

OPTIMIZACIÓN DE LAS CEMENTACIONES PRIMARIAS EN EL YACIMIENTO LOMA LA LATA

Marcelo Sierra, Manuel Veiga y Pablo Casanueva
Repsol YPF S.A y BJ Services S.R.L

Abstract

Las prácticas históricamente exitosas para las cementaciones de pozos en el yacimiento Loma La Lata han debido ser modificadas para atender a desafíos de reciente aparición como la necesidad de cementar zonas depletadas con bajos gradientes de fractura o las cementaciones de largas columnas de anillo en potenciales zonas productivas y para evitar daños futuros de corrosión; y para atender a la permanente preocupación por mejorar la seguridad y la protección del ambiente y la salud.

Diversos cambios se introdujeron, como el uso de microesferas cerámicas para reducir densidad de las lechadas obteniendo mejores resistencias, empleo de colchones con diferentes solventes amigables con la salud, el ambiente y la seguridad.

Las conclusiones puntualizan las claves para los éxitos obtenidos basados en nuevas tecnologías. Además enfatizan la importancia del estrecho trabajo en equipo entre representantes de la compañía operadora y de servicio y la necesidad de abandonar el paradigma de la alta resistencia a la compresión por el concepto de cemento flexible, dúctil, soportado por el empleo de simuladores de esfuerzos a que se ve sometido el pozo durante su vida útil.

Introducción

El yacimiento Loma La Lata se encuentra en la Cuenca Neuquina, 80 km. al noroeste de la ciudad de Neuquén.

Los pozos alcanzan profundidades que oscilan entre los 3000 y 3300 metros y tienen principalmente como objetivo la formación Sierras Blancas con una porosidad promedio de 13 % y permeabilidad neta entre 0,1 md [$0.0001 \mu\text{m}^2$] y 50 md [$0.05 \mu\text{m}^2$].

Históricamente, las prácticas de cementación empleadas en el yacimiento se han traducido en muy buenos resultados de cementación tanto en cañerías intermedias como liners. Sin embargo, aún con estos antecedentes exitosos, la cementación primaria continúa planteando desafíos. Zonas de bajos gradientes de fractura, condiciones de semisurgencia y necesidad de altas columnas de cemento requieren modificar los criterios de diseño tradicionales y el tipo de lechadas utilizadas hasta el momento en el yacimiento. Otro reto es la permanente necesidad de minimizar el impacto ambiental e incrementar más aún la seguridad. Además, siempre tiene vigencia el continuo mejoramiento técnico y la optimización de costos.

Los desafíos en el diseño de las cementaciones que se nos presentaron los podríamos dividir en dos partes:

- A comienzos de este año se comenzó a incluir como futura potencial zona productiva la formación Centenario, que se deja aislada en la cañería intermedia. Para cubrir esta zona y evitar la futura corrosión de los casing la altura de anillo de cemento necesaria tuvo que extenderse hasta 1800 m.
- El último tramo de la perforación de los pozos del yacimiento se realiza en condiciones de semi-surgencia debido a la sobre-presión observada en la Formación Quintuco y la necesidad de no perder fluido en la zona objetivo principal de Sierras Blancas, menos presionada. El objetivo de la cementación de cañerías tipo liner es poder aislar de forma adecuada la arena productora de gas Sierras Blancas para su posterior terminación con

fractura hidráulica, manteniendo controlada la presión de la formación Quintuco, asegurando así un buen sello de cemento a la altura del colgador del liner.

Estos desafíos hacen que cada diseño de cementación sea un reto para los ingenieros de la compañía operadora y los especialistas de la compañía de servicio.

El presente trabajo describe diversas acciones que permitieron avanzar para atender a los nuevos desafíos y la optimización de los trabajos, en la cañería intermedia y en los liners. El diseño de las lechadas fue modificado para obtener varios fines: reducción de la densidad por el potencial de pérdidas, mejora de las propiedades mecánicas (flexibilidad) del cemento para incrementar la vida útil, y permitir fracturar. El objetivo fue logrado con la introducción de microesferas cerámicas (mec), soportando el análisis con un simulador de respuesta del cemento a distintos tipos de esfuerzo.

También se modificaron los volúmenes y tipo de colchones mediante la aplicación de tecnología innovadora en el tipo y secuencia de colchones.

Escenario de perforación y cementaciones convencionales

Un pozo tipo del yacimiento Loma La Lata consiste en la perforación del tramo para cañería guía de 9 5/8" (244.5 mm) hasta 350 m de profundidad con trépano tricono de 12 1/4" (311 mm) utilizando lodo base agua, donde se cubren con cemento las arenas acuíferas del Grupo Neuquén hasta boca de pozo.

El tramo siguiente para cañería intermedia de 7" se perfora con trépano de 8 3/4" (222 mm) hasta unos 15 m por debajo de la formación Quintuco aproximadamente 2050 m de profundidad, utilizando lodo emulsión inversa (O/W = 100/0) de densidad promedio 0,92 / 1,020 g/mL. Esta sección se entuba con casing de 7" (178 mm) de 26 lb/pie (38.7 kg/m), utilizando zapato y collar flotador. El objetivo de la cementación de esta sección es cubrir con muy buena calidad de cemento unos 300 m en el fondo donde luego se va a colgar el liner y por encima de ésta lechada se utiliza otra de relleno hasta el cruce de la cañería anterior.

El interés geológico histórico en este yacimiento es la formación Sierras Blancas. Esta sección se entuba con un liner de 5" (127 mm) de 18 lb/pie (26.8 kg/m), utilizando zapato y collar flotador. El objetivo de la cementación de esta sección es cubrir con muy buena calidad de cemento desde el fondo del pozo hasta 100 m por encima del tope de la Fm. Catriel. La columna estratigráfica típica se presenta en la fig.1.

Debido a que durante la etapa de terminación de estos pozos se realiza la fracturación hidráulica de la formación productiva, se debe garantizar una buena aislación con el objeto de poder estimularla, evitando comunicaciones entre otras zonas y/o arenas acuíferas cercanas.

En el yacimiento Loma La Lata hay más de 300 pozos perforados. Actualmente se perforan y terminan un promedio de 30 pozos al año con seis equipos de perforación en forma permanente y cinco equipos de terminación. Este nivel de actividad permite evaluar rápidamente los resultados de las mejoras o cambios introducidos en el diseño de la cementación y así realizar los ajustes necesarios para los siguientes trabajos.

La cementación tradicional de un pozo procura aislar adecuadamente la formación Sierras Blancas para luego poder estimular esta zona asegurando un buen sello hidráulico a la altura del colgador del liner; para evitar de esta manera el uso de empaquetadores en carreras secundarias con el consecuente aumento de los costos en la perforación del pozo (costo de la herramienta y horas adicionales de equipo y servicios). El empleo del empaquetador representa además un elemento de posible falla durante la operación.

La profundidad final de los pozos varía entre 3000 y 3300 m TVD y la altura de los anillos de cemento oscilan en promedio entre 1000 m y 1200 m.

Los trabajos de cementación consistían:

- Para el caso de la cañería intermedia de 7" en el bombeo de un colchón de 20 bbl de gasoil, 40 bbl de colchón mecánico gelificado bases oil (CMGBO), 60 bbl de colchón químico con solvente sustituto (CQCSS), 143 bbl de lechada de relleno de densidad 1,35 g/mL (más detalles de sus propiedades se encuentran en la tabla 1 lechada A) y una lechada principal de tipo convencional, de densidad 1,850 g/mL, aditivada para tener un filtrado menor a 100 cc/30min y una bombeabilidad entre 180 y 200 minutos.
En este tipo de cementaciones los gradientes dinámicos máximos en el tope de Quintuco eran de 0,62 psi/ft. Los resultados de los trabajos eran sistemáticamente buenos.
- En el caso del liner de 5" en el bombeo de un colchón de 60 bbl de un CQCSS adecuado según los ensayos realizados, 46 bbl de Lechada de Cabeza de densidad 1,750 g/mL (más detalles de sus propiedades se encuentran en la tabla 1 lechada D) y 16 bbl de Lechada Principal de tipo convencional, de densidad 1,870 g/mL, aditivadas en ambos casos para tener muy bajos filtrados, control de gas y bombeabilidades entre 150 y 180 minutos.
En este tipo de cementaciones los gradientes dinámicos máximos en la base de Sierras Blancas eran de 0,59 psi/ft. Los resultados de los trabajos eran sistemáticamente buenos.

Necesidad de lechadas con mejores propiedades por futuras zonas de interés

A comienzos del año 2005 se comenzó a incluir como potencial futura zona productiva la formación Centenario, que se deja aislada en la cañería intermedia de 7". Es por esto que la lechada tradicional que se utilizaba hasta el momento cuya finalidad era la de solamente proteger el casing contra la corrosión tuvo que ser modificada para conseguir una mejora en las propiedades mecánicas (flexibilidad) del cemento para una futura fracturación hidráulica. Sumado a la restricción de no superar gradientes dinámicos de 0.64 psi/ft en el tope de la formación Quintuco (aproximadamente en 2100 m de profundidad).

Generalmente y como ya explicamos anteriormente en esta cañería se cementaba con una lechada principal unos 300 m y luego se continuaba con una lechada de relleno cuya altura variaba entre 1600 y 1800 m, la cual una vez fraguada, desarrollaba baja resistencia y alta porosidad que sin embargo alcanzaban para proteger y soportar la cañería; pero con pobres propiedades para soportar una futura fractura hidráulica.

Para solucionar este problema se utilizó el simulador de propiedades mecánicas del cemento (SPMC) de la compañía de servicios que tiene en cuenta las propiedades físicas y el comportamiento químico de cada uno de los componentes de la lechada, y también efectos sinérgicos entre éstos. Dicho simulador permite estudiar el efecto sobre la integridad del anillo de cemento de las operaciones de terminación, reparación, estimulación y la propia producción.

Con el objeto de dejar de lado el paradigma de la resistencia a la compresión y difundir el concepto de "cemento flexible" en el diseño de lechadas, se ha utilizado dicho **simulador de resistencia de cemento** que también evalúa el desempeño del cemento basado en su respuesta mecánica a esfuerzos cíclicos con el propósito de diseño lechadas preliminares.

El principal objetivo del simulador es optimizar el diseño de lechadas con la correcta selección de cemento, aditivos y densidad de acuerdo a las condiciones de pozo de modo de satisfacer adecuadamente los requerimientos, y al mismo tiempo reducir los costos de cementación y de perforación. El simulador también es una herramienta útil para interpretar resultados o problemas observados identificando sus causas reales.

Para afrontar esta necesidad se estudiaron diversas alternativas con este simulador, teniendo en cuenta la necesidad futura de fracturar las formaciones como parte de la terminación. Como resultado del análisis, se decidió el empleo de lechadas alivianadas con el uso de micro esferas cerámicas de baja densidad, cuyo empleo en lechadas de cemento ofrece varios beneficios:

- Utilizable en zonas débiles donde se necesitan bajas presiones hidrostáticas, generando altas resistencias del cemento.
- Incrementan significativamente la resistencia final de las lechadas en comparación con lechadas extendidas convencionales de igual densidad.
- En particular, mejoran las resistencias a la tracción (RT) y flexión (RF) del cemento, produciendo un fragüe mas elástico y dúctil del mismo.

El uso de MEC como alivianante, cuya densidad es de sólo 0,7 g/mL, permite lograr muy bajas densidades de lechada manteniendo la posibilidad de control de filtrado, reología y otras propiedades sin el exagerado uso de los aditivos correspondientes. El empleo de MEC está especialmente recomendado para los trabajos donde se requieran bajos valores de presión en el anular y buenos valores de resistencia. El diseño completo de lechada, que incluye también otros aditivos, resulta también en cemento fraguado de características flexibles y dúctiles para soportar adecuadamente los esfuerzos a que se verá sometido el pozo durante su vida útil según se comentara anteriormente. Las propiedades de la lechada se detalla en la Tabla 1 como lechada B. Se aprecian también en este caso las mejores propiedades de flexibilidad y elasticidad del cemento, que permiten resistir adecuadamente los esfuerzos de una fractura hidráulica según se analizó con el simulador correspondiente.

Se ensayaron distintas lechadas en laboratorio y la que cumplió con las propiedades requeridas, con una densidad de 1.338 g/mL, se utilizó con éxito en varios pozos del yacimiento. Con este tipo de diseños se dejó de exagerar la importancia de la resistencia a la compresión (RC) del cemento, dando relevancia a las ideas renovadoras de utilizar cementos con buenas propiedades mecánicas. En otros términos, el concepto de cemento “flexible”, donde no se pone énfasis en valores absolutos de resistencia sino en mayores relaciones RT/RC y RF/RC, además de buenas propiedades elásticas (bajo módulo de Young) (referencias 1, 2 y 3). Las propiedades más importantes de la lechada empleada se resumen en la Tabla 1 (lechada B). Nótese por ejemplo las mejores relaciones RT/RC, RF/RC y menor módulo de Young.

En el análisis con el simulador de esfuerzos durante la vida del pozo, se encontró que el cemento fraguado, de mucha mejor resistencia y más elástico que la lechada convencional, soportaba holgadamente un tratamiento de fracturación hidráulica.

Esta lechada liviana no sólo ofreció mejores propiedades y la solución del problema de levantar anillos altos, sino que también permitía el colgado del liner ante alguna eventual falla en la operación de cementación.

Con esta lechada se pudo cementar con éxito este tipo de pozos, sin recurrir a operación en dos etapas, utilizando colchones convencionales (sin nitrógeno) y así mantener durante toda la operación de cementación el gradiente por debajo de 0.64 psi/ft.

Corresponde señalar que si bien el empleo de MEC incrementa los costos de lechada, este incremento de costo está sobradamente compensado por el ahorro que representa realizar el trabajo en una sola etapa según se expresó anteriormente.

Evaluando además los resultados obtenidos en los trabajos que empleaban lechadas alivianadas utilizando MEC, se concluyó que la mejor alternativa técnica - económica era seguir empleando este tipo de lechadas en la cementación de la cañería intermedia de todos los pozos “tipo” del yacimiento.

En todos los casos señalados hasta ahora, para el diseño de las operaciones se recurre en forma sistemática a la simulación con software apropiado donde se busca lograr un adecuado control de las presiones durante toda la operación. En este sentido se simulan a menudo diversas opciones para evaluar en cada caso la mejor forma de realizar el trabajo.

Necesidad de lechadas livianas por pérdidas potenciales en liner

El último tramo de la perforación de los pozos del yacimiento se realiza en condiciones de semi-surgencia debido a la presión observada en la Formación Quintuco y la necesidad de no perder fluido en la zona objetivo principal de Sierras Blancas, menos presionada. Existía así el potencial de que durante la cementación se produjeran problemas de desbalance frente a las zonas presurizadas (por ingreso de gas).

El objetivo de la cementación de cañerías tipo liner es poder aislar de forma adecuada la arena productora de gas Sierras Blancas para su posterior terminación con fractura hidráulica, manteniendo controlada la presión de la formación Quintuco, asegurando así un buen sello de cemento a la altura del colgador del liner.

Un nuevo desafío que se sumó a la necesidad de anillos largos de cemento, fue la aparición de algunos pozos con posibles pérdidas de circulación debido a zonas depletadas con bajos gradientes de fractura.

A título de ejemplo, para la cementación del pozo LLL.a-17Re se realizaron, en estrecha colaboración entre los ingenieros de perforación de la compañía operadora y los representantes de la compañía de servicios, simulaciones minuciosas del trabajo empleando distintas alternativas de lechadas principal y de cabeza. Los resultados obtenidos, mostraron que en esta operación el gradiente de presiones máximo en el zapato durante la operación de cementación no superó 0,55 psi/ft.

Para afrontar esta necesidad se estudiaron diversas alternativas con el mismo simulador de resistencia del cemento (SPMC) que explicamos anteriormente, teniendo en cuenta la necesidad futura de fracturar las formaciones como parte de la terminación. Como resultado del análisis, se decidió el empleo de lechadas alivianadas con el uso de MEC.

Para simplificar la cementación primaria, realizarla en una sola etapa y reducir los costos se resolvió emplear una lechada de cabeza 1,43 g/mL como la descrita en el punto anterior para cubrir 950 m hasta el colgador (las propiedades de esta lechada se detalla en la Tabla 1 como lechada C) y una lechada principal 1.87 g/mL para cubrir 300 de anillo en el fondo.

Debe destacarse que otra de las opciones consideradas para resolver estos tipos de problemas sin necesidad de recurrir a dispositivos de doble etapa fue el empleo de cemento espumado. Sin embargo se concluyó que no era la alternativa más apropiada en la situación a atender. El cemento espumado requiere que se coloque por encima una lechada “casquete” (cap slurry) no espumada o algún medio equivalente (colchón muy viscoso por ejemplo) para mantener la estabilidad termodinámica y que el nitrógeno no pierda el equilibrio y se escape por desbalance de presiones (independientemente de aditivos estabilizadores. La presencia de una lechada “casquete” aumenta la presión hidrostática a punto tal que demanda densidades muy bajas de cemento espumado en las condiciones de los pozos en análisis, con resultados de reducir su competencia para aislar y resistir los esfuerzos posteriores a que se verá expuesto el cemento (incluyendo la fracturación hidráulica como parte de la terminación). A esto hay que añadir que una operación con cemento espumado es de ejecución más compleja con varios factores adicionales que siempre son potenciales causas de fracaso.

En síntesis, el empleo de este tipo de lechadas livianas representó una alternativa sencilla, de ejecución controlable, que permitió un significativo ahorro al evitar el empleo de dispositivos de segunda etapa con los costos directos e indirectos asociados. La calidad del cemento logrado continuó siendo excelente.

Como ejemplo de los excelentes resultados típicos obtenidos en la cementación, la figura 2 muestra un tramo del registro de cemento del pozo LLL.a-17Re. El trabajo fue realizado con una lechada alivianada con MEC como la descrita en esta sección. Obsérvese en el registro la claridad de la respuesta de formación en la pista de densidad variable, que evidencian una excelente adhesión cemento/formación.

Diseño de lechadas para Liner en zonas depletadas

El diseño de la lechada de densidad igual a 1,430 g/mL para la primera etapa planteó varios desafíos, en particular el requerimiento de que la lechada tenga control de gas, buenas propiedades para una futura estimulación hidráulica y estabilidad, además de la baja densidad.

Los criterios de diseño empleados en este caso muy exigente se detallan a continuación.

Pérdida por filtrado. Considerando las condiciones del reservorio y las perspectivas de encontrar zonas con aporte de gas se recomendaron valores de pérdida de filtrado inferior a 50 mL. Este valor tiene en cuenta que en la formulación se incluyen aditivos cuya sinergia actúa específicamente para control de gas.

Estabilidad de la lechada. Se pretendió un valor de fluido libre igual a cero o trazas, realizando el ensayo a temperatura y con inclinación de 45°. Otro requerimiento usual es que en el ensayo de sedimentación la diferencia de densidad entre el tope y el fondo de la columna de cemento no debe superar el 3 %. Sin embargo se procuró obtener una estabilidad mayor (< 2 %).

Control de gas. Las propiedades de control de intrusión de gas se verificaron en laboratorio con el equipamiento correspondiente a un modelo de flujo de gas (referencias 1 y 2). Este ensayo es muy exigente, dado que se generan condiciones para flujo de gas (gradiente de presión) muy superiores a las que se pueden dar en la realidad de un pozo, por crítica que sea la situación. Además, en el ensayo se simulan, en condiciones de temperatura de fondo, todos los períodos del proceso de fragüe (hidratación inicial, lenta transición entre líquido y sólido con eventual gelificación, fragüe temprano). En consecuencia, este ensayo es una forma más completa de evaluar simultáneamente el efecto de todos los factores involucrados (control de filtrado, estabilidad, desempeño sinérgico de aditivos, etc.)

Evolución de los programas de colchones

Al igual que el caso del cemento, ha habido una evolución en los programas de colchones empleados para limpiar el lodo emulsión inversa del anular y preparar el mismo para posteriormente alojar la lechada de cemento.

Durante muchos años se empleó en la cementación de las cañerías intermedias una secuencia de 20 bbl (3 m³) de gasoil seguidos de 40 bbl (6 m³) de un colchón base oil gelificado (CMGBO) y por último 60 bbl de agua con surfactante, seguidos luego por las lechadas según fuera antes descripta. El objetivo era diluir con el gasoil la emulsión inversa y remover los residuos oleosos que el lodo inverso deja en las paredes del pozo. La función del colchón base oil gelificado era realizar una limpieza mecánica adicional, actuar como espaciadora. La función del agua con surfactante era de prevenir problemas de incompatibilidad con el cemento y acuosumectar dentro de lo posible las paredes del pozo antes de la colocación de la lechada principal. La buena calidad del cemento obtenido avalaba el empleo de este programa de colchones.

Sin embargo, en un intento de obtener aún mejores resultados en la calidad del cemento se investigaron en el laboratorio con ensayos especiales diversas posibilidades. Como resultado, se adoptó un nuevo programa de colchones consistente en un colchón de gas oil con una solución de solventes; se continuó utilizando el colchón mecánico base gasoil gelificado y un espaciador turbulento consistente en una emulsión de fase externa acuosa y cuya fase interna (oleosa) estaba compuesta por un novedoso solvente sustituto base terpenos (SSBT), que es un solvente biodegradable; surfactantes apropiados dan estabilidad a la emulsión y acuosumectan las paredes (en la medida de que ello es posible en presencia del solvente).

Con el objeto de reducir el impacto ambiental, minimizar los riesgos de seguridad asociados al empleo y manipulación de fluidos, basados en los resultados de laboratorio de remoción y compatibilidad de fluidos de perforación, colchones y lechadas de cemento, se recomendó el empleo de este novedoso tipo de colchón químico. La base de esta nueva tecnología es un material biodegradable, no tóxico que constituye una alternativa a los solventes (especialmente aromáticos). Es un material basado en terpenos con el agregado de un paquete de surfactantes amigable con el

ambiente. El colchón químico se puede formular con concentraciones variables de este SSBT (2 a 5 % típicamente) según ensayos de eficiencia de limpieza sobre muestras del lodo a tratar. Además, no tiene el riesgo para la salud del personal de operaciones asociado al empleo de aromáticos.

Así, el programa de colchones actualmente empleado consiste en un pequeño volumen de gasoil con la solución de solventes, con el objeto de diluir el lodo de perforación, seguido del colchón mecánico y por último un volumen de colchón químico base SSBT. Como características importantes, ayuda a dejar las paredes del pozo fuertemente acuohumectadas lo que contribuye al éxito de la cementación. El sistema es compatible con los fluidos presentes en el pozo y no causa emulsiones. Otro punto importante a tener en cuenta es que durante el bombeo de este nuevo colchón químico (no inflamable), se puede reciprocarse la cañería ya que no se estaría bombeando fluido base petróleo.

Es importante resaltar que con el nuevo programa de colchones empleado se obtuvieron aún mejores resultados (en cuanto a limpieza del espacio anular), con la ventaja de no utilizar solventes aromáticos y resultar por lo tanto muy importante desde el punto de vista de preservación de la salud, protección del medio ambiente e incremento de la seguridad en las operaciones y en el manipuleo, tanto en locación por parte del personal de la compañía de servicios de bombeo como en el retorno por anular por parte del personal de la compañía perforadora.

No deja de ser importante mencionar que con este nuevo sistema de cementaciones se obtienen excelentes resultados; y en comparación a iguales resultados con otras compañías del mercado el costo de este tipo de operaciones para la compañía operadora es sensiblemente menor.

Futuro

Aún con estos resultados exitosos, la cementación primaria continúa planteando desafíos. Tal el caso de pérdidas de circulación durante la perforación o la necesidad de columnas de cemento más altas que requieren modificar sustancialmente los programas usuales, situaciones para las que ya se cuenta con alternativas aún no empleadas (por ejemplo lechadas aún más livianas). Otro desafío es la permanente necesidad de minimizar el impacto ambiental de materiales e incrementar más la seguridad. Además, siempre tiene vigencia la optimización técnica y la reducción de costos.

Está en ejecución el estudio de formulaciones en el que se ha contemplado la posibilidad de disminuir el porcentaje de MEC en este tipo de lechadas utilizadas, cuyo costo de uso es un poco elevado, por otro producto que es un aditivo multipropósito, que es un silicato de aluminio reactivo de origen mineral, procesado y de un menor costo.

Ya se han identificado posibilidades muy prometedoras, al punto de que se considera que el proyecto se encuentra en la etapa de ensayos finales de laboratorio y próximo a la primera prueba de campo.

Conclusiones

1. La optimización permanente, entendida como revisión continua de diseños y la aplicación de las técnicas y tecnologías más apropiadas, ha permitido resolver satisfactoriamente múltiples desafíos para las cementaciones de aislación que han aparecido en los últimos años, al par de reducir los costos e incrementar la seguridad y la protección de la salud y el ambiente.
2. El proceso de optimización requiere la estrecha colaboración e interacción entre los especialistas de perforación de la compañía operadora y los representantes técnicos de la compañía de servicios. El trabajo en equipo para el análisis de problemas, incluyendo el estudio de posibilidades alternativas con simulador de la operación, permite encontrar soluciones más prácticas y efectivas para cada situación en concreto.
3. Las soluciones obtenidas han requerido el abandono del paradigma de la alta resistencia a la compresión, para sustituirlo por el énfasis en cementos más flexibles, dúctiles asociados a las propiedades que realmente importan para soportar satisfactoriamente los distintos tipos de

esfuerzos. Más que los valores absolutos de resistencias, importa obtener buenas relaciones entre resistencias a la tracción y flexión comparadas con la resistencia a la compresión. En otros términos, buenas propiedades elásticas (por ejemplo menores módulos de Young).

4. El uso de un simulador permite un análisis previo a los ensayos de laboratorio que se traduce en formulaciones finales más apropiadas a los requerimientos reales del trabajo, aprovechando las características distintivas de los materiales empleados (especialmente aditivos) para optimizar el diseño con un significativo impacto directo en la reducción de costos de cementación e impacto indirecto en la disminución de costos de perforación (reduciendo el tiempo de espera de fragüe).
5. La aplicación de un nuevo tipo de aditivo en esta lechadas como son las MEC ha facilitado la obtención de soluciones costo-efectivas para los diversos retos planteados por la cementación.
6. Debido a la buena comunicación, coordinación y evaluación de riesgos que se hace al inicio de la perforación de los pozos y antes de cada operación, no se registró ningún tipo de accidentes o incidentes personales o ambientales.

Reconocimientos

Los autores desean expresar su reconocimiento a Repsol YPF S.A. y a BJ Services S.R.L por el permiso de publicar este trabajo. El agradecimiento también se extiende a todas las personas que colaboraron en el extenso trabajo de laboratorio, que realizaron los diseños y el análisis de alternativas, como así también al personal de las distintas compañías que con diligencia participaron en los trabajos de campo.

Finalmente queremos agradecer también la guía del ing. Norberto Briggiler para la elaboración de este trabajo.

Referencias:

1. Di Lullo, G. y Briggiler N.; “Simulador de resistencia del cemento, incluyendo propiedades mecánicas en el diseño para reducir costo de perforación”, Congreso Producción 2000, Puerto Iguazú, Argentina, mayo 2002
2. Di Lullo, G. y Rae, , “Cements for Long Term Isolation – Design Optimization by Computer Modelling and Prediction”, IADC/SPE 62745, Kuala Lumpur, Malasia, Septiembre 2000. Resumen publicado en JPT, Agosto 2001.
3. Mueller, D. “An Evaluation of well cements for use in High Stress Environments”, Hart’s Petroleum Engineer International, abril 1998

TABLA 1: PROPIEDADES DE LECHADAS Y CEMENTO FRAGUADO

Lechada	A	B	C	D
Densidad, g/mL	1,35	1,338	1,43	1,75
Temperatura estática de fondo, °C	80	80	106	106
Composición				
Cemento	Clase G	Clase G	Clase G	Clase G
Reductor de filtrado PVA, %	-	-	1	0,9
Dispersante, %	-	0,3	0,6	0,7
Reductor de filtrado HEC, %	-	-	-	0,4
Antiespumante, %	0,2	0,2	0,2	0,2
Extendedor – Acelerador	3	1	0,4	0,4
LW-6(microesferas cerámicas), %	-	30	8,0	24,0
Retardador, %	-	0,5	0,1	-
Relación Agua/Cemento, %	165	90	64	58
Rendimiento, L/bolsa ⁽¹⁾	99,06	82,86	67,39	45,74
Propiedades lechada				
Agua libre, cm ³	0	trazas	0	0
Reología	Baja	Baja	Baja	Media
Filtrado, cm ³ /30 min	n/d	n/d	14	46
Tiempo de espesamiento, min	300	210	180	188
Propiedades mecánicas cemento				
Resistencia a la compresión 24 h, psi	270	1065	1499	1646
Resistencia a la compresión 48 h, psi	280	1200	1582	1778
Resistencia a la tracción estim., psi	32	138	207	231
Resistencia a la flexión estim, psi	76	326	535	591
Módulo de Young, Mpsi	0.19	0.46	0.57	0.63
Relación de Poisson, adim.	0.19	0.19	0.24	0.23
Relación RT/RC, adim	0.114	0.115	0.131	0.13
Relación RF/RC, adim	0.271	0.272	0.338	0.332
Amplitud CBL estimada, mV	40.1	12.4	9.5	8.7

Factores de conversión SI (International system of Units)

L/bolsa	x	2.0 E-02	=	L/kg
pulgada	x	2.54 E+00	=	cm
psi	x	6.895 E-04	=	kPa
psi/ft	x	2.262 E+01	=	kPa/m
Mpsi	x	6.895 E-04	=	MPa

FIGURA 1: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA TÍPICA POZOS LOMA LA LATA

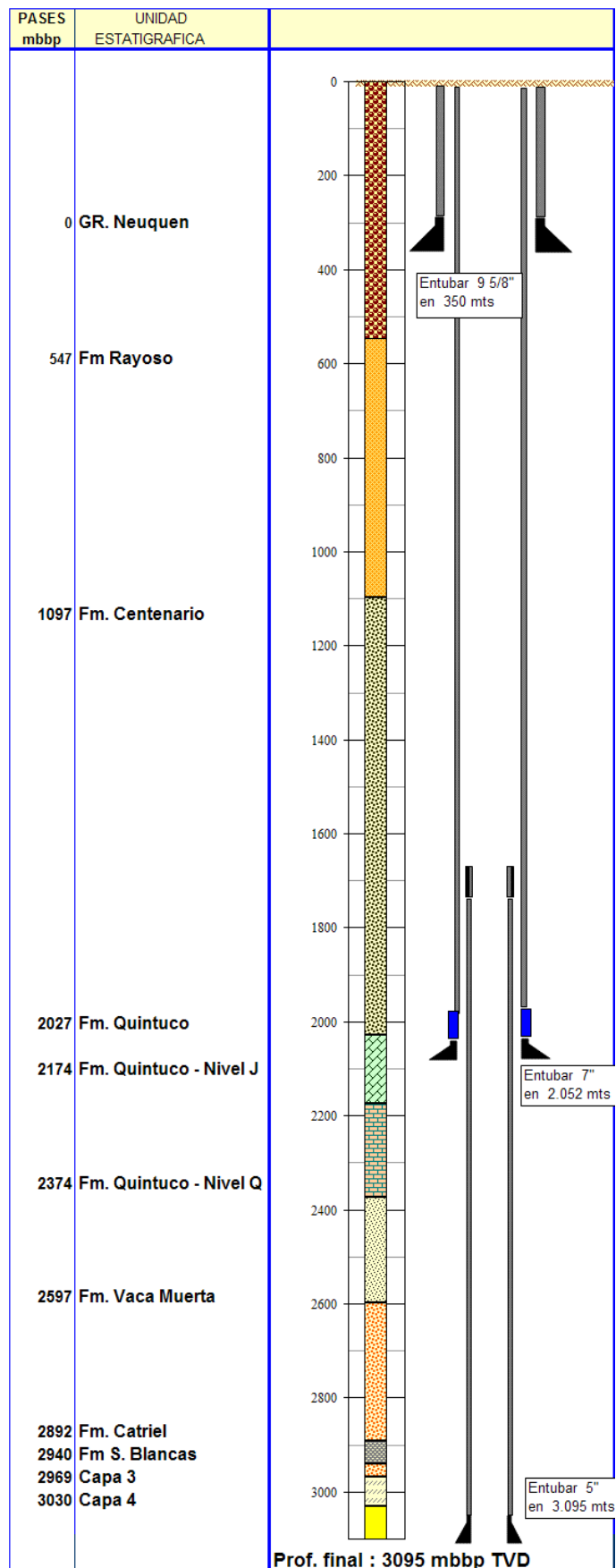


FIGURA 2: TRAMO DEL REGISTRO DE CEMENTO DEL POZO LLL.a-17 Re

