

USO DE CONTRAPRESIÓN VARIABLE EN LA CEMENTACIÓN DE ZONAS DE ALTA PRESIÓN DE GAS

Ernesto Portela, Roberto Tello, Norberto Briggiler y Manuel Veiga
Chevron San Jorge S.R.L y BJ Services S.A.

Abstract

El último tramo del pozo Sur Huantraico x-1 fue perforado en desbalance con una snubbing unit para mantener constante la presión en una zona crítica sobrepresurizada. La cementación en dos etapas de la cañería de 7" (177,8 mm) se realizó ajustando la contrapresión variable en anular para mantener la misma presión constante en la zona crítica, procedimiento necesario por el empleo de fluidos de muy distinta densidad.

Las dificultades técnicas y operativas que planteó el procedimiento requerido demandaron cuidadosa planificación, diseño y ejecución que se presentan en este trabajo. Ello incluye la decisión de ejecutar dos etapas con un packer inflable (ICP), diseño de lechada muy demandante y de preflujos adecuados, el empleo de simulador apropiado para el diseño y programación, y la coordinación logística previa.

También se describe la meticulosa ejecución del trabajo, que demandó una estrecha coordinación y manejo minucioso de presiones, tanto para la cementación como para la activación oportuna del ICP y del dispositivo de segunda etapa, aspectos clave para el éxito obtenido.

Las conclusiones destacan la viabilidad de la técnica novedosa empleada, la importancia de la planificación y coordinación entre el personal involucrado, y las soluciones para diseño y ejecución que permitieron atender a un complejo desafío.

Introducción

En el primer cuatrimestre del 2001 se perforó el pozo exploratorio Sur Huantraico X-1, localizado al sureste del yacimiento **Huantraico**, a 300 km. al noroeste de la ciudad de Neuquén, siendo Rincón de los Sauces la ciudad más cercana al yacimiento. El objetivo de este pozo fue evaluar las formaciones Troncoso Inferior, Agrio Superior, Avile, Agrio Inferior y Mulichinco. Luego de perforar hasta 1236 m, se cementó la cañería intermedia de 9 5/8" (244,48 mm). La prueba de integridad de formación se realizó en 1245 m con una densidad equivalente de 2,1 g/mL (no se llegó al punto de admisión de la formación).

Mientras se perforaba la sección de interés, atravesando la formación Agrio Superior en 1293 m, se tuvo un aumento brusco del caudal de retorno (golpe de presión) y se cerró el pozo. Según los cálculos, para controlar esta zona de alta presión se densificó hasta 2,31 g/mL superando la presión del PIT realizado en el zapato del casing anterior. Luego de remover el influjo del pozo se decidió realizar un abandono temporario.

La presión anormal encontrada en la formación Agrio Superior se interpreta como una comunicación con formaciones a mayor profundidad a través del sistema de fallas presentes.

A finales del año 2001 se decidió volver a intervenir el pozo para completar la perforación en condiciones cuidadosamente planificadas. El procedimiento seleccionado para continuar la perforación fue perforar con unidad de snubbing en underbalance toda la zona productiva. Con ello se procuró atender a varios objetivos: minimizar el riesgo de pérdidas de circulación, determinar caudales y tomar muestras de fluido para su posterior evaluación y terminación si fuera comercial, y evitar dañar la zona productiva con material densificante necesario para llegar a la densidad de 2,35 g/mL. Esta densidad es levemente superior a la presión de formación encontrada durante la perforación original, y los materiales densificantes utilizados para llegar a estas densidades pueden generar en el reservorio daños muy difíciles de remover

La perforación se realizó en desbalance con lodo cálcico de densidad 1,13 g/mL. La unidad de snubbing permitió restringir la presión por anular durante la perforación, con el objetivo de mantener frente a la formación Avilé una presión de densidad equivalente 2,35 g/mL, levemente superior a la presión poral de formación encontrada. La profundidad alcanzada fue de 1536 m.

Debe notarse que la zona sobrepresurizada se encuentra a poca profundidad (1293 m), por lo que un bolsón de gas que pudiera ingresar en el pozo por efecto de pistoneo durante las maniobras para cambio de trépano o calibre de pozo rápidamente llegaría a superficie. El empleo de la unidad de snubbing también hizo más segura la perforación.

Esta fue la primera experiencia en Argentina de perforación en underbalance utilizando unidad de snubbing de 5000 psi (34,5 MPa) montada sobre la estructura de un equipo de perforación.

El proceso de la perforación

Antes de la continuación de la perforación, el estado mecánico del pozo era el siguiente:

- Cañería guía 13 3/8" (339,7 mm), N80, 65 lb/pie (96,7 kg/m), conexión BTC, zapato en 597 m, cementada.
- Cañería intermedia 9 5/8" (244,5 mm), N80, 43,5 lb/pie (64,7 kg/m), conexión LTC, zapato en 1236 m, cementada.
- Pozo abierto perforado con trépano de 8 1/2" (215,9 mm) hasta 1293 m

El abandono temporario consistió en la colocación de un tapón reperforable asentado en casing de 9 5/8" (244,48 mm), en 1202 m, un tapón de cemento densidad 2,24 g/mL, desde 1202 m a 1115 m y un tapón recuperable, en 1099,2 m

La continuación de la perforación contempló en su planificación y ejecución los siguientes criterios (entre otros):

Lodo de perforación. El lodo utilizado durante la perforación fue tipo cálcico (KLM) de densidad 1,13 g/mL, la concentración de cal libre se mantuvo alrededor de 10 kg/m³ y el pH entre 10,5 y 12,5. Este lodo fue diseñado para proveer inhibición y estabilidad a las formaciones con arcillas expandibles, proveer buena tolerancia a la incorporación de sólidos de perforación, mínimo impacto ambiental, versatilidad y muy importante tolerancia a las contaminaciones con gases ácidos (CO₂, H₂S), bajo costo de mantenimiento y buena compatibilidad con el cemento.

Conjunto de BOP y unidad de snubbing. Para la perforación se utilizó un conjunto de válvulas preventoras de surgencia formado por ocho BOP's tipo rams (dos strippers, tres de seguridad, dos ciegas y una de corte) de presión de trabajo 5000 psi (34.5 Mpa) y una anular de presión de trabajo 2500 psi (17.2 MPa). La unidad de snubbing tuvo una capacidad de tiro de 460.000 lb (2,05 E+06 N) y de empuje de 230.000 lb (1,02 E+06 N).

Control de pérdidas de circulación. Se mantuvo la presión de fondo de pozo ligeramente mayor a la presión de formación, este valor superaba al valor de PIT realizado en el zapato del casing anterior de 9 5/8" (244,48 mm). Durante la perforación se realizó un monitoreo cuidadoso y continuo de los indicadores de presión poral y pérdidas de lodo a fin de mantener el sobrebalance adecuado.

Prevención de fallas de la sarta de perforación. Las barras de sondeo de 5" y el conjunto de fondo se introducían en el pozo utilizando la unidad de snubbing y manteniendo el anular cerrado con las BOP de 5" (127 mm). Por este motivo se utilizó un conjunto de fondo constituido por solamente un portamecha de 6 1/2" (165,1 mm) y 19 barras extrapesadas de 5" (127 mm), 49 lb/pie (72,92 kg/m)(HWDP). Debido a que el peso en el trépano era suministrado casi en su totalidad por las HWDP, se tuvo especial cuidado en el monitoreo de los parámetros operativos para minimizar la fatiga acelerada de los componentes de la columna de perforación. Se realizaron en locación frecuentes inspecciones de los componentes de la sarta de perforación para identificar signos de fatiga o daños.

Possible ingreso de gas CO₂. Fue muy importante el tratamiento de lodo de perforación para prevenir la formación de ácido carbónico a fin de evitar la corrosión del sondeo y finalmente una fatiga acelerada.

Con esos criterios, la perforación alcanzó los 1536 m en condiciones apropiadamente controladas.

Desafíos que planteaba la cementación

Se decidió que durante la cementación se respetara el mismo criterio de mantener constante la presión frente a la zona sobrepresurizada, para mantener la consistencia con los criterios empleados durante la perforación. Esto representaba un control de la presión por anular mucho más complejo que durante la perforación, ya que la misma implicaría el paso por el anular frente a la zona de “presión constante” de fluidos de muy diversa densidad: lodo, espaciador y lechada. Como consecuencia, la contrapresión por anular debía ser regulada, ajustándola permanentemente a medida que fluidos de diversa densidad ascendían por el espacio anular. Esto requiere tanto simulaciones previas apropiadas como monitoreo en tiempo real del trabajo.

Se planificó realizar la cementación en dos etapas. La primera etapa estaba destinada a aislar todo el pozo abierto y además cementar la entrecolumna unos 300 m por encima del zapato de la cañería intermedia (936 m), con una lechada de muy alta densidad (. La segunda etapa fue decidida como elemento de seguridad adicional: lograr que un segundo anillo de cemento impidiera la comunicación de presiones por el anular entre casing de 7” (177,8 mm) y 9 5/8” (244,48 mm) en la contingencia de canalización de gas en la primera etapa. El dispositivo de segunda etapa se colocó unos 100 m por encima del cielo teórico de cemento de la primera etapa (936 m) previendo que en el caso de haber una canalización en el cemento o un diámetro menor de pozo al de 8.75” estimado, el tope de cemento no alcanzara el dispositivo.

Además se decidió colocar un packer inflable (ICP) inmediatamente por debajo del dispositivo de segunda etapa, asentado sobre el casing de 9 5/8” (244,48 mm). El objetivo fue dejar presurizada la zona cementada como una medida extra para prevenir la contingencia de ingreso de gas en el anillo de cemento durante el fragüe posterior a la cementación de la primera etapa.

Debe notarse que el empleo de un dispositivo de segunda etapa combinado con un ICP (ambos accionados hidráulicamente) representó un desafío más para la ejecución del trabajo. Tanto antes como durante la operación se debía controlar cuidadosamente las presiones desarrolladas para prevenir accionamiento prematuro.

Programa de entubación. Se empleó casing de 7” (177,8 mm), 29 lb/pie (43,16 kg/m), grado P110 y conexión sello metal-metal para lograr hermeticidad al gas. Para poder realizar la entubación en desbalance de este diámetro se cambiaron las dos válvulas preventoras tipo rams para stripping y dos válvulas rams de seguridad que estaban preparadas para actuar en el sondeo de 5” (127 mm).

De este modo, la columna de entubación quedó formada por:

- Zapato flotador doble válvula (1531 m)
- 2 casings de 7” (177,8 mm), 29 lb/pie (43,16 kg/m), grado P110
- Collar flotador doble válvula (1501 m)
- Collar de asiento (1501 m)
- Casing de 7” (177,8 mm), 29 lb/pie (43,16 kg/m), grado P110
- Packer inflable, ICP (852,4 m)
- 1 casing de 7” (177,8 mm), 29 lb/pie (43,16 kg/m), grado P110
- Dispositivo de segunda etapa (837,5 m)
- Casing 7” (177,8 mm), 29 lb/pie (43,16 kg/m), grado P110, hasta superficie.

Se incluyeron 10 centralizadores de tipo semirígido de tamaño 7” (177,8 mm) x 8 ½” (215,9 mm) en el tramo de pozo abierto.

Los dispositivos para la cementación (packer inflable y dispositivo de cementación de segunda etapa) fueron seleccionados especialmente para cumplir con los requisitos de este trabajo, la conexión fue sello metal-metal al igual que el casing. Los dos elementos de flotación, fueron

elegidos con doble válvula a fin de garantizar que no ingresaran fluidos del pozo dentro de la columna de casing mientras se bajaba con el pozo en desbalance. El diferencial de presión máximo admitido de las válvulas fue de 4000 psi (27,6 MPa).

En la circulación previa del pozo antes de iniciar la operación de cementación, y durante la operación se debió cuidar que la presión diferencial en el ICP no superara las 1500 psi (10,3 MPa), en virtud que se podía producir un inflado prematuro del ICP, impidiendo de esta manera la circulación del pozo.

Diseño de lechadas

El diseño de lechada de densidad igual o mayor que 2,4 g/mL para la primera etapa planteó varios desafíos, en particular el requerimiento de que la lechada tenga control de gas, resistencia a CO₂ y estabilidad, además de la alta densidad.

En casos como estos, se deben prever varias dificultades que no se presentan en casos más convencionales. Por ejemplo:

- La elevada densidad requiere una alta proporción de sólidos respecto al agua, hecho que dificulta la mezcla.
- La mezclabilidad y la estabilidad de la lechada son características contrapuestas, por lo que es necesario lograr un equilibrio entre ambas.
- La consistencia de la lechada resultante del compromiso arriba indicado suele ser elevada, y se debe procurar que no supere valores en el orden de 30 a 35 Bc durante el tiempo de bombeo.
- En muchos casos las lechadas de alta densidad son sensibles a la partida del cemento empleado y tienen mayor probabilidad de incompatibilidad con los espaciadores.

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.)

Reología. No se intentaron obtener valores reológicos reducidos puesto que comprometerían la estabilidad y, en consecuencia, el control de gas. Para obtener la limpieza adecuada del espacio anular se recurriría a otros medios (circulación y acondicionamiento del lodo previo a la cementación, centralizadores, preflujos, etc.)

Mezclabilidad. La mezclabilidad de la lechada se evalúa habitualmente en el laboratorio con métodos cualitativos. Si bien se han propuesto criterios cuantitativos, estos últimos no son de validez general por lo que no se recomendaron. La evaluación de mezclabilidad en laboratorio fue esencialmente subjetiva, apoyada en la experiencia del personal. Dado que los criterios usuales no suelen ser confiables para lechadas de alta densidad, para este trabajo se buscó sólo lechadas que exhiban ligera dificultad de mezcla.

Para definir una lechada de cemento ajustada a los criterios expuestos, se recurrió a cemento Clase G y los siguientes aditivos:

- Látex sintético (SBR) para control de filtrado con baja viscosidad (consistencia), que mejora la adherencia y resistencia al ambiente ácido que puede generar la presencia de CO₂ y otorga flexibilidad al cemento fraguado (mayor resistencia a la tracción y particularmente a la flexión).
- Poli-Alcohol vinílico (PVA) de grado apropiado para mejorar la adherencia del cemento, y que ofrece control de filtrado, previene la migración de gas y reduce la permeabilidad del cemento.
- Un dispersante con surfactante, con efecto sinérgico para el control del filtrado y de flujo de gas.
- Densificantes
- Retardador,
- Control de fluido libre
- Antiespumante.

Respecto al tema densificante, la baritina cae fuera de consideración por el valor elevado de densidad a obtener. Se hicieron ensayos con hematita, que dieron una reología alta y la observación de su consistencia planteó dudas sobre la mezclabilidad (lechadas B y C de Tabla 1).

Dado que la hematita no es el densificante para lechadas de cemento de mejor desempeño en la industria, se decidió combinarla con un producto densificante dispersable en agua (PDDA). Está compuesto de un 96-98% de óxido de manganeso estable, de densidad 4.9 g/mL, área superficial de 3 m²/g (diez veces superior al cemento API estándar) lo que contribuye a mantenerlo suspendido en el agua de mezcla. Este producto es ampliamente utilizado en lechadas tanto o más pesadas que las buscadas en este caso (referencia 3).

Como el empleo de este producto densificante ofrece alternativas de diseño de propiedades superiores a las que se obtienen con hematita solamente, se decidió importar el material para este trabajo. Su fino tamaño de partícula (5 µm) mejora las propiedades de suspensión, logrando una lechada más homogénea, uniforme y mezclable con facilidad. También por el tamaño de partícula este material contribuye a mejorar las propiedades mecánicas del cemento, incluyendo las de flexibilidad y elasticidad, además del control de intrusión de gas. Una ventaja adicional del PDDA es que permite cambios de último momento por ser un material dispersable en agua. La mezcla de sistemas (lechadas, espaciadores) en locación se flexibiliza y se hace más confiable.

La formulación de la lechada finalmente utilizada combina la hematita con el densificante PDDA, y sus propiedades se detallan en la tabla 1 como lechada A. Debe notarse su menor reología, mejor mezclabilidad y excelente estabilidad. También se obtuvieron diseños alternativos, para eventuales contingencias de mayor densidad.

Contingencias. Las lechadas de alta densidad pueden ser muy sensibles a las variaciones en la partida o lote del cemento empleado, no sólo a la clase o marca del mismo. Por ello se incluyó en la planificación el almacenamiento del volumen de cemento requerido para el trabajo más un exceso para contingencias. Para los ensayos de laboratorio se usaron muestras del cemento reservado.

Además se realizó un yard test (prueba de patio en la base) para mezclar un lote de 20 bbl de la lechada programada con el objeto de emplear las reales condiciones operativas existentes en el trabajo, con los equipos a utilizar. De esta forma se pudo evaluar y detectar posibles dificultades durante el trabajo, comparar los resultados obtenidos con los resultados de laboratorio, detectar contingencias no discutidas previamente, etc. Se evaluó la energía de mezcla necesaria para obtener un correcto mezclado de la lechada a utilizar, pudiendo adoptar medidas adicionales para asegurar una performance satisfactoria durante la mezcla en locación.

Diseño de espaciador

Se seleccionó un espaciador multipropósito (EMP) de alta eficiencia y baja viscosidad que puede ser densificado en un amplio rango (hasta más de 2,7 g/mL) según los requerimientos hidrostáticos. Su baja reología le permite entrar en turbulencia para una máxima limpieza, con una reducida pérdida de carga por fricción.

La experiencia muestra que la posibilidad de incompatibilidad del espaciador con la lechada de cemento se incrementa notablemente cuando ambos sistemas tienen alta densidad (alto contenido de sólidos), por lo que se efectuaron los ensayos respectivos de compatibilidad entre espaciador y lechada de cemento. La formulación final definida para el EMP fue de densidad 1,3 g/mL, que es 0,17 g/mL mayor que la del lodo utilizado.

En previsión de contingencias que demandaran mayores densidades para el espaciador, también se definieron alternativas más pesadas, incluyendo entre ellas el empleo del densificante PDDA. En todos los casos estuvo verificada la compatibilidad con lodo y cemento

Otros aspectos de la planificación

Simulaciones previas al trabajo. Se realizaron simulaciones previas del trabajo para determinar anticipadamente la secuencia de estrangulamiento anular para mantener constante durante toda la operación una presión de 4300 psi (29,6 MPa) a 4500 psi (31,0 MPa) en la zona sobrepresurizada. Para ello se empleó software con amplia capacidad de procesamiento y seguimiento de variables a diversas profundidades (referencias 4 y 5)

Dado el carácter inusual del trabajo (no se encontraron antecedentes del mismo para este tipo de aplicación) el software de simulación debió emplearse con algunos cambios que permitieran la determinación por anticipado de las variaciones de contrapresión variable a aplicar durante la operación. A ese efecto debió recurrirse a un procedimiento de cálculos auxiliares específicamente desarrollado para este trabajo. Con datos producidos por el simulador, con planillas de cálculo se generaron archivos de resultados de la secuencia de presión anular en superficie para cada instante.

Coordinación previa. Además de los aspectos de planificación y contingencias ya mencionados (lechadas, preflujos y simulaciones), fue muy importante para el éxito de esta operación la coordinación y comunicación de los integrantes de las diversas compañías involucradas debido a las barreras idiomáticas y a la diversidad de servicios comprometidos en la operación. Desde meses antes del trabajo, se fueron realizando diversas reuniones con los representantes de todas las compañías involucradas (operadora y de servicios) donde, amén de revisar potenciales problemas y contingencias, se repasó detalladamente la secuencia de la operación y las funciones asignadas. Otro reto importante lo constituyó la adaptación del procedimiento de la operación de cementación al trabajo en una unidad snubbing montada sobre un equipo de perforación convencional.

Equipamiento utilizado en la operación y su montaje. Para este trabajo se contó en locación con batch mixer para la mezcla del volumen completo de lechada, equipo de bombeo con sistema de medición de densidad electrónico, bombeador de back up, equipamiento de monitoreo analógico-digital y en PC de la operación con simulación en tiempo real de los parámetros medidos y calculados.

La comunicación entre los operadores de la compañía de cementación, ingenieros, operadores de válvulas de contrapresión de anular y supervisor de la compañía operadora se realizó con equipos inalámbricos, para asegurar una rápida toma de decisiones y eventuales ajustes durante el desarrollo de la operación.

Debido a la gran cantidad de servicios y herramientas involucradas en la operación la ubicación de los equipos se hizo con suficiente anticipación, coordinado la logística con el resto de las compañías que también debían movilizar cargas importantes (casing, grúa de snubbing, tendido de sensores de presión, líneas hidráulicas de control a distancia, etc.). El montaje de línea de bombeo de 2" se realizó hasta la cabeza de cementación a la altura de la "jaula" de la unidad de snubbing (30 m de altura).

Ejecución de la cementación

Primera Etapa. Puesto que no se realizó un registro de calibre del pozo (caliper) por limitaciones operativas, se optó por suponer un diámetro promedio de 8,75" (222 mm).

Antes de iniciar la operación, el pozo se circuló en condiciones similares a las que se iba a cementar, puesto que durante la perforación el pozo fue sometido a menores presiones. Es así que se circuló a un caudal de entre 5 bpm (0,8 m³/min) y 6 bpm (0,95 m³/min) restringiendo el anular con una contrapresión de 2200 psi (15,2 MPa), circulando un volumen total de 300 bbl (48 m³), verificando que **no hubo pérdidas** de circulación.

Un aspecto clave fue el monitoreo y simulación en tiempo real, lo que requirió la adquisición de datos de presión (directa y contrapresión), densidad y caudal con diversos sensores. Estos estaban colocados en la línea directa de bombeo, lo más cerca posible de la cabeza de pozo. El sensor de presión anular se colocó antes de la válvula de choke comandada por personal del equipo de snubbing que se encontraba en permanente contacto con los ingenieros de la compañía de servicio, a fin de seguir la secuencia de estrangulación programada. El caudal y densidad de los fluidos fue registrado con un densímetro-caudalímetro de masa para tener un correcto control de las densidades y volúmenes bombeados.

Se cementaron 300 m de pozo abierto y unos 300 m de cruce de cañerías, es decir 600 m en total, utilizando 54 bbl (8,6 m³) de una única lechada de densidad 2,4 g/mL, a un caudal promedio de 5 bpm. A pesar de la alta densidad, se obtuvo una lechada fluida de fácil mezclabilidad y colocación en el anular. Se utilizaron 30 bbl (4,8 m³) de EMP, los que constituían 340 m de altura en el anular, de densidad 1,3 g/mL, que permitió la limpieza del pozo por acción turbulenta y química (incluyó en su composición un 1% de surfactante). El desplazamiento se llevo a cabo con 184 bbl (29,3 m³) de agua de acuerdo a la siguiente secuencia: 144 bbl (22,9 m³) a 6 bpm (1,0 m³/min), 36 bbl (5,7 m³) a 4 bpm (0,6 m³/min) y 6 bbl (1,0 m³) a ½ bpm (0,1 m³/min), hasta lograr tope de tapón. El pozo circuló normal durante toda la operación. No se observaron pérdidas de circulación.

En la figura 1 se observa el desarrollo de presiones y caudales durante la operación. La figura 2 muestra los valores de presiones (tanto calculadas previamente al trabajo, como las registradas durante el monitoreo) en el zapato y en la profundidad "crítica" de 1293 m. Se aprecia que el control logrado fue ampliamente exitoso, manteniéndose la presión frente a la zona crítica dentro del rango previamente fijado.

En la figura 3 se muestra parte del perfil de cemento de esta etapa. El tope de cemento real fue levemente inferior al programado y esto se atribuye a que el caliper del pozo fue supuesto y no medido por medio de perfil.

Esta fue la primera experiencia en el mundo de cementación manteniendo una contrapresión variable en trabajos de este tipo (cuanto menos no existen antecedentes publicados). Además el uso de un packer inflable y un dispositivo de cementación de segunda etapa hizo la operación más crítica.

Inflado del ICP y apertura del dispositivo de segunda etapa.. Si bien el inflado del ICP se realiza con un pequeño volumen de fluido (6 lts.), fue posible ver que el mismo ocurrió por una variación en la presión por directa, por la apertura de la válvula de inflado. Lo mencionado se puede ver en la figura 4. El inflado del ICP se debía realizar con 1500 psi (10,3 MPa) de presión diferencial en el mismo. Durante la operación ocurrió según el gráfico con 1700 psi (11,7 MPa) aproximadamente.

En la figura 4 también se puede observar la apertura del dispositivo de segunda etapa. En el gráfico al caer la presión por directa (roja) e incrementar la presión de anular (azul) indica apertura del dispositivo. La apertura teórica del dispositivo debía ocurrir con 2500 psi (17,2 MPa) de presión diferencial: en la operación ocurrió con 2600 psi (17,9 MPa) aproximadamente.

Una vez ocurrida la apertura del dispositivo se despresuriza el anular, se circula el pozo y se observa retorno. Se deja en fragüe de cemento 6 h, antes de realizar la segunda etapa.

Segunda Etapa. Luego de haber inflado el packer (ICP) y abierto los orificios de circulación del dispositivo de cementación de segunda etapa, esta constituyó en una operación “convencional” sin mayores riesgos, puesto que el ICP aislaba la zona inferior del pozo.

Se previó un anillo de 350 m. entre cañerías de 9 5/8” (244,48 mm) y 7” (177,8 mm), dejando 500 m de anillo sin cemento para permitir el colgado de la cañería de 7” (177,8 mm) luego de esperar fragüe de la primera y segunda etapa.

Conclusiones

1. Se logró cementar manteniendo en la zona presurizada (1293 m) un rango de presión preestablecido en alrededor de 4400 psi (30,3 MPa), utilizando un esquema de contrapresión variable calculado con la ayuda de un simulador. El empleo de contrapresión variable para cementar no tiene antecedentes publicados en este tipo de trabajos.
2. La planificación minuciosa y la estrecha coordinación con los representantes de las diversas compañías involucradas en la operación permitió llevar a cabo una exitosa ejecución del trabajo.
3. El detallado análisis de las contingencias previstas minimizó los posibles riesgos durante la operación
4. La operación de inflado del packer y apertura del dispositivo de segunda etapa se realizaron según lo programado a pesar de la ajustada evolución de presiones durante el trabajo
5. Los ensayos de laboratorio de distintas alternativas de lechada y preflujos permitió seleccionar los fluidos más adecuados para esta operación.
6. Debido a la buena comunicación, coordinación y evaluación de riesgos que se hizo al inicio de la perforación 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 Chevron San Jorge S.R.L. y a BJ Services S.A. por el permiso de publicar este trabajo. El agradecimiento también se extiende a todas las personas que colaboraron en el extenso trabajo de laboratorio y al personal de las distintas Compañías que con diligencia participaron en los trabajos de campo.

Referencias

- 1) Novotny, R.; “Gas Well Cements: From the Lab to the Field”, presentado en el Third Brazilian Congress of Petroleum, Río de Janeiro, Brasil, mayo 1986
- 2) Dean, G. y Brennen, M.; “A Unique Laboratory Gas Flow Model Reveals Insights To Predict Gas Migration in Cement”, paper SPE 24049 presentado en el Western Regional Meeting, Bakersfield, USA, marzo 1992
- 3) Johnston, N. C. y Senese, M.; “New Approach to High-Density Cement Slurries for Cementing High-Pressure, High-Temperature Wells”, paper SPE 24976 presentado en la European Petroleum Conference, Cannes, Francia, noviembre 1992
- 4) Briggiler, N., “Aplicación de microcomputadoras en el diseño de cementaciones”, presentado en el Primer Simposio Argentino de Cementación de Pozos, Comodoro Rivadavia, Argentina, 1985.
- 5) Purvis, D. y St. Clergy, J; “Eliminating the Unknowns of Primary Cementing With On-Site Verification and Post-Job Analysis”, paper SPE 23991, 1992 Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference, Midland, USA



TABLA 1: PROPIEDADES DE LECHADAS

Lechada	A	B	C
Densidad, g/mL	2,40	2,41	2,52
Temperatura estática de fondo, °C	60	60	60
Composición			
Cemento	Clase G	Clase G	Clase G
Hematita, %	45	75	110
Densificante PDDA, %	30	-	-
Látex Sintético SBR, %	8	8	8
Reductor de filtrado PVA, %	0,4	0,4	0,3
Dispersante, %	0,8	0,8	0,7
Retardador, %	0,2	0,2	0,2
SMS, %	0,1	0,1	0,1
Antiespumante, %	0,2	0,2	0,2
Relación Agua/Cemento, %	43,5	43,5	48
Rendimiento, L/bolsa	45,76	45,73	51,53
Propiedades lechada			
Agua libre a 45°, cm3	0	Trazas	Trazas
Reología	Media alta	Alta	Alta
Filtrado, cm3/30 min	29	17	36
Tiempo de espesamiento, min	133	210	249
Resistencia a la compresión 12 h (psi)	2420	1560	nd
Resistencia a la compresión 24 h (psi)	4000	2860	nd
Resistencia a la compresión 48 h (psi)	4470	3150	nd
Control de gas	Bueno	Bueno	nd
Sedimentación (variación densidad), g/mL	0,01	0,01	0,01

Factores de conversión SI (International system of Units)

$$\begin{aligned} \text{L/bolsa} \times 2.000 \text{ E-02} &= \text{L/kg} \\ \text{psi} \times 6.895 \text{ E-00} &= \text{kPa} \end{aligned}$$

FIGURA 1: PRESIONES Y CAUDALES DURANTE LA CEMENTACIÓN 1ra. ETAPA

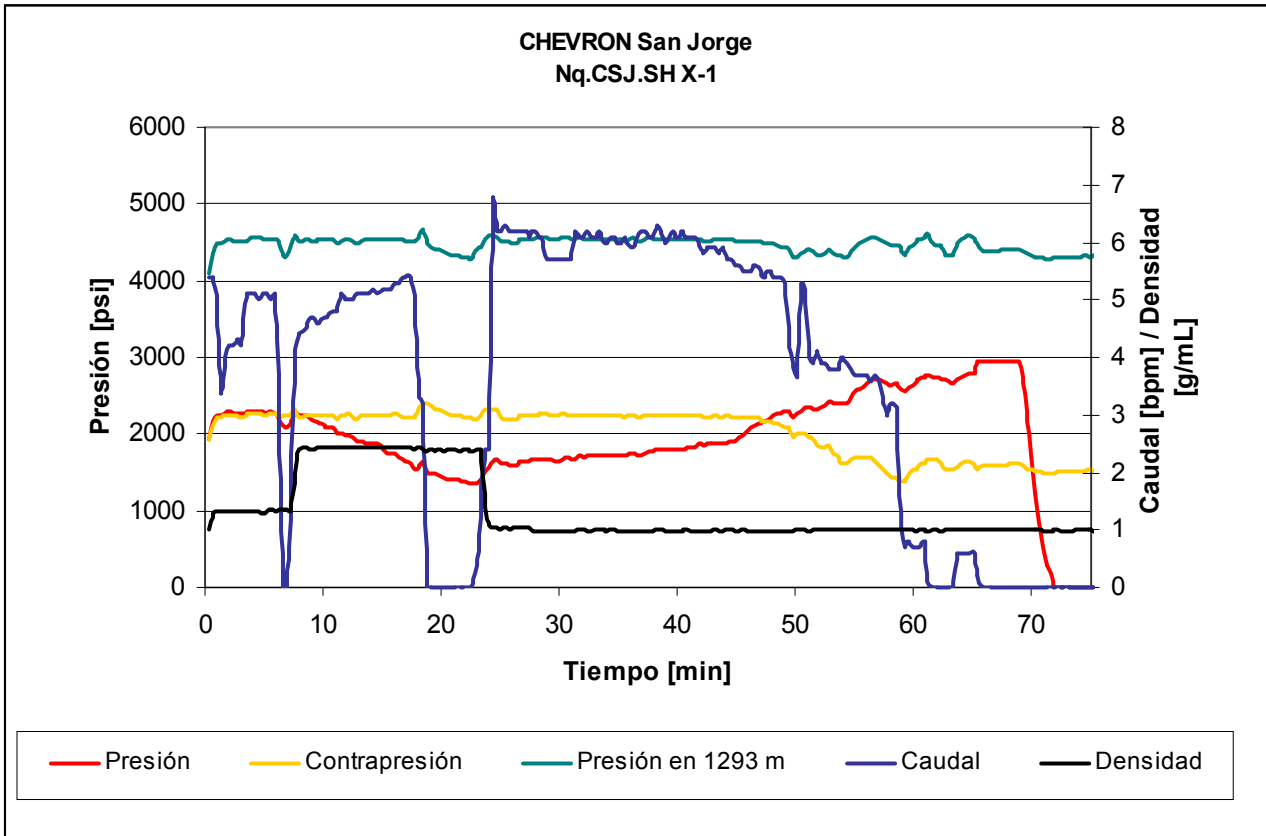


FIGURA 2: COMPARACIÓN PRESIONES CALCULADAS Y REGISTRADAS

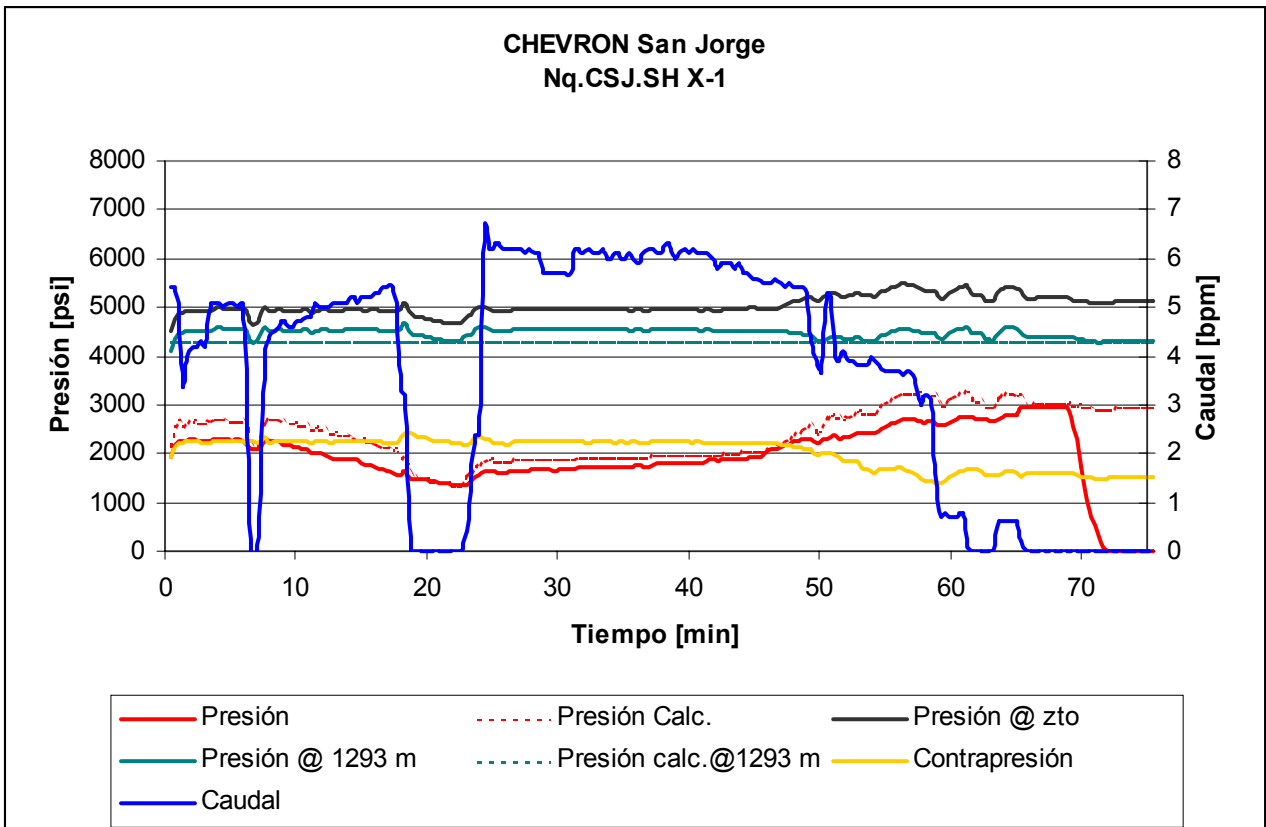


FIGURA 3: TRAMO DE REGISTRO DE CEMENTO OBTENIDO EN LA 1ra. ETAPA

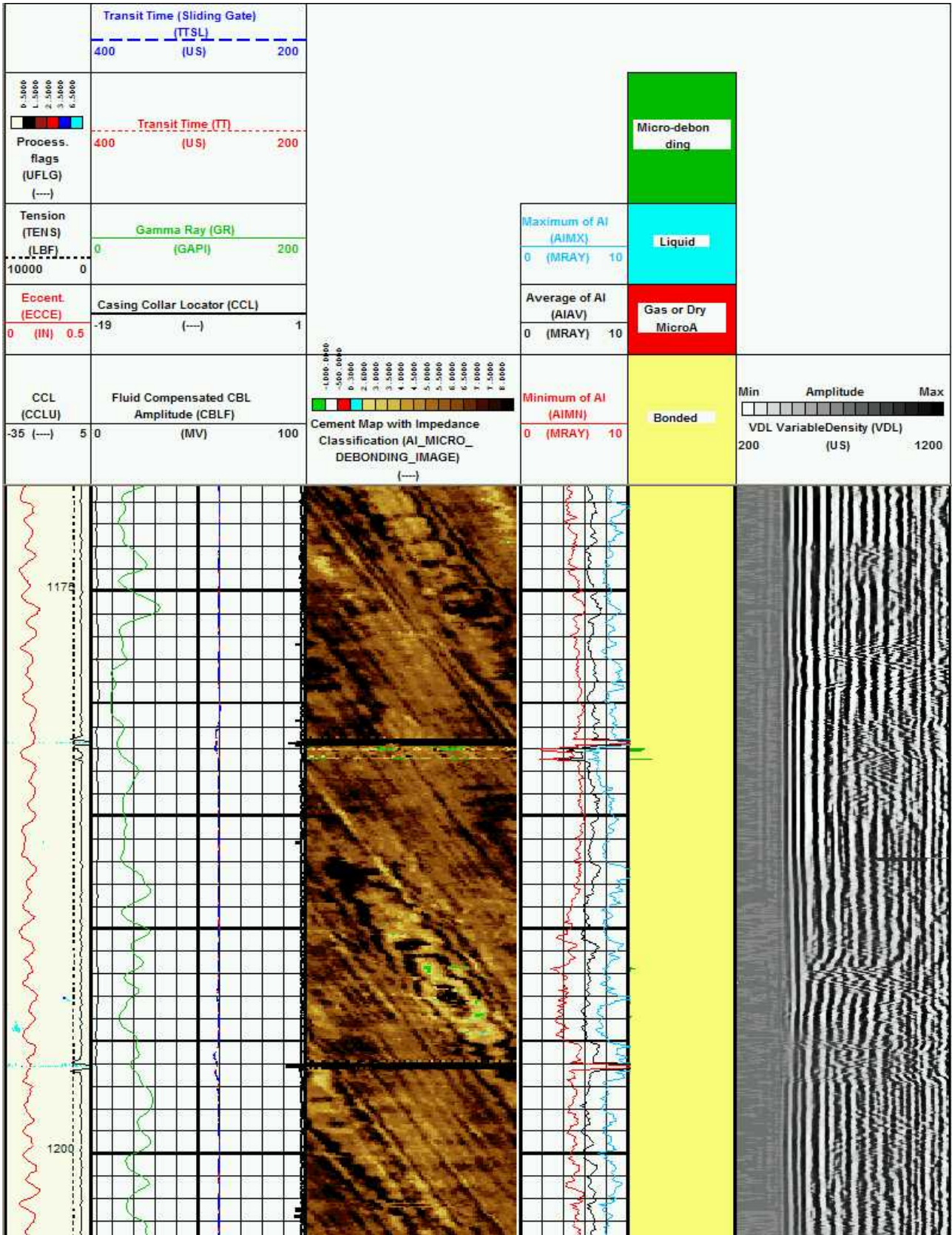


FIGURA 4: INFLADO DE ICP Y APERTURA DEL DISPOSITIVO

