas de milímetro.

El único detalle que se pudo apreciar fue en la zona inmediatamente posterior a donde se encontraba el dispositivo de entrada. En esta sección y en una longitud de aproximadamente 30 cm., por efecto de la turbulencia allí generada, la superficie interior perdió el brillo original notándose inclusive una leve rugosidad al tacto. No obstante no se observa pérdida de material ni, como se comentó antes, pérdida de diámetro.

2° Etapa

Descripción:

Luego de verificar la aptitud del material en la 1° Etapa, se procedió a la entubación de 4 pozos inyectoros con casing de ERFV Ø 5 ½".

Los tres primeros pozos fueron entubados completamente con casing de ERFV de acuerdo al programa de ensayo (1.100 metros promedio)

El cuarto pozo se entubó con ERFV solo frente al tramo de interés (500 metros de acero y 650 metros de ERFV)

La puesta en inyección y operación de los pozos no se contempla en este artículo.

Perforación-Entubación-Cementación:

Para el diseño de la entubación se consideraron las condiciones más críticas en la vida del pozo, para ello, a pesar de ser inyectoros de agua, se verificó el pozo puesto en producción con los niveles dinámicos normales de un yacimiento maduro.

Una vez ajustado el programa técnico-operativo para las condiciones antes mencionadas, y dado que era la primera vez que se instalaba este material en Argentina, se implementaron algunas prácticas adicionales tendientes a minimizar el riesgo de entubación.

- Elección de pozos donde no se correrían registros a hueco abierto (Minimiza el tiempo de envejecimiento del pozo)
- Uso de motor de fondo y BHA estabilizado durante la perforación del pozo (Mejora la geometría del pozo)

- Desplazamiento del fluido del pozo por lodo nuevo y libre de sólidos previo a la entubación (Minimiza el riesgo de atascamiento de la tubería)
- Utilización de lubricante sólido previo a la entubación (Minimiza el riesgo de atascamiento de la tubería)
- Utilización de portamechas como lastre en la cola de la instalación (Incrementa el peso de la columna y aumenta la capacidad de maniobra en caso de atascamiento de la tubería)
- Utilización de lechadas de cemento de baja densidad para disminuir la flotación de la cañería (disminuye el riesgo de librado del ancla)

En la medida que se verificó que el diseño original era el adecuado se fueron eliminando gradualmente tales prácticas, de las cuales, en el último pozo, solamente se utilizó un portamecha como lastre por precaución.

En los cuatro pozos las entubaciones y cementaciones se cumplieron normalmente y de acuerdo a lo programado.

Luego del primer pozo se identificó al tiempo de entubación como la variable crítica a ajustar. Las características particulares del material (fragilidad, bajo peso, longitud de los caños, etc.) hicieron que los tiempos de maniobra fueran excesivamente altos en el primer pozo.

Los problemas responsables de las demoras fueron los siguientes:

- Corta longitud de los caños: Al colocar un extremo sobre la subestructura, el box queda muy alejado del elevador lo que dificulta que éste lo pueda tomar. Como solución inmediata se utilizaron sustitutos roscados para introducir cada caño en la vaina. Este fue el principal factor de demora en la operación de entubación.
- El elevador de casing convencional no es el apropiado para manipular este tipo de material. Al ser irregular el cono exterior de la unión, el elevador se clava y dificulta su liberación.
- La celda de cargas utilizada debió ser desmontada por problemas de conexión con el elevador de casing y/o amelas.

Para solucionar los mencionados problemas en los pozos siguientes se adoptaron las medidas correctivas que a continuación se detallan:

- Bandeja de entubación: solucionó definitivamente el problema de posicionamiento del caño para ser tomado por el elevador, asimismo, mejoró el trato del material evitando golpes en el manipuleo de los mismos.
- Elevador a cuñas tipo "YC" de 75 ton: Eliminó el problema de atascamiento del caño en el elevador.
- Sistema electrónico de monitoreo de parámetros disponible en el equipo de perforación: demostró ser lo suficientemente preciso para la operación de entubación, fijado del ancla y el proceso de cementación, haciendo innecesario montar elementos adicionales de medición.

El buen resultado de las medidas correctivas permitieron rápidamente reducir el tiempo de entubación de un promedio de 6.3 minutos por caño (1° pozo) a 3.7 minutos por caño (4° pozo), apenas un 5.7 % mayor al tiempo de entubación de casing de acero en las mismas condiciones. Considerando el nivel de mejora obtenido en apenas 4 pozos es lógico anticipar que en el futuro se alcanzarán fácilmente los tiempos del acero (Fig. 2)

Sin embargo vale aclarar que los caños de ERFV miden 8.88 metros, significativamente más cortos que los casing de acero "Rango 3" de 13.5 metros de longitud. Esto implica que a pesar de que los tiempos de entubación por caño son similares al acero, al aumentar significativamente la cantidad de uniones a enroscar el tiempo de entubación necesariamente aumenta.

Herramientas en la entubación: El bajo peso de la cañería de entubación (5.9 lb/ft) requiere el anclaje de la misma a formación previo a la operación de cementación. De lo contrario, por efecto de la flotación, se generan esfuerzos que además de hacer riesgosa la operación, disminuyen las capacidades mecánicas del material.

Para tal efecto y considerando que en el mercado no existía tal herramienta disponible, exclusivamente para este proyecto se diseñó y construyó un ancla de tensión de casing para fijar en pozo abierto, como así también un dispositivo de cementación compatible con la misma.

El desempeño de ambas herramientas fue muy bueno. Solo se registró una falla en el dispositivo de cementación. Al respecto se hicieron las pruebas dimensionales y de banco, siendo ambas satisfactorias, por lo tanto se concluyó que el problema no fue mecánico de la herramienta, sino atribuibles a una posible obstrucción del mecanismo de accionamiento de la herramienta por algún sólido en el pozo.

La centralización se realizó con elementos de fleje fijados a la cañería mediante stop rings tipo abrazadera (no se utilizaron con prisioneros buscando no dañar la fibra de vidrio)

Perfiles a pozo abierto: Para conocer el comportamiento de los perfiles de pozo abierto en pozos entubados con ERFV, se registraron los mismos en tres pozos tanto en abierto como en entubado.

La respuesta del perfil de resistividad fue muy buena. Con respecto a los perfiles de porosidad, el comportamiento de los perfiles sónicos fue aceptable, en tanto que el perfil Neutron no mostró una buena correlación.³

La importancia de esto tiene dos connotaciones importantes:

- Al eliminar el perfilaje a pozo abierto se disminuye el tiempo de equipo de perforación en prácticamente un día, ya que además del tiempo neto de operación de la compañía de cable, no es necesaria la carrera de calibre.
- El hecho de poder correr perfiles de resistividad a pozo entubado en pozos productores permite realizar un monitoreo del avance del frente de agua durante la vida del pozo.

A partir del segundo pozo se utilizaron anillos de

acero adheridos exteriormente al casing con la finalidad de actuar como marcadores referenciales (al igual que las cuplas en el caso de casing de acero) a la hora de punzar. Recordemos que la herramienta CCL no registra ninguna inflexión en el casing de ERFV.

El perfil inductivo a pozo entubado mostró importantes alteraciones entorno a los mencionados anillos ya que en ellos, al ser espiras cerradas, se inducen corrientes eléctricas que afectan la respuesta del perfil, por lo que en próximos pozos el problema se salvaría cambiando el diseño de los marcadores por elementos que no generen dichos circuitos cerrados.

Cementación: En los dos primeros pozos se utilizó una lechada alivianada con microesferas huecas con la finalidad de disminuir al mínimo la flotación de la cañería de entubación. En el tercer y cuarto pozo se usaron lechadas prehidratadas con bentonita mediante las cuales se disminuyó notablemente el costo, alcanzando prácticamente el de las operaciones convencionales del área. En este último caso se aumentó la densidad hasta un valor razonable sin correr riesgos el anclaje de la cañería a formación.

Completación:

Los cuatro pozos entubados con cañería de fibra de vidrio fueron completados y puestos en inyección tal cual lo programado.

Los programas de completación en estos pozos contemplaban la prueba de admisión de cada capa y en función de ello se definía si se estimulaba o no. Los tratamientos de estimulación utilizados fueron acidificaciones con HCL al 15 % y fracturas hidráulicas.

Evaluación de cemento: Existe escasa literatura acerca del comportamiento de las herramientas de evaluación de cemento en pozos entubados con cañería de fibra de vidrio.^{1,2,5}

El paper SPE 4066 (1972)¹ menciona que el tiempo de tránsito en el caño de ERFV es de aproximadamente 90 microsegundos por pie, más lento que la mayoría de las formaciones, por lo que su interpretación sería poco confiable.

El paper SPE 18143 (1988)² habla del uso del perfil CET o PET para interpretar la presencia o no de cemento detrás de la cañería.

Algunos fabricantes de casing de fibra de vidrio, en referencia a los mencionados papers realizan recomendaciones pero sin definir la forma de obtener con certeza la adherencia de caño al cemento y del cemento a formación.

Por lo antes comentado se decidió correr perfiles CBL-VDL y Ultrasónico para observar el comportamiento de ambas herramientas. A pesar de que en todos los casos se podría interpretar como buena adherencia caño-cemento-pozo, se debe estudiar el tema en conjunto con las compañías de servicio especialistas en logging. No obstante vale aclarar que en ninguna de las fracturas realizadas se evidenció comunicación entre las capas estimuladas.

Punzado: A diferencia del punto anterior, algunos fabricantes de este material tienen sobrados antecedentes en punzado de cañería de ERFV.

No obstante se realizó un ensayo en superficie para evaluar el comportamiento del material al cañoneo con las cargas de uso habitual en estos yacimientos.

Para tal efecto se prepararon tres trozos de casing de fibra de vidrio Ø 5 ½" de 1.5 metros de largo encamisados y cementados dentro de sendos casing de acero Ø 9 5/8"

Los cañones ensayados en cada uno de ellos fueron: Cañón Ø 4" 4TPP 22 gr. (en dos de ellos) y Cañón Ø 4" 6TPP 32 gr. (alta penetración)

El ensayo se llevó a cabo en el polvorín de una compañía de cañoneo, para lo cual se colocaron los trozos de casing de a uno por vez en un recinto preparado para tal efecto.

El disparo con el cañón de alta penetración se realizó en seco y los dos restantes (4TPP 22 gr.) se realizaron con el casing lleno de agua.

El resultado de la experiencia fue satisfactoria para todas las muestras, sin embargo se observó que el disparo con el cañón de alta penetración produjo el desprendimiento de algunos filetes de fibra de vidrio superficiales, atribuibles en parte a no haber sido disparado en agua, al mayor poder de las cargas detonadas y a que en este caso el cañón no poseía tapas lo que genera una rebaba importante en el orificio de salida de las cargas que daña la superficie del casing.

En el caso de las detonaciones con cañones de 4TPP 22 gr. no se observaron anomalías en el casing perforado.

Vale la pena mencionar que en todos los casos los cañones se dispararon en condiciones por demás adversas ya que si bien dos de ellos se cubrieron con agua, la misma solo cubría al cañón en unos 20 cm. Los cañones tenían una longitud de 1 m y no tenían protectores en sus extremos lo que, por su corta longitud, favorece el impacto del borde cóncavo del cuerpo del cañón contra el casing.

En la Figura 3 se puede observar el estado en que quedaron los testigos después de los ensayos.

En las operaciones de punzado en campo no se observaron anomalías. Sin embargo, en varias oportunidades, después de punzar hubo inconvenientes para correr la canasta calibradora previo a la fijación de tapones WG a cable.

Considerando que al realizar una maniobra de calibre con cañería no se observa arrastre alguno y que en la canasta se encontraron restos de fibras similares a las que se apreciaron en el ensayo, la solución sería realizar la maniobra de calibre con una canasta modificada (similar a una herramienta cortadora de WL) y bajada con suficientes barras de peso para que no se quede en la zona punzada.

Fractura: Previo a la implementación del proyecto y considerando que las completaciones se estimulan mayormente con fracturas hidráulicas, se realizó la primer etapa de este artículo, en la cual se determinó que el desgaste interior producido durante la ejecución de una fractura es insignificante.

En los 4 pozos completados se realizaron un total de 3 estimulaciones ácidas y 8 fracturas. Los tratamientos se realizaron con total normalidad.

En el primer pozo, intervenido con Rig Less, se realizó la primer fractura por casing de ERFV desde superficie (Capa D de Formación Agrio)

En el mismo pozo, la fractura de Capa H se suspendió al observarse altas presiones en la prueba de admisión. La misma se realizó con tubing y packer por precaución.

El resto de las completaciones, por no disponer del equipo Rig Less, se realizaron con equipo de Work-Over y los tratamientos fueron efectuados con tubing y packer (Cuadro 1)

En el segundo pozo al fracturar la capa D se corrió el packer (ver comentario en Herramientas de ensayo y estimulación)

Herramientas de ensayo y estimulación: La herramienta seleccionada para realizar las pruebas de inyección y estimulaciones fue un packer mecánico de doble agarre.

A pesar que se presentaron algunos inconvenientes en la utilización de éste, los mismos fueron solucionados por lo que podemos concluir que la experiencia fue totalmente satisfactoria.

Los dos inconvenientes detectados fueron:

- Dificultad en la fijación del packer
- Falla durante una fractura (se corrió)

El primero de ellos se presentó prácticamente en todos las maniobras lo que motivó que en muchas de ellas hubiera que reemplazar la herramienta.

Analizado el problema se concluyó que el mecanismo del packer doble agarre se bloqueaba con restos de fibra de vidrio provenientes probablemente de los punzados.

Como medida correctiva se reemplazó el packer por otro modelo (packer doble agarre de cuñas separadas) El mismo, con un mecanismo de fijación diferente (con J en lugar de segmentos) no presentó problema alguno en el pozo en que se utilizó.

Con respecto al corrimiento del packer durante la fractura, se analizó la misma y se comprobó que en el tratamiento se superaron las 30.000 libras de fuerza hacia arriba.⁴

Como medida correctiva se recalcularon los esfuerzos y se corrigió el problema aplicando más peso inicial al packer.

Adicionalmente se detectó que al ser las mordazas diseñadas para anclar en acero, éstas poseen una alta densidad de filetes lo que produce una suerte de empastamiento al fijar en fibra de vidrio. Esto también pudo haber contribuido al corrimiento de la misma.

Por tal motivo y considerando el cambio de diseño de packer se rediseñaron mordazas con menor densidad de filetes.

Instalaciones:

Actualmente en los pozos inyectoros de agua se usan dos tipos de instalaciones:

- **Globales:** Tanto en pozos a formación Agrio como a Rayoso, cuando no hay necesidad de diferenciar la inyección capa por capa y con la

finalidad de no dañar por corrosión la parte superior del casing, se utiliza un packer sobre el último punzado, conectado a superficie mediante tubing de material resistente a la corrosión (generalmente de fibra de vidrio)

- **Selectivas:** Cuando es necesario independizar la inyección en diferentes niveles, se utilizan dos o más packers con sendos mandriles de regulación. Al igual que en el caso anterior están vinculados a superficie mediante tubing.

A fines del 2002, se ensayó el comportamiento de un packer doble agarre con cuñas bidireccionales en casing de ERFV con y sin respaldo de cemento.

En tal oportunidad se aplicaron hasta 20.000 lbs de peso y 30.000 lbs de tensión sin observarse anomalías en la operación. Analizadas las improntas generadas en el interior de los mismos tampoco se observaron daños anormales.⁴

En base a esta experiencia se programó la instalación para ser anclada mediante packers doble agarre con cuñas bidireccionales en el cuerpo de los caños de ERFV, no obstante y hasta tanto se confirme en campo la experiencia mencionada se instalaron en todos los pozos nipples Ø 5 ½" de acero inoxidable por sobre el último nivel de interés para anclar en él las herramientas de fijación en caso de tener problemas al fijarlas en la fibra de vidrio.

Los elementos de la instalación de inyección utilizados (packer, on-off, mandriles, etc.) fueron los convencionales.

Tres de los cuatro pozos completados quedaron inyectando en forma global a formación Agrio. En uno de ellos, aprovechando que el mismo fue entubado completamente con fibra de vidrio, se lo dejó en inyección por casing desde superficie. Para ello se construyó un cabezal de acero inoxidable que permitió la continuidad de material resistente a la corrosión.

De esta manera, en los pozos que transitoria o definitivamente inyecten en forma global se consigue un sensible ahorro tanto en los materiales de la instalación de inyección como en futuros mantenimientos de la misma.

En el segundo pozo se bajó instalación selectiva (dos packers hidráulicos y uno de copas) para independizar la inyección de las formaciones Agrio de Rayoso.

En la instalación de inyección, tal cual se viene utilizando en pozos revestidos con acero, se colocó sobre el packer de anclaje inferior una unión On-Off sin jota con la finalidad de facilitar la recuperación del packer superior, evitando la realización de un corte en la tubería en caso de producirse incrustaciones frente a la zona de inyección.

En la fijación de la instalación se detectaron fallas en el anclaje de los packers hidráulicos

- El packer hidráulico superior se desplazó hacia arriba en la prueba de tensión posterior a la fijación.
- El packer hidráulico inferior se desplazó hacia abajo al presurizar la instalación con 3.000 psi para empaquetar la misma.

Para solucionar el problema se cambió tempora-

riamente el diseño de la instalación, retirando el On-Off sin jota para que al empaquetar los elementos de sello, los esfuerzos se compensen y no se corran los packers.

Del análisis realizado a posteriori se presume que el corrimiento de las herramientas se debe a que en éstas se utilizan cuñas diseñadas para trabajar en acero. Por lo tanto como medida correctiva a futuro se cambiarán las mismas utilizando un diseño especial para anclar en ERFV (menor densidad de filetes)

Costos:

La utilización de casing de fibra de vidrio en la entubación de inyectores, implica cambios en la estructura de costos del pozo tipo perforado y terminado.

En el proyecto original se consideró la entubación de los cuatro pozos con casing de ERFV desde fondo hasta boca de pozo. En tal caso se estimó que el incremento de costo total del pozo alcanzaría el 11.5 % (Cuadro 2)

Perforados y completados los mismos, se recalcularon tres pozos tipo reales:

I. Pozo entubado desde boca de pozo hasta el fondo con casing de ERFV con instalación de inyección (100 % ERFV C/Inst)

II. Idem Pozo Tipo I sin instalación de inyección (100 % ERFV S/Inst)

III. Pozo entubado con fibra de vidrio sólo frente a las formaciones productivas (Pozo MIXTO)

En los tres casos se considera que los pozos no se perfilan a pozo abierto por lo que se contempla el costo del perfil pero no el del tiempo de equipo relacionado.

Considerando el Pozo Tipo I (proyecto original) el costo real superó lo programado en un 2.3 %. Sin embargo, es predecible que si se le da continuidad al proyecto ésta diferencia tenderá a desaparecer.

En la Figura 4 se presenta la evolución de los costos de perforación, donde se ve claramente que, a pesar de estar por encima del AFE, la curva de aprendizaje no ha llegado a su fin.

En la Figura 5 se presenta la evolución de los costos de terminación. En la misma no se aprecia una mejora en el tiempo dado la disparidad de operaciones entre pozo y pozo. Sí se ve claramente el alto costo del segundo pozo, el cual tuvo problemas en una de las fracturas y en el anclaje de la instalación final. No obstante es fácil visualizar que si descartamos el costo del mencionado pozo, el valor alcanzado está en el orden del AFE.

Analizando las tres alternativas presentadas, resulta muy interesante observar que si bien en el pozo entubado con el 100 % de ERFV el costo de la fase perforación es mayor, en el caso en que la inyección es global, se puede prescindir de la instalación de inyección (tubing, packers y accesorios). De esta manera el costo total del pozo pasa a ser menor que el pozo MIXTO, superando al pozo convencional solamente en un 6.3 %.

Cabe aclarar que en ninguno de estos cuadros se contempló el costo de la protección catódica que en el caso de entubar con 100 % de ERFV sería

innecesaria.

En base a todo lo antes mencionado el incremento de costo por pozo perforado, terminado y equipado es inferior al costo de una intervención para reparar un casing roto o una intervención para adecuar un inyector incrustado y corroído.

Conclusiones

Principal

- El casing de ERFV es aplicable al revestimiento de pozos inyectores de agua salada.
- Su uso implica un costo adicional inicial de entre 6.3 y 13.8 % respecto a los pozos entubados con casing de acero.
- A pesar del costo adicional, el uso de ERFV es más rentable que el uso de cañería de acero.
- El éxito de la instalación de este tipo de revestimientos radica en la capacitación del personal involucrado. El mismo debe recibir entrenamiento para realizar correctamente las maniobras y dar un trato apropiado al material.

Perforación-Entubación-Cementación

- Las operaciones de entubación y cementación se realizaron de acuerdo a lo programado sin detectarse desvíos atribuibles al uso del material ensayado
- En todos los pozos la entubación se realizó sin arrastre a pesar del poco peso de la cañería de ERFV. (En los primeros pozos se agregó lastre adicional el cual se fue disminuyendo gradualmente)
- Los tiempos de entubación por caño de ERFV prácticamente igualaron a los de los caños de acero. No obstante el tiempo de entubación total es mayor debido a que la longitud de los mismos es inferior a los de acero.
- El ancla de tensión, diseñada especialmente para esta operación, para evitar la flotación de la cañería en el momento de la cementación, funcionó de acuerdo a lo programado, no observándose corrimiento luego de su fijación.
- El registrador electrónico de peso del equipo de perforación, demostró ser lo suficientemente preciso para la operación de entubación, fijado del ancla y el proceso de cementación, haciendo innecesario montar elementos adicionales de medición.
- Los coeficientes de estiramiento como los pesos calculados por el proveedor concordaron con los registrados en la operación.
- El uso de casing de ERFV permite correr perfiles de pozo abierto a pozo entubado, disminuyendo el tiempo de equipo de perforación en un día como así también los riesgos operativos durante este lapso. En el caso de usarse ésta cañería en pozos productores, permitiría el monitoreo del avance del frente de agua durante la vida del pozo.
- La buena predisposición del personal de la compañía de torre, como el de la de estimulación y herramientas facilitó la solución de los

inconvenientes normales de la aplicación de una nueva tecnología.

Terminación

- El casing Ø 5 ½" ERFV sometido al bombeo de fluidos de fractura sufre un desgaste por erosión ínfimo que no compromete la vida futura del material en el pozo.
- La zona que se encuentra inmediatamente después del dispositivo de entrada de fluido (Packer o Casing Saver) es la única que presenta algún efecto producido por el bombeo. Se pudo observar en dicha zona que el material perdió el brillo natural debido a la turbulencia allí producida
- Los pozos entubados con casing de ERFV fueron terminados con éxito de acuerdo a los programas de completación respectivos.
- Las presiones máximas de fractura merecen un estudio detallado en la programación de las terminaciones ya que de éstas depende la ejecución de las mismas por casing o tubing.
- No se cuenta a la fecha una interpretación clara de la respuesta de los perfiles tradicionales de evaluación de cemento en pozos entubados con ERFV. Se debe trabajar en conjunto con las principales compañías de cable en su desarrollo.
- El diseño de la lechada cementadora fue acertado ya que permitió la ejecución de las maniobras de entubación y cementación (baja densidad) como así también una correcta aislación entre las capas (en ninguna fractura se comunicaron las presiones)

Instalaciones

- Se fijaron dos instalaciones de inyección globales y una selectiva. El restante quedó inyectando por casing, sin instalación.
- En el caso de pozos con inyección global permite inyectar desde boca de pozo, eliminando tanto el costo de la instalación (tubing, packer y accesorios) como el mantenimiento de la misma.

Referencias

1. Bowers, J.H.: "Cemented Fiber Glass Tubulars for Downhole Well Applications", SPE 4066 (Oct. 1972)
2. Maki, Jr.: "Cement Bond Logs of Fiberglass Casing", SPE 18143 (Oct. 1988)
3. Krittian, A.: "Resultados de Perfilaje a Pozo Entubado con ERFV - Fm. Agrio UTE – PUESTO HERNÁNDEZ", PESA Informe Interno (Feb. 2005)
4. Petroplastic-Weatherford: "Evaluación técnica del comportamiento del casing Petroplastic con el uso de packer mecánico de doble agarre" (Nov. 2002)
5. Rambow F. H. K.: "Cement Evaluation in Fiberglass Casing", SPWLA Twenty-Ninth Annual Logging Symposium (Jun. 1988)

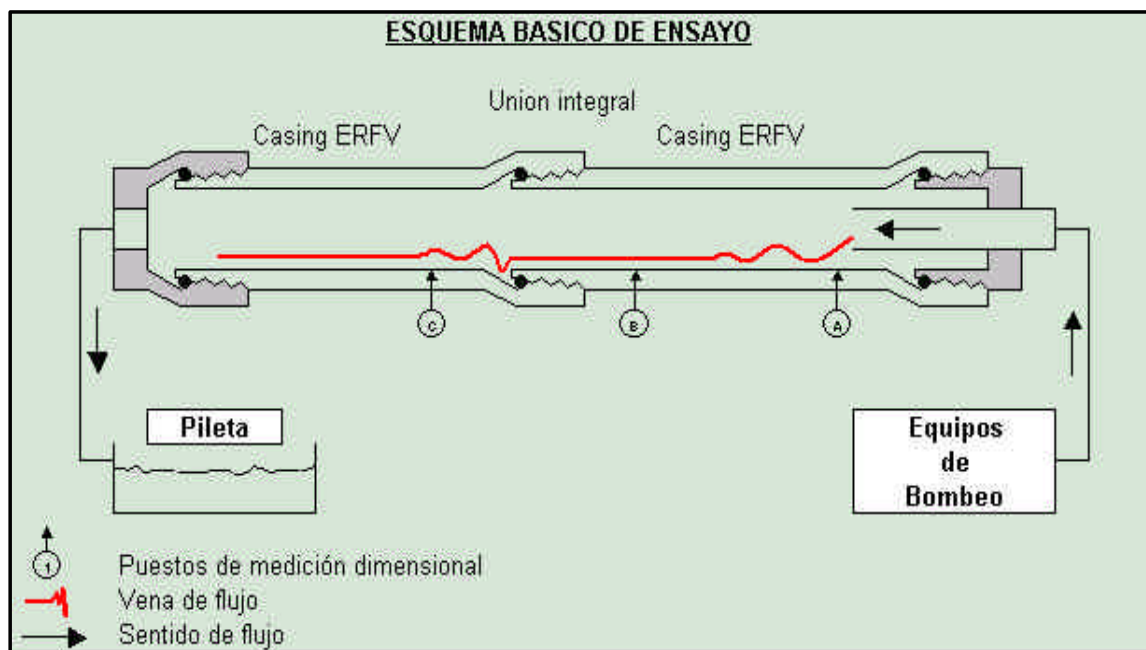


Fig. 1: Esquema básico de ensayo

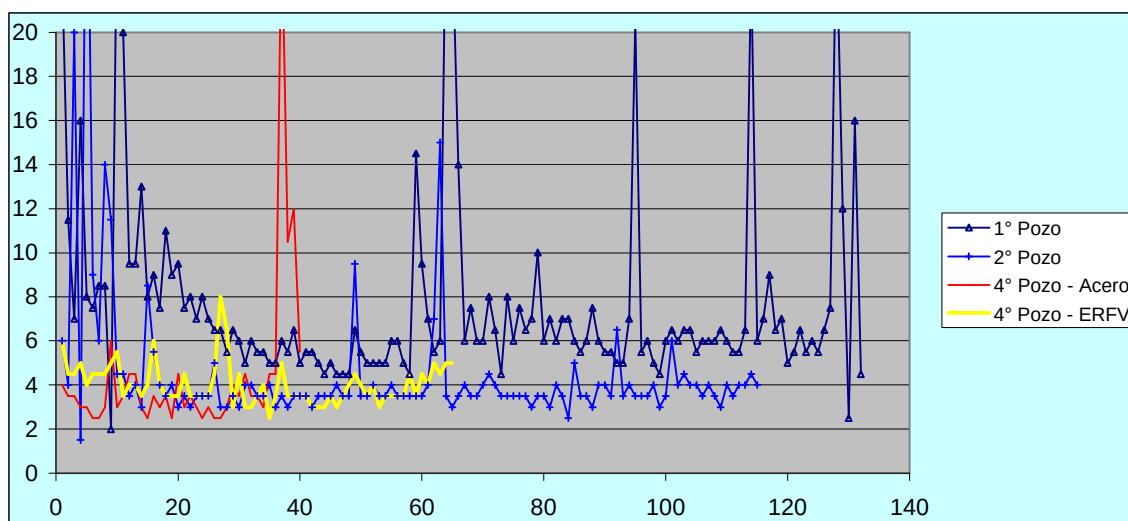


Fig. 2: Tiempos de entubación



Fig. 3: Interior cañoneado con Cañón Ø 4" 4 tiros por pie, 22 gr.

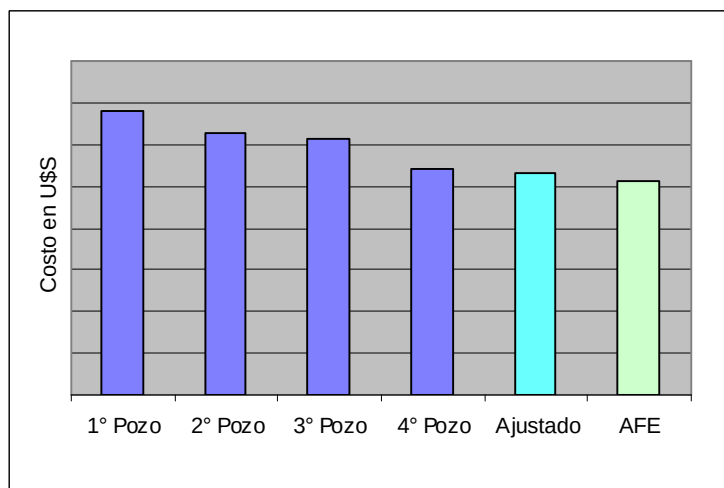


Fig. 4: Costos de perforación

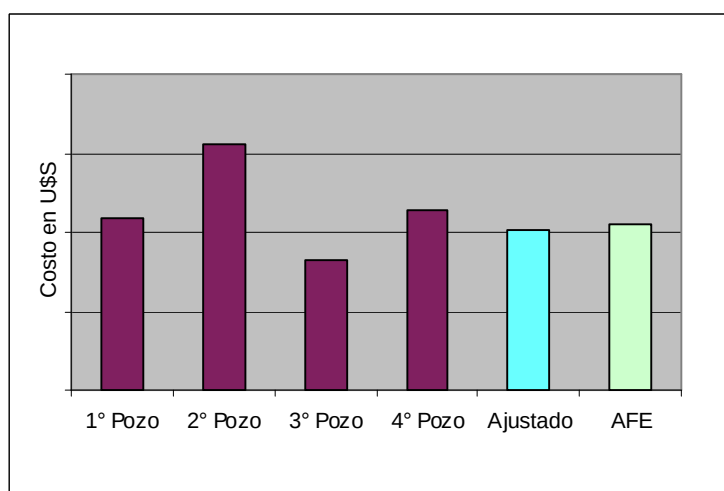


Fig. 5: Costos de completación

Pozo	Equipo	Frac p/CSG	Frac p/Tbg	Acidos
1° Pozo	Rig Less	1	1	1
2° Pozo	WO		3	1
3° Pozo	WO		1	1
4° Pozo	WO		2	

Cuadro 1: Estimulaciones realizadas

PROYECTO		REAL		
Pozo Tipo	AFE ERFV	100 % ERFV C/Inst	100 % ERFV S/Inst	Pozo MIXTO
-	11.5%	13.8%	6.3%	10.5%

Cuadro 2: Costos incrementales en % respecto al pozo tipo con casing de acero