

CASO DE APLICACIÓN DE NUEVA GENERACIÓN DE POLÍMEROS EN KOLUEL KAIKE Y PIEDRA CLAVADA, CUENCA DEL GOLFO SAN JORGE

ABSTRACT:

Se presenta un caso de aplicación de un nuevo diseño de molécula polimérica, Bright Water. El objetivo es mejorar la eficiencia de barrido en proyectos maduros de recuperación secundaria, en este caso en los yacimientos Koluel Kaike y Piedra Clavada de la Cuenca del Golfo San Jorge.

Se describe el mecanismo del proceso y los criterios de selección de los reservorios y los pozos candidatos para la aplicación de la mencionada tecnología.

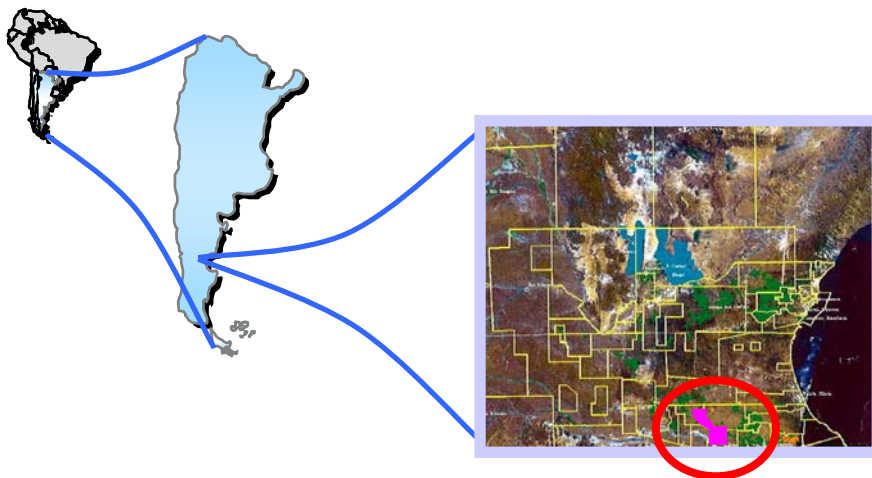
Se detallan aspectos teóricos y prácticos del diseño del piloto de inyección de este polímero. Adicionalmente se provee información sobre aspectos de logística y operativos.

Por último se muestran datos actualizados de los resultados obtenidos a la fecha de presentación de este trabajo.

INTRODUCCIÓN:

Los yacimientos Piedra Clavada y Koluel Kaike se encuentran ubicados en el flanco sur de la cuenca del Golfo San Jorge, Argentina, al norte de la provincia de Santa Cruz.

Estos yacimientos, operados por Pan American Energy LLC, fueron descubiertos en la década de 1960. Los proyectos de secundaria por inyección de agua comenzaron en la década de 1980.



Ubicación de Koluel Kaike y Piedra Clavada

La producción por recuperación secundaria en estos yacimientos se caracterizó, desde sus comienzos, por rápidas irrupciones de agua, característica de la desfavorable relación de movilidad y escasa eficiencia de barrido. Esto ha llevado a pensar en la aplicación de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia de la recuperación. Entre las alternativas analizadas, se está evaluando la utilización de polímeros.

La aplicación de polímeros convencionales, como medio de mejorar la eficiencia del barrido por inyección de agua, tiene una larga historia de aplicación con resultados variados en diversas partes del mundo. En general, estos polímeros son derivados de la poliacrilamida, con evoluciones para reducir o eliminar los efectos nocivos de la destrucción de la molécula por efectos mecánicos y/o químicos.

Bright Water también es una molécula polimérica altamente expandible por efecto de una reacción de hidrólisis (popping). Este producto es el resultado de una investigación conducida por el consorcio de empresas conformado por Mobil - BP - Chevron Texaco – Nalco.

El propósito detrás de esta tecnología es el de producir un taponamiento en profundidad de zonas altamente barridas de la formación, mediante la modificación del modelo hidráulico de flujo. Sin embargo, a diferencia de otras tecnologías que han perseguido el mismo objetivo, Bright Water ha demostrado que logra penetrar profundamente en el reservorio sin los inconvenientes de pérdida de inyectividad asociados a las características propias de los polímeros convencionales y que la reacción se produce en forma controlada.

La primera aplicación de esta tecnología se realizó en Noviembre de 2001 en el Campo Minas, en Sumatra, Indonesia, con buenos resultados según se comentará mas adelante en la sección “Primeras Pruebas de Campo”. Desde esta fecha, se han instalado otros tres pilotos en distintas partes del mundo.

Esta tecnología se percibe como de excelente potencial de aplicación en las formaciones productivas de la cuenca del Golfo San Jorge, lo que impulsó a evaluar la factibilidad de su aplicación mediante la instalación de un piloto involucrando dos o tres inyectores de los yacimientos mencionados.

El presente trabajo resume los antecedentes de esta tecnología, los lineamientos básicos del diseño de la aplicación en pozos de la cuenca del Golfo San Jorge y describe también aspectos prácticos de la implementación.

PROBLEMÁTICA, DESARROLLOS PREVIOS

La inyección de agua para la recuperación de petróleo en la cuenca del Golfo San Jorge conlleva la alta producción de agua y los problemas asociados a ella. Como se mencionó anteriormente, la irrupción temprana y los altos porcentajes de agua, son el síntoma de la escasa eficiencia del proceso de recuperación. Esta ineficiencia del barrido puede deberse a:

- La anisotropía de permeabilidad, propia de los reservorios heterogéneos de la cuenca,
- La relación de movilidad desfavorable por las características de los fluidos, o
- Una combinación de los motivos anteriores.

Es decir, el agua puede fluir del pozo inyector al productor invadiendo el mismo a través de caminos de mayor permeabilidad pudiendo interdigitarse entre el petróleo de baja movilidad.

Desde principios de la década de 1960, la inyección de polímeros de alto peso molecular se aplicó como medio de mejorar las relaciones de movilidad. Esta tecnología es aplicable en formaciones con muy alta inyectividad. Sin embargo, la alta viscosidad de las soluciones de polímero reduce la inyectividad hasta el punto tal que no es posible alcanzar los caudales de inyección necesarios, siendo esto la causa del abandono de pozos inyectores y la correspondiente perforación de sus reemplazos.

También existen otros problemas de aplicación práctica de esta tecnología como la poca resistencia al corte de los polímeros, que provoca la rotura de la molécula, reducción de la viscosidad de la solución y pérdida de eficiencia de la aplicación, entre otros.

Otra evolución en el uso de polímeros es la de producir un taponamiento selectivo de los caminos habituales del flujo y así intentar inundar aquellos que permanecen todavía con alta saturación de petróleo. Sin embargo, en general la aplicación de esta metodología no pudo penetrar más allá de los 5 metros de la cara del inyector, y por ende el tratamiento fue demasiado pequeño para producir cambios significativos en el modelo de flujo.

Modelos de laboratorio demostraron que para lograr mejorar la eficiencia de barrido, la barrera que se requiere debe ser significativa en tamaño y ubicada en forma ortogonal al pozo.

Se desarrollaron y aplicaron distintas tecnologías y/o variantes de las mencionadas. Así, se aplicaron con cierto éxito la inyección alternada de tapones de polímeros sintéticos, con moléculas ligadas mediante productos tales como sales de aluminio. Se los denomina vulgarmente, polímeros "croslinkados". Sin embargo, la alta viscosidad de las soluciones de estos polímeros, y la absorción del agente ligante en la roca, ocasionan que no se pueda predecir ni controlar con exactitud el lugar y tiempo de formación del gel obturante.

Una evolución moderna de los anteriores son los DDG (Deep Diverting Gels), desarrollados para mejorar el control de las reacciones químicas y el posicionado del producto en el reservorio. En este caso, la mezcla del polímero con el ligante se realizó en condiciones muy controladas en laboratorio, y

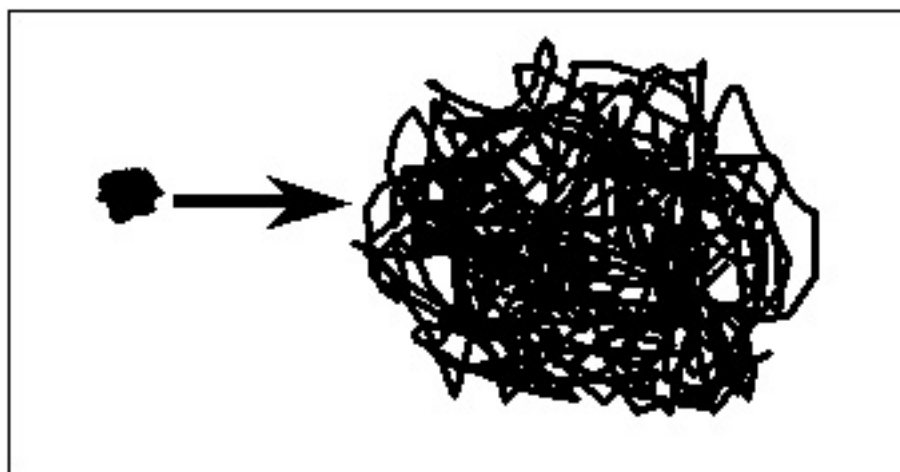
aunque el croslinking se produjo, el gel tardó demasiado tiempo en producirse. Aunque con cierto éxito en laboratorio, un ensayo de campo demostró cierta modificación de los patrones de flujo, pero la mejora fue prematura y no duró mucho tiempo. Se estimó que la pérdida del agente ligante fue el factor limitante y que la modificación de la permeabilidad se produjo básicamente en la zona de inyección.

Otro producto alternativo son los CDG (Colloidal Dispersión Gels), que se relacionan con los DDG en que son una mezcla de polímero con agente ligante. El mayor limitante de esta tecnología aún parece ser la dificultad de penetrar profundamente en la formación.

DESARROLLO DE UNA NUEVA TECNOLOGÍA

El objetivo de Bright Water no es muy distinto del de otros productos. Esto es, desarrollar un sistema que modifique el patrón de flujo bloqueando zonas de alta permeabilidad en profundidad en el reservorio, obligando al agua inyectada a inundar zonas no barridas previamente. Sin embargo, a diferencia de los precursores, en su desarrollo se tuvo especialmente en cuenta que no hubiera posibilidad de separación de los componentes, que no fueran afectados por efectos físicos y/o químicos y que se pueda tener control de la reacción.

El efecto de la aplicación de polímero en profundidad como elemento de recuperación asistida puede verse gráficamente en la siguiente figura. Esta es una representación gráfica que permite relacionar el tamaño de las moléculas poliméricas antes y después de la reacción de hidrólisis.

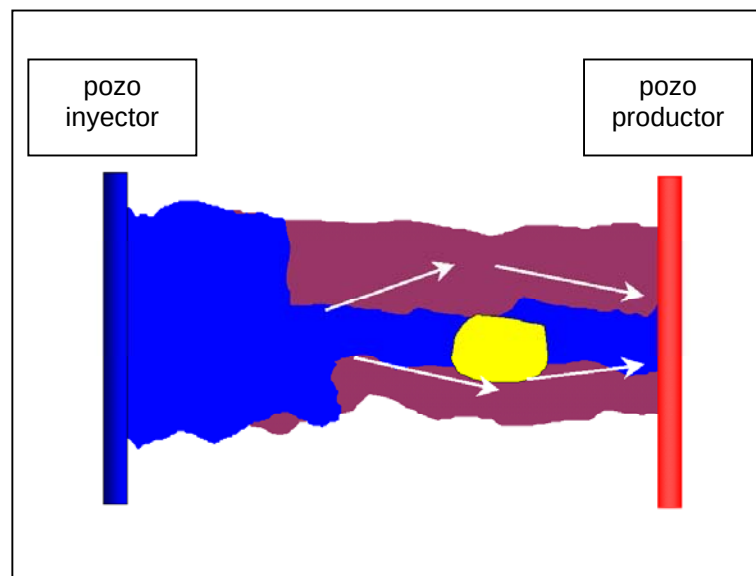


Esquematación del efecto “popping” del polímero

El desarrollo de la tecnología Bright Water contempló las siguientes condiciones consideradas necesarias para el logro de los objetivos:

- Producto aplicable en forma sencilla, sin problemas de separación por absorción.
- Tiempo de desarrollo del gel obturante (popping) predecible a priori por ensayos de laboratorio y reproducible a escala de reservorio.
- La viscosidad del tratamiento debe mantenerse lo más cercana al agua posible, a efectos de evitar cambios en la inyectividad por cambios en la viscosidad.
- Se buscó una tecnología de bajo costo.
- El desarrollo del gel debe ser catalizado por cambios propios del reservorio y/o los fluidos (por ejemplo temperatura o características del agua).

Básicamente Bright Water se compone de un polímero de extremadamente alto peso molecular inyectado en forma de partículas sólidas dispersas capaz de propagarse a través de un medio poroso con el agua de inyección. Una vez en el reservorio, y por efecto de la temperatura, se produce una reacción de hidrólisis (popping) aumentando su volumen considerablemente – mas de 10 veces su tamaño inicial- bloqueando gargantas porales. De esta forma se logra el objetivo de obturar poros “preferenciales” y obligar al agua a inundar zonas deficientemente barridas.



Esquematización del efecto del polímero en el flujo del agua inyectada

Durante el desarrollo del polímero se realizaron diversos ensayos de laboratorio, entre los que cabe mencionar:

- Ensayos de botella: en este caso se estudia la variación del tamaño de partícula y de la viscosidad en el tiempo de soluciones (dispersiones) de los distintos productos ensayados.
- Ensayo de inyectividad: se efectúan ensayos utilizando testigos de hasta 5 pies con altas velocidades de fluido para simular los esfuerzos de corte propios de la inyección en formación.
- Ensayos de propagación: se efectúan ensayos de propagación usando tubos delgados de arena empaquetada de hasta 66 pies de largo, a velocidades de avance de 1 a 3 pie/día, confirmándose la buena inyectividad del tratamiento sin modificación de la viscosidad en el período previsto.
- Ensayo de expansión: se construyeron tubos finos rellenos de arena con transductores de presión en distintos puntos y se efectuaron ensayos de aplicación en laboratorio para ver la modificación de las presiones a lo largo del tubo, ratificándose los valores de tiempos de expansión previstos por los ensayos de botella. Se ensayan los efectos de distintos factores tales como pH, temperatura, concentración de partículas, y salinidad en los tiempos de expansión. Estos ensayos demostraron que la expansión de las partículas puede demorarse hasta que las mismas han viajado profundamente en el reservorio.

PRIMERAS PRUEBAS DE CAMPO

Los primeros ensayos de aplicación de esta tecnología fueron efectuados en Campo Minas, Sumatra, y luego en el Mar del Norte, demostrando su factibilidad operativa y resultados atractivos en cuanto al costo del barril incremental de petróleo. Posteriormente se efectuaron otras aplicaciones en Alaska con muy buenos resultados. Además de estos pilotos en marcha, existen otros cinco pilotos a ejecutarse en el transcurso del 2006 en diversas partes del mundo, entre ellos Koluel Kaike y Piedra Clavada, en la cuenca del Golfo San Jorge.

Como resultado de la aplicación de Bright Water se observan inicialmente cambios en los patrones de flujo reflejados en cambios de presiones, caudales, relaciones agua-petróleo y tiempos de tránsito del agua inyectada. Como ejemplo, en la tabla se muestran los cambios en los tiempos de tránsito en la aplicación efectuada en Campo Minas (SPE84897).

Pozo	Tiempo de tránsito pre tratamiento (días)	Tiempo de tránsito post tratamiento (días)
6E-97	43	115
7E-13	70	43
7E-23	30	18
6E-87	>180	108
6E-98	>180	115
7E-24	>180	122

Estimaciones efectuadas sobre la base de estudios de laboratorio permiten predecir que la recuperación de petróleo incremental por aplicación de esta tecnología puede alcanzar hasta un 10 % del Petróleo Original In Situ, lo que implica un notable incremento de la eficiencia de barrido.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE CANDIDATOS

Para la selección de los reservorios y mallas candidatas a la aplicación de esta nueva tecnología se deben considerar los siguientes aspectos:

- Reservas de petróleo remanente con suficiente volumen para asegurar la rentabilidad de la aplicación,
- Rupturas de frente de agua prematuras, como indicativo de la ineficiencia del barrido,
- Producción con alto porcentaje de agua, ídem anterior,
- Direcciones preferenciales de flujo, ídem anterior,
- Tiempos de tránsito inyector-productor mayor a 30 días, para asegurar el control del proceso,
- Historia de inyección por capas confiable, que permita estimar balance de materiales y pronóstico de recuperaciones,
- No tener excesiva cantidad de capas por inyector (no más de 4 o 5 capas), de manera que el tratamiento en alguna/s de ella/s tenga la magnitud suficiente y que la respuesta pueda ser detectada y medida.
- Control del modelo geológico, consistente con el modelo de flujo y asegurar no existen zonas compartimentalizadas por causas estructurales y/o estratigráficas.
- La inyectividad debe ser compatible para que la operación, la inyección del polímero, se pueda desarrollar por debajo de la presión de fractura de la formación.

Otros factores a considerar en cuanto a la calidad del agua de inyección son:

- pH y salinidad del agua de inyección y de producción,
- Cantidad y calidad de los sólidos disueltos,
- Contenido bacteriológico,
- Temperaturas dentro de un rango de 50°C y 150 °C, y
- Rango de concentraciones de iones como Hierro, Magnesio y Zinc

En cuanto a las instalaciones de superficie deben asegurarse los recursos para segregar y controlar los productores asociados al piloto. También se deberá prever la compatibilidad entre el instrumento o la metodología de medición y la magnitud del cambio esperado como respuesta a la aplicación. Además, tener en cuenta que seguramente será necesario aumentar la frecuencia de controles, especialmente durante los primeros meses posteriores al tratamiento.

Con respecto a las instalaciones de fondo, es importante destacar que el bombeo del tratamiento puede realizarse directamente a través de la instalación selectiva (con packers y mandriles) dejando abierta la zona de interés y cegando los mandriles de las otras capas, sin necesidad de intervenir el pozo inyector con equipo de pulling o workover. Para esto se deberá asegurar el estado mecánico de estas instalaciones mediante la verificación previa de perfiles de tránsito de fluido.

SEGUIMIENTO PRE Y POST TRATAMIENTO

Con la finalidad de verificar el funcionamiento del tratamiento, es recomendable realizar un minucioso seguimiento de las siguientes variables:

Pre-tratamiento:

- Controles de producción con mayor frecuencia de lo habitual
- Ensayo con trazadores: para comprobar direcciones de flujo y tiempos de tránsito
- Perfiles de tránsito de fluidos, a fin de verificar la estanqueidad de la instalación e inyectividad de las capas.
- Fall off test: según se mencionó anteriormente, Bright Water bloquea canales de alta permeabilidad modificando el patrón de flujo. Por esto mediante un Fall Off test se debería poder detectar esta variación en el modelo de flujo, y eventualmente estimar la formación del frente de polímero, que se comporta como una barrera de no flujo. La idea entonces es realizar un FOT previo en donde no debería verse ningún efecto de límite, y contrastarlo con un FOT posterior a la formación del frente de polímero donde sí debe verse la barrera formada por el tratamiento. Adicionalmente pueden estimarse permeabilidades, dato necesario para diseñar las concentraciones necesarias de tratamiento.

Post-tratamiento:

- Controles de producción: volúmenes y condiciones operativas como presiones y temperatura
- Ensayo de trazadores: para comprobar cambios de direcciones de flujo y tiempos de tránsito
- Fall off test: para verificar la formación del frente de polímero, según se comentó previamente

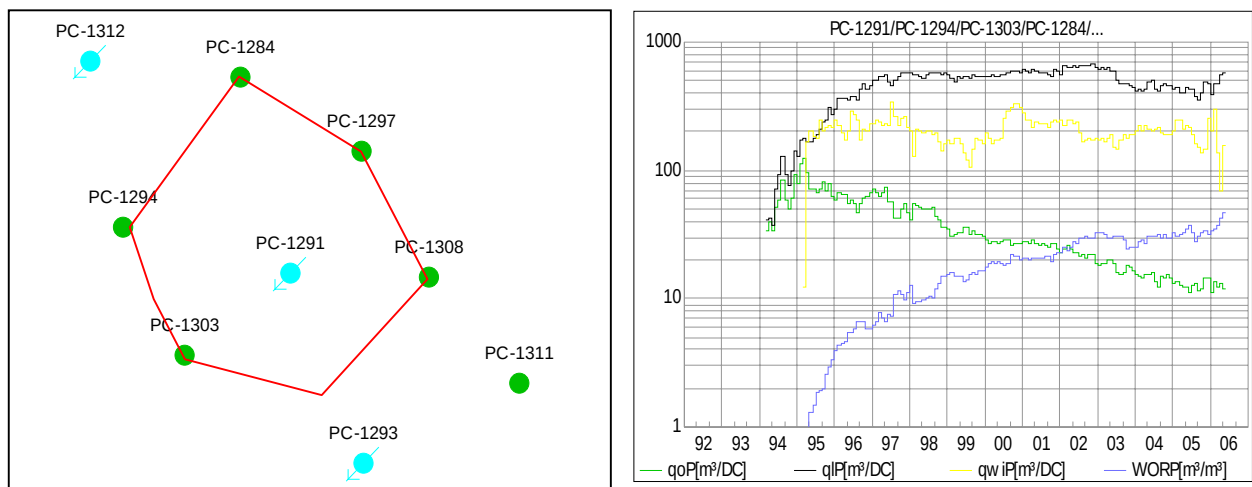
SELECCIÓN DE CANDIDATOS EN KOLUEL KAIKE Y PIEDRA CLAVADA, DISEÑO DE LOS TRATAMIENTOS

Basado en los criterios mencionados anteriormente, fueron seleccionadas zonas para pruebas pilotos en ambos yacimientos.

A continuación se comentan dos de las zonas seleccionadas y los problemas encontrados durante la selección y diseño de las mismas.

Zona PC-1291

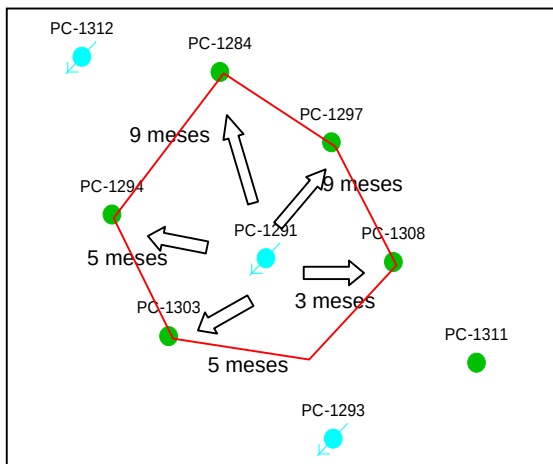
Inicialmente esta zona cumplió con todos los requisitos necesarios mencionados precedentemente. En la siguiente figura podemos ver la malla seleccionada, integrada por un pozo inyector y cinco pozos productores, y la producción e inyección de la misma.



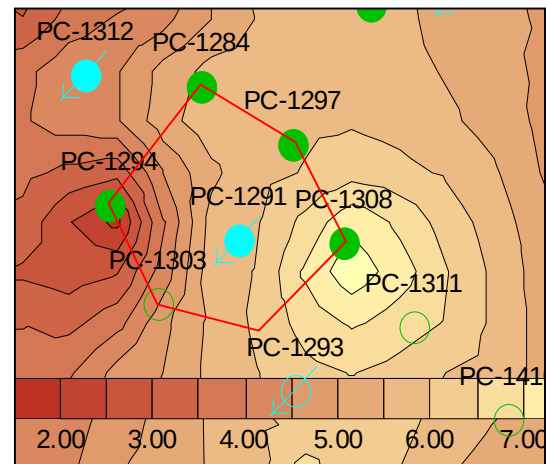
Zona PC-1291 de Piedra Clavada candidata a aplicación de Bright Water

Esta zona posee cuatro principales reservorios productivos bajo secundaria. Dos de ellos reunían las condiciones necesarias para la aplicación mencionadas en la sección Criterios de Selección de Candidatos, las capas 70 y 115.

Inicialmente se consideró que la zona cumplía con la condición de que los tiempos de tránsito inyector-productor sean mayores a 40 días mediante el análisis de comportamiento hidráulico observado en curvas de producción e inyección.



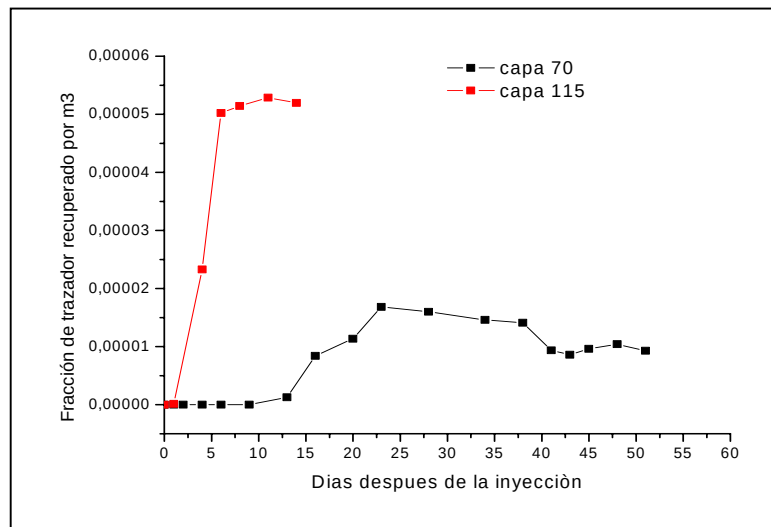
Análisis de conectividad hidráulica: tiempos de respuesta zona PC-1291



Mapa de espesor permeable capa 115 zona PC-1291

El análisis de conectividad hidráulica también demostraba que la dirección preferencial del flujo de agua era en dirección O-E, principalmente hacia el pozo PC-1308. Esto estaba de acuerdo al modelo de cada uno de los reservorios de la zona.

Sin embargo, al realizar los ensayos con trazadores para confirmar lo descrito anteriormente se encontró que si bien se verificaban las direcciones preferenciales de flujo, los tiempos de tránsito eran mucho más cortos de lo esperado, siendo el caso más desfavorable de dos días.



PC-1398: fracción de trazador recuperado

De los ensayos de laboratorio realizados con agua de inyección y polímero se determinó que el tiempo de reacción de Bright Water para las condiciones de temperatura y ph es del orden de 40 días.

Con estos tiempos de tránsito inyector-productor, el tratamiento no tendría tiempo de residencia suficiente en el reservorio como para calentarse y reaccionar, invalidando esta zona como candidato para esta tecnología.

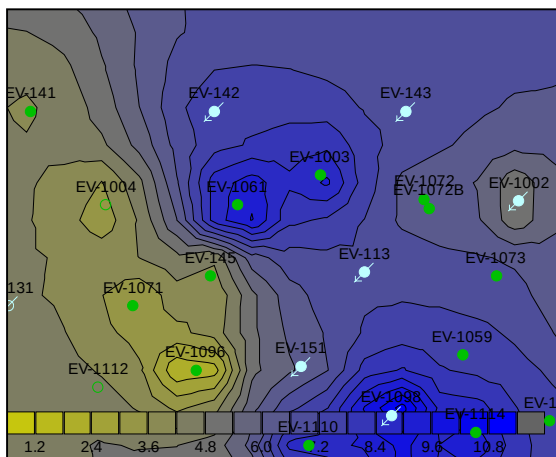
Zona EV-142

Esta zona cumple con los requisitos necesarios para la aplicación de Bright Water.

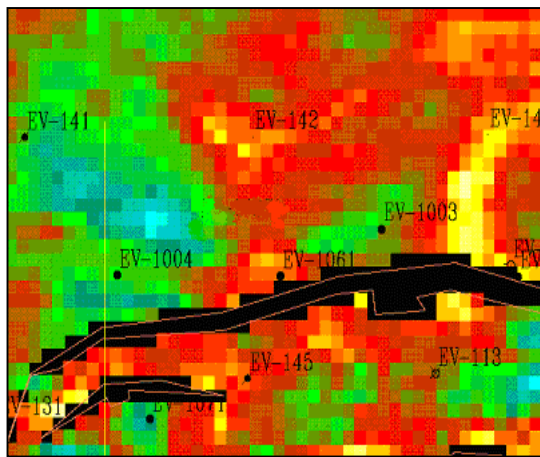
La zona tiene cuatro reservorios principales, y tres de ellos se encuentran bajo recuperación secundaria. Uno de ellos reúne las condiciones necesarias para la aplicación, la capa 152.

En este caso, la dirección preferencial de flujo observada mediante análisis de conectividades hidráulica y trazadores pre-tratamiento es en sentido NO-SE. Esto está de acuerdo con el modelo geológico de la zona, asimismo correlaciona con el análisis de atributos sísmicos.

En la siguiente figura podemos observar una extracción de los promedios de amplitudes positivas en una ventana de 100 milisegundos de un horizonte sísmico adyacente al reservorio en cuestión.



Mapa de espesores capa 152, zona EV-142



Promedio de amplitudes positivas, zona EV-142

Entre los problemas encontrados durante el estudio de esta malla para la aplicación de esta tecnología, se destacan:

- Ensayos fall off: no pudieron obtenerse ensayos consistentes. Se piensa que se debe a que los mismos fueron realizados a través de la instalación con packers y mandriles: pequeños movimientos de la instalación por los cambios de presión y temperatura puestos en juego cuando se cambia de un caudal de inyección determinado a caudal cero introducen en el ensayo ruidos que enmascaran las señales de reservorio. El mismo problema ocurrió en todos los FOT realizados a través de la instalación selectiva.
- Como consecuencia de lo anterior, no pudo obtenerse estimaciones de permeabilidad. El conocimiento de la misma es importante para diseñar las concentraciones de polímero necesarias.
- Uno de los pozos productores de la zona se encontraba parado. Del estudio realizado surgió la conveniencia de reactivarlo. Esto requirió una intervención con equipo de workover, y fue realizada ocho meses previo a la fecha estimada de inyección del polímero.
- Los caudales y tiempos de bombeo del tratamiento deben estar de acuerdo con los tiempos de reacción del polímero (popping) y las capacidades de las bombas dosificadoras. En este caso fue necesario incrementar el caudal de inyección de 50 a 150 m³/d en la capa 142, y no hubo problemas de inyectividad.

- Esta variación de caudal inyectado fue hecha seis meses previo a la fecha prevista para la inyección de los polímeros, antelación suficiente como para no enmascarar las respuestas al tratamiento.
- Esta zona contaba con instalaciones antiguas y se encontraba al límite de su capacidad para controlar pozos productores. Con la finalidad de monitorear apropiadamente la producción de los pozos afectados al proyecto y poder detectar los cambios esperados en direcciones preferenciales de flujo y porcentajes de agua, fueron instalados un manifold y un tanque adicionales a los existentes.

DISEÑO

A continuación se enumeran los principales factores a considerar a la hora de diseñar el tipo de polímero a emplear, y los volúmenes y las concentraciones del mismo.

Polímero: este se diseña para cada caso en particular. Los principales parámetros a tener en cuenta son:

- Ph del agua de inyección y de reservorio.
- Temperatura de reservorio.
- Temperatura del agua de inyección.
- Contenido de iones del agua de reservorio.

Estas variables controlan el tiempo de reacción del polímero (popping). A veces, para acelerar o retardar la reacción de hidrólisis puede recurrirse a la modificación del ph del agua con la que se bombea el tratamiento.

Concentraciones de polímero: se diseñan en función de la permeabilidad de la zona ladrona. Mientras mayor es la permeabilidad, mayor es la concentración de polímero del tratamiento. Esto se traduce en una mayor resistencia del frente de polímero hidrolizado.

Volúmenes de tratamiento: el volumen de tratamiento se diseña para obstruir entre 5% y 10% de la zona de alta permeabilidad. Esta normalmente varía entre un 10% y 50% del volumen poral de la capa a tratar en la malla, función del conocimiento del modelo estático y dinámico de esa zona en particular.

SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

Bright Water se diferencia de otras tecnologías de aplicación de polímeros en que:

- No requiere de sistemas de predilución, por lo que los volúmenes de productos a inyectar, siendo importantes, son manejables con bombas dosificadoras.
- La viscosidad de los productos utilizados es baja, y por ello los sistemas de dosificación no requieren de bombas de características especiales.
- Los productos no son modificados por efectos de corte. Cualquier tipo de bomba que mecánicamente cumpla con los requisitos de presión y caudal es utilizable.

Los productos se dosifican directamente desde sus contenedores al agua de inyección en boca de pozo. Los caudales se fijan teniendo en cuenta el tiempo de expansión de la partícula y el tiempo de tránsito inyector-productor. En el caso del EV-142 se planifica la inyección a razón de 60 litros/hr de polímero y 40 lt/hr de dispersante.

El volumen a inyectar permite operar con una batería de bombas de 30 lts/hr de capacidad de bombeo cada una, a presión de hasta 150 kg.

Se acondicionaron 2 conjuntos con 3 bombas dosificadoras cada una, uno para el polímero y otro para el dispersante. Cada uno trabaja con 2 bombas en operación y 1 en stand by. Asimismo cada conjunto de dosificadoras se alimenta desde contenedores fijos, los cuales son rellenados de acuerdo a requerimiento. Para el trasvase desde contenedores de envío de productos a los fijos se dotó al sistema de dos bombas centrífugas, una para cada producto.

Los aspectos logísticos que se estiman podrían complicar este ensayo resultan de aspectos climáticos:

- Las bajas temperaturas que se esperan al momento de la aplicación pueden complicar la bombeabilidad de los productos, y
- La posibilidad de vientos de consideración.

Por ello se decide operar todo el sistema de dosificación y almacenamiento de producto en un ambiente climatizado, con temperatura ajustada a 20 C. Se utiliza para ello un container frigorífico del tipo Marítimo, de 12 metros de largo, con un sistema de aire acondicionado frío / calor de 10 HP. Este contenedor ha sido acondicionado para manejar los eventuales derrames que se produzcan en las operaciones normales de trasvase y dosificación. Este sistema permite también evitar que animales e inclemencias climáticas afecten al sistema de dosificación y al material en stock en campo.

Además se ha preparado un plan de contingencias que contempla las posibles situaciones que puedan presentarse, como por ejemplo, una interrupción del bombeo de los productos por distintas causas.

Esta aplicación se encuentra programada para el mes de Agosto del corriente año. El período de inyección será de alrededor de un mes y la respuesta comenzará a detectarse para principio del año 2007.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

1. A.L.Benham, SPE 513, Nov 1962. "A model study of viscous fingering"
2. A.L. Barnes, Journal of Petroleum Technology, October 1962, 1147, Trans. AIME Volume 225. "The use of a viscous slug to improve waterflood efficiency in a reservoir partly invaded by bottom water."
3. D. J. Pye, Journal of Petroleum technology, August 1964, 231, Trans AIME Vol 231. "Improved secondary recovery by control of water mobility."
4. R.B. Needham, C.D. Threlkeld & J.W. Gail. SPE 4747, presented at the 1974 SPE Improved Oil Recovery, Tulsa, OK. "Control of water mobility using polymers and multivalent cations".
5. A.J.P.Fletcher, S. Flew, I.N. Forsdyke, J.C. Morgan, & D. Suttles. 6th European Symposium on Improved Oil Recovery. Stavanger, Norway, May 1991. "Deep diverting gels for a very cost effective waterflood control".
6. R. Ranganathan, R. Lewis, C.S. Mc Cool, D.W. Green & G.P. Willthite. SPE 52503, Dec 1998. "Experimental study of the gelation behavior of a polyacrylamide/Aluminium citrate colloidal-dispersion gel System".
7. J.E. Smith, H. Liu and Z.D.Guo. SPE 62610. "Laboratory studies of in-depth colloidal dispersion technology for Daqing Oilfield"
8. J. Pritchett, H. Frampton, J. Brinkman, S. Cheung, J. Morgan, K.T. Chang, D. Williams, J. Goodgame. SPE 84897. "Field application of a new In-depth waterflood conformance improvement tool".

Autores:

Pablo Paez Yañez (Pan American Energy)

Máximo F. Relling (Nalco Argentina)

Colaboradores:

Jorge Mustoni (Pan American Energy)

Agradecimientos a:

Harry Frampton (BP)

Paul Hopkinson (BP)

Kin-Tai Chang (Nalco Chemical)

Julio de 2006