

Congreso de Perforación 2005
3 al 5 de Octubre, Buenos Aires, Argentina

Título:

“EVOLUCION DE LAS OPERACIONES DE ENTUBACION Y CEMENTACION PRIMARIA EN YACIMIENTO EL TORDILLO”

Autores:

Horacio Iagdes; Sergio Chávez; Carlos Degni
Tecpetrol S.A.

1. ABSTRACT

En su yacimiento El Tordillo de la cuenca del Golfo San Jorge, Chubut – Argentina, la empresa TECPETROL S.A ha experimentado severos problemas de limpieza y pérdida de circulación durante la perforación y cementación de cañerías de producción de pozos direccionales perforados en zonas muy depletadas correspondientes a las formaciones El Trébol y Comodoro Rivadavia superior.

Las profundidades medias de los dos pozos tipo son 1800 m y 3000 m. En ambos casos el tope de cemento se programa a 1300 m para aislar zonas que producen por recuperación secundaria.

A pesar de haber optimizado la programación y de aplicar estrictamente los procedimientos de entubación, acondicionamiento previo y cementación en etapa única se experimentaron algunos resultados considerados insatisfactorios tras incrementar el porcentaje de pozos direccionales desde un 10% a mas del 50% del total (Gráfico 1)

En los últimos dos años se revisó y modificó el procedimiento que se seguía para la entubación, acondicionamiento y cementación de las cañerías de producción - 5½” y 7” - adaptándolo al creciente número de pozos direccionales.

Se adaptó el criterio para establecer las profundidades intermedias de circulación durante la entubación, se mejoró la centralización de los pozos direccionales en ‘S’ en la zona de la curva y se continuó con el uso de espaciadores espumados con N2 que contribuyen a mejorar el desplazamiento del lodo y a alivianar la columna.

Los resultados fueron satisfactorios lográndose reducir las pérdidas de circulación y mejorar la limpieza de los pozos.

Hasta la fecha se han cementado en una etapa más de 80 pozos usando este procedimiento actualizado logrando alcanzar regularmente los topes de cemento programados.

Las adherencias de cemento a cañería y formación son excelentes obteniendo resultados consistentes y el apreciable ahorro que esto significa.

2. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2002 a la fecha se perforaron en el Yacimiento El Tordillo, usando lodos base agua (PHPA o complejo aluminio), alrededor de 200 pozos con profundidades comprendidas entre 1800 m y 3500 m.

Las formaciones que se atraviesan son de origen fluvial, de edad terciaria y cretácica. El fluido producido normalmente es petróleo con un porcentaje de agua mayor a 50%. Las formaciones productivas están compuestas por arenas de pequeño a mediano espesor pertenecientes a tres formaciones: El Trébol (500 m a 1300 m), Comodoro Rivadavia (1300 m a 1900 m) y Mina El Carmen (1900 m a 3500 m).

La complejidad que presenta la perforación, entubación y cementación de estos pozos abarca distintas situaciones a considerar durante la programación:

- pérdidas de circulación en diferentes estratos sobre todo en El Trébol
- la topografía e instalaciones de superficie obligan a ubicar la locación en puntos accesibles quedando el objetivo productor distanciado hasta 200 m desde la boca de pozo, lo cual conduce a perforación direccional
- el riguroso control de verticalidad antes y después de fallas pronosticadas por los geólogos del reservorio
- durante las entubaciones el pegamiento por presión diferencial de las cañerías
- pérdida de circulación durante las entubaciones y en la cementación propiamente dicha
- los esfuerzos a que son sometidos los pozos posteriormente durante las operaciones de cierre, reapertura, conversión productor-inyector
- estimulaciones hidráulicas

Durante el trabajo se consideran todos estos factores estableciendo una serie de reglas prácticas para el diseño del casing, entubación y cementación. La evolución de las cementaciones muestra como saldo un alto porcentaje de pozos con excelente resultado en su cementación.

Los pozos a cementar se dividen a los fines prácticos de acuerdo a su profundidad, diámetro de trepano y de casing:

- a) **Someros:** en el rango de 1800 m a 2200 m.
- b) **Profundidad media:** hasta 2600 m.
- c) **Profundos:** en el rango de 2800 m a 3500 m

Los intervalos a revestir con el casing de producción son perforados con trépano de 8 ½" y entubados con casing de 5 ½" o con trépano de 9 7/8" y entubado con casing de 7". En general los anillos de cemento requeridos van desde el fondo hasta 1200 m – 1300 m.

3. PROGRAMACIÓN

La programación y preparación para la cementación comienza con la maniobra de calibre posterior al perfilaje del pozo y finaliza luego de desarmar la columna de perforación. Dicha programación y preparación consiste en:

- Selección del tipo y número de centralizadores en base al calíper, diámetro de casing y trayectoria del pozo. Parte de la simulación previa corrida por las compañías de servicio.
- Adopción de las profundidades de circulación intermedias durante la entubación en función de la trayectoria, experiencia previa en pozos de referencia y posición de las arenas productivas.

- Los caudales de circulación con casing en fondo se van incrementando escalonadamente hasta alcanzar la velocidad ascensional máxima pronosticada por el simulador para el período de caída libre durante la cementación a fin de asegurar la limpieza del anular.
Se usa un simulador y planillas de cálculo para determinar el índice de capacidad de acarreo y número de Reynolds de los fluidos y su capacidad de transporte de sólidos.

El diseño básico de las cementaciones contempla el uso de trenes de fluidos de diferente viscosidad, densidad y propiedades químicas, como preflujos mecánico y limpieza química respectivamente:

Preflujo mecánico: el gel base agua densificado con Sílice (PMDS) y crosslinkeado es atomizado con nitrógeno en proporciones de ~300scf/Bbl para generar espuma estable con densidad 6 ppg a 8 ppg en condiciones de presión y temperatura de fondo.

Se logra de esta manera un efecto que combina la energía del N₂ con reducción de densidad e incremento de la viscosidad aparente. El fluido energizado se descomprime rápidamente en el anular con velocidad ascensional variable viendo de esta manera incrementada su capacidad de remoción y transporte de sólidos (recortes y revoque parcialmente deshidratado). Ver Graficos 8 y 9 del Apéndice

Para mejorar la eficiencia de barrido y evitar el puenteo de los sólidos transportados en el espacio anular se divide el volumen en dos o tres batches bombeándolos en secuencia alternada con los colchones químicos.

Colchón químico: las formulaciones varían según la compañía de servicio e incluyen surfactantes, ácido clorhídrico, agentes oxidantes y otros químicos destinados a reaccionar con el revoque parcialmente deshidratado. En cada caso se recomiendan volumen y composición de acuerdo a los ensayos de eficiencia de limpieza corridos en laboratorio. Son energizados con ~150 scf/bbl de N₂ a fin de lograr un mejor efecto de barrido.

Preflujo obturante: adicionalmente, en pozos con antecedentes de pérdidas de circulación se incluye un preflujo obturante. Este preflujo, ampliamente conocido en la industria, está compuesto por una secuencia en base a metasilicato de sodio diluido bombeada secuencialmente con batchs de H₂O + 10% Cl₂Ca espaciadas por una salmuera de Cloruro de Potasio.

Los resultados que han dado estos preflujos obturantes en la zona han sido eficientes para mitigar admisiones y mejorar la adherencia a formación.

4. ACONDICIONAMIENTO DEL POZO

Con el objetivo de reducir la dificultad para entubar y mejorar el acondicionamiento de los pozos, optimizando las circulaciones previas a desarmar sondeo y a la cementación se enumeran una serie de recomendaciones incluídas en el procedimiento operativo vigente (ver en Apéndice el Esquema de la secuencia de Acondicionamiento):

Circulación previa al perfilaje: Se indica circular al menos un volumen de circuito (superficie+pozo), inyectando una píldora dispersa seguida de otra viscosa al comienzo de la circulación. Estimar el tiempo de retorno de ambos espaciadores de barrido y comprobar en superficie su retorno antes de dar por finalizado el bombeo.

Acondicionamiento previo a desarmar sondeo: Es esta etapa deben concentrarse los esfuerzos necesarios para maximizar la remoción y transporte a superficie de sólidos erosionados por el lodo. Luego de contar con el calibre del pozo abierto, con la participación de los ingenieros de campo se calcula la hidráulica y basándose en ella se completa la planilla que sirve como guía del procedimiento Ver Tabla 2 del Apéndice.

Para asegurar la eliminación de los sólidos desprendidos del revoque por la erosión del lodo, se recurre al bombeo periódico de píldoras dispersas seguidas de espaciadores viscosos (volumen a determinar en cada caso en función del calibre) para aprovechar la combinación de la acción de remoción de los baches turbulentos combinados con la elevada capacidad de acarreo de las píldoras viscosas. Ambos espaciadores se formularan a partir del lodo base con que se esté perforando, floculando–dispersándolo para la turbulenta y viscosificándolo con XCD para la de barrido.

NOTA: Se establece el caudal máximo recomendado en función de la E.C.D máxima aceptable, considerando los antecedentes de admisiones y/o pérdidas de circulación.

Circulaciones intermedias durante la entubación: En función del tipo de pozo se sigue una las siguientes secuencias:

Pozos verticales:

- Entubar hasta zapato de la cañería guía. Circular fondo–arriba (capacidad anular entre casings)
- Continuar entubando hasta las profundidades previamente establecidas en función de los datos de perforación y perfilaje. En cada posición, inyectar una píldora viscosa, circular un volumen de pozo (capacidad del casing + volumen anular) verificando el retorno de la misma a superficie.
- Entubar hasta profundidad final.

Pozos dirigidos:

En estos pozos se dejará balanceada una píldora lubricante previo a sacar sondeo desarmando.

- Entubar hasta el zapato de la cañería guía. Circular un volumen anular (fondo - arriba)
- En pozos con curva S con KOP cercanos al zapato de la guía, entubar hasta la profundidad donde vuelve a la vertical (por debajo de la S) y circular un volumen de pozo - siempre y cuando se pueda reciprocarse -(capacidad del casing + volumen anular) inyectando una píldora viscosa, verificando el retorno de la misma a superficie.
- Continuar entubando profundidad final sin circulaciones intermedias, cuidando especialmente no permanecer con la cañería estática por un período prolongado durante los agregados.

Acondicionamiento previo a la cementación: Al alcanzar la profundidad final de entubación se deberá colocar la cabeza de circulación y bajar el último tubular circulando a bajo régimen. Una vez establecida la circulación se bombeará al caudal inicial fijado mientras se reciproca lentamente la cañería (de ser posible sin que el casing sea sometido a una carga excesiva). El régimen de bombeo se incrementará gradualmente (escalones de 40 – 50 gal / min.). Se intentará llegar a circular al máximo caudal estimado en el anular durante la cementación (caída libre de lechadas). Ver Gráficos 2 y 3 del Apéndice.

Este proceso requiere de un monitoreo continuo de la presión en superficie y de la cantidad de recortes en zaranda. Por ello es que no se establece anticipadamente el tiempo total de circulación y se requiere decidir basándose en las condiciones particulares de cada operación.

Luego de acondicionar correctamente el pozo, se detendrá brevemente el movimiento del casing y el bombeo, se arrojará la “bolita” para activar los elementos de retención y colocará la cabeza de cementación con los tapones cargados.

El ingeniero de campo conjuntamente con el supervisor de perforación estimaran las presiones de circulación calculadas con los parámetros reológicos del lodo en cada caso particular. Ver Tabla 2 del Apéndice.

IMPORTANTE: Se evita iniciar operaciones de cementación cuando elevadas presiones de circulación en superficie indiquen restricciones anulares (caso que se tenga un $\Delta p > 200$ psi).

De ser posible mover el casing, la longitud de la carrera de reciprocación se incrementará luego del primer retorno de recortes a superficie evitando traccionar o que se asiente excesivamente la cañería durante toda la circulación previa y cementación propiamente dicha.

Consideraciones especiales:

- Asentamiento del casing: tanto para pozos verticales como dirigidos si la cañería tiende a asentarse durante la entubación, se coloca la cabeza y se circula reciprocando.
- Aprisionamiento del casing: tanto para pozos verticales como dirigidos si la cañería se asienta y queda aprisionada, las maniobras tendientes a su liberación se realizan lentamente aplicando como máximo el 80% la tensión tabulada del cuerpo del casing o conexión (el que resulte menor) y limitando el número de ciclos para evitar fatiga.

Como parte de la aplicación de este procedimiento se realizan una serie de cálculos hidráulicos determinando, además de la densidad equivalente de circulación (ECD), el índice de capacidad de acarreo de sólidos (CCI) correspondientes al lodo y espaciador viscoso a fin de predecir las condiciones de remoción y transporte de sólidos durante los acondicionamientos.

Esta correlación, que ha resultado de gran utilidad para planificar la limpieza de los pozos, se calcula usando la siguiente ecuación empírica (ver Tabla 2 del Apéndice):

$$CCI = \frac{MW \times k \times AV}{400,000}$$

donde:

MW =	Densidad del lodo [ppg]
k =	Viscosidad del lodo [cp]
AV =	Velocidad anular [ft/min]

Se realizan los cálculos de hidráulica y del CCI del lodo de reología acondicionada simulando el acondicionamiento con el sondeo en el pozo. Con el fin de adoptar un criterio se repite el cálculo para varios caudales de circulación (escalonando con incrementos de 50 gal /min hasta el estimado para alcanzar una VA de 250 fpm. Ver Gráfico 2 del Apéndice.

5. HISTORIA DE CASO : Cañería de 7" pozo S-2416 – Yacimiento el Tordillo

Cuando se requiere la entubación de casing de producción de 7" los pozos se perforan usando trépanos de 9 7/8" para contar con un huelgo más amplio a fin de mejorar las condiciones de entubación, acondicionamiento y cementación.

Se notó que al ingresar a la Fm. Mina El Carmen, por debajo de los 2500 m, las penetraciones con trépanos de 9 7/8" pueden verse reducidas debido a la dureza de la formación. En estos casos se emplea trépano de 8 3/4" para continuar perforando por su mejor performance.

Gran número de pozos dirigidos con perfil "S" perforados sin inconvenientes con este criterio han presentado problemas durante la entubación, para lo cual se modificó el procedimiento de acondicionamiento según lo descrito en el punto 4. de esta presentación.

La estadística muestra que durante los años 2002 al 2004 se entubaron 30 pozos con casing de 7", de estos 30 pozos:

- Año 2002: se entubaron 11, el 100% sin pérdidas en las circulaciones previas a la cementación.
- Año 2003: se entubaron 14, el 36% de ellos tuvo problemas de circulación.
- Año 2004: se entubaron 5, el 60% tuvo problemas de circulación.

Estos valores mostraron una problemática creciente en las entubaciones de pozos de 9 7/8" con casing de 7" en zonas cada vez mas depletadas, por lo que se realizó un estudio tendiente a resolver dicho problema.

Como resultado de dicha evaluación concluimos que los factores mas importantes a tener en cuenta a la hora de confeccionar el próximo programa eran:

- La zona donde se perfora, ya que existe clara tendencia a no circular en determinados bloques del yacimiento (casualmente los mas perforados).
- Reducir 50% la velocidad de entubación a por lo menos 40 segundos por tubo (el promedio era de 20 seg/tubo). El solo hecho de entubar pozos de 9 7/8" con cañería de 7" genera un gradiente de sobrepresión ~67% mayor respecto al de las entubaciones de casing de 5 1/2" en pozos perforados con trépano de 8 1/2".
- Como el gradiente de presión antes mencionado es directamente proporcional a la viscosidad del lodo, se trata de que esta sea lo menor posible a la hora de entubar.

Luego de ese análisis se replanteo el programa de entubación tratando de contrarrestar todas las causas por la cuales inferíamos surgían los problemas de pérdida de circulación en la zonas depletadas mencionadas anteriormente.

Esta mejora se implementó exitosamente en abril de 2005 en el pozo S-2416 perforado direccionalmente con trayectoria en "S" cuyas principales características son:.

- Profundidad final: 2863 m
- KOP: 560 m
- Punto de verticalización: 1193 m
- Inclinación máxima: 15.62°

Se minimizaron los valores de viscosidad del lodo, se redujo la velocidad de bajada de los tubos a 40 seg/pieza y realizaron circulaciones cada 200 m iniciando el bombeo a mínimo N° de emboladas e incrementando gradualmente el caudal a medida que la presión en superficie iba cediendo.

Se adjunta el gráfico N° 6, preparado con los valores de caudal y presión en superficie registrados durante las tres últimas circulaciones de la entubación y en el acondicionamiento en fondo.

Con estos datos se calculan las ECD en el fondo para las condiciones de lodo existentes y el índice de capacidad de acarreo (CCI), se pueden así analizar las condiciones de limpieza y estimar que porcentaje del lodo está siendo removido.

La cementación del pozo S-2416 resultó excelente, se corrió un perfil de calidad de cemento que no justificó ninguna reparación, se realizaron los punzados y pruebas de hermeticidad correspondientes y el pozo está produciendo en la actualidad. Ver Gráfico 7 del Apéndice.

6. CONCLUSIONES

- o Se disponen de herramientas y métodos de programación adecuados para acondicionar el pozo de manera correcta. Dichas herramientas son sencillas y están al alcance del ingeniero. Basta con emplear las fórmulas de hidráulica que se citan y determinar para las condiciones del pozo los caudales de limpieza.
- o El empleo de baches viscosos y fluidos en la etapa previa a desarmar la columna de perforación es importante para la limpieza adecuada y su monitoreo debe ser la preocupación del ingeniero que programa la entubación.
- o La selección adecuada de los puntos de circulación intermedios es importante en la programación de la entubación. La remoción del lodo se puede dificultar con los recortes que arrastran los centralizadores en los pozos direccionales. La solución a esto es incrementar el número de circulaciones intermedias
- o La sobrepresión que genera la velocidad de bajada de los tubos debe controlarse en todos los casos, esto puede ser mediante fórmulas en una planilla de cálculo ó programas de computación en función del peso del lodo, su reología y la geometría del pozo.
- o El cálculo del índice de capacidad de acarreo (CCI) es una medida empírica que debe monitorearse en conjunto con la densidad equivalente de circulación (ECD) para la limpieza del anular.

GLOSARIO:

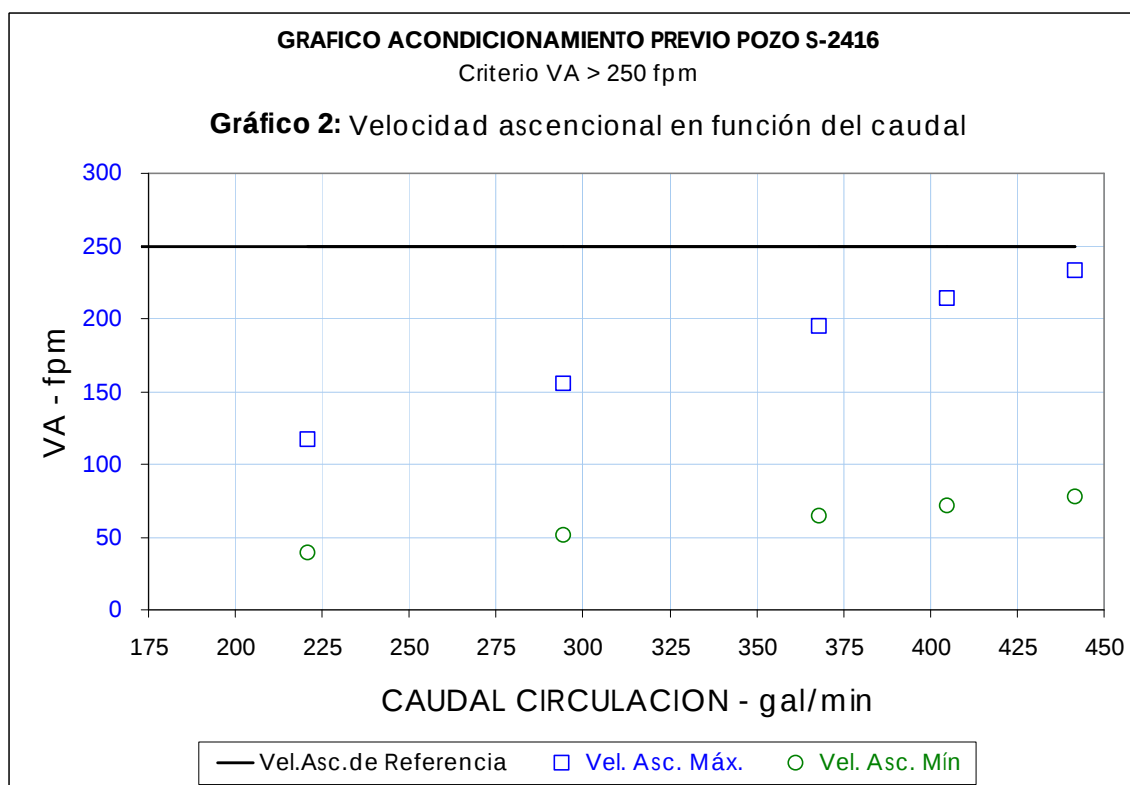
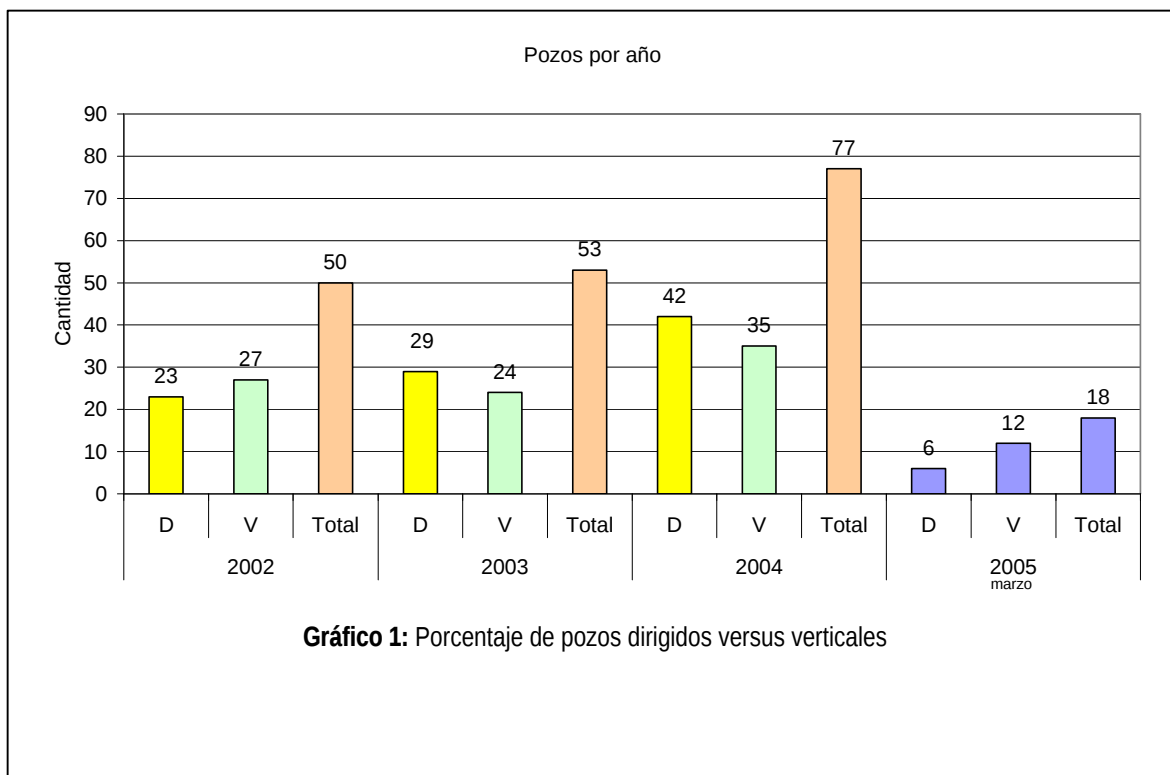
- Stand off: es una medida de la excentricidad de la cañería respecto al pozo
- CCI: Índice de capacidad de acarreo
- ECD: Densidad equivalente de circulación
- Cáliper: medida del perfil del pozo ó diámetro del pozo a lo largo del mismo

REFERENCIAS:

1. Empirical correlation for borehole cleaning developed - Dr. Leon Robinson – Petroleum Engineer International – September 1993
2. SPE 53955 - Primary cementing optimization: Well Conditioning Procedure and Foamed spacer Use Carlos D. Degni, Tecpetrol S.A; Carlos R. Marcinkevicius, Halliburton Argentina S.A
3. SPE 22774 Large-Scale Experiments Show Proper Hole Conditioning : A Critical Requirement for Successful Cementing Operations. R.M.Beirute (AMOCO) and F.L.Sabins - K.V.Ravi (Halliburton Services) 66th Annual Technical Conference and Exhibition of SPE-Dallas, Tx-October 6-9 1991.
4. SPE 24571 ERODABILITY OF PARTIALLY DEHYDRATED GELLED DRILLING FLUID AND FILTER CAKE. R.M.Beirute (AMOCO) and R.L.Covington-K.V.Ravi (Halliburton Services) 67th Annual Technical Conference and Exhibition of SPE-Washington, DC October 4-7 1992.
5. SPE 26574 Improve Primary Cementing by Continuous Monitoring of Circulatable Hole. R.M.Beirute (AMOCO) and R.L.Covington-K.V.Ravi (Halliburton Services) 68th Annual Technical Conference and Exhibition of SPE-Houston, Tx October 3-8 1993.
6. Applied drilling Engineering – SPE Text book Series – Vol. 2

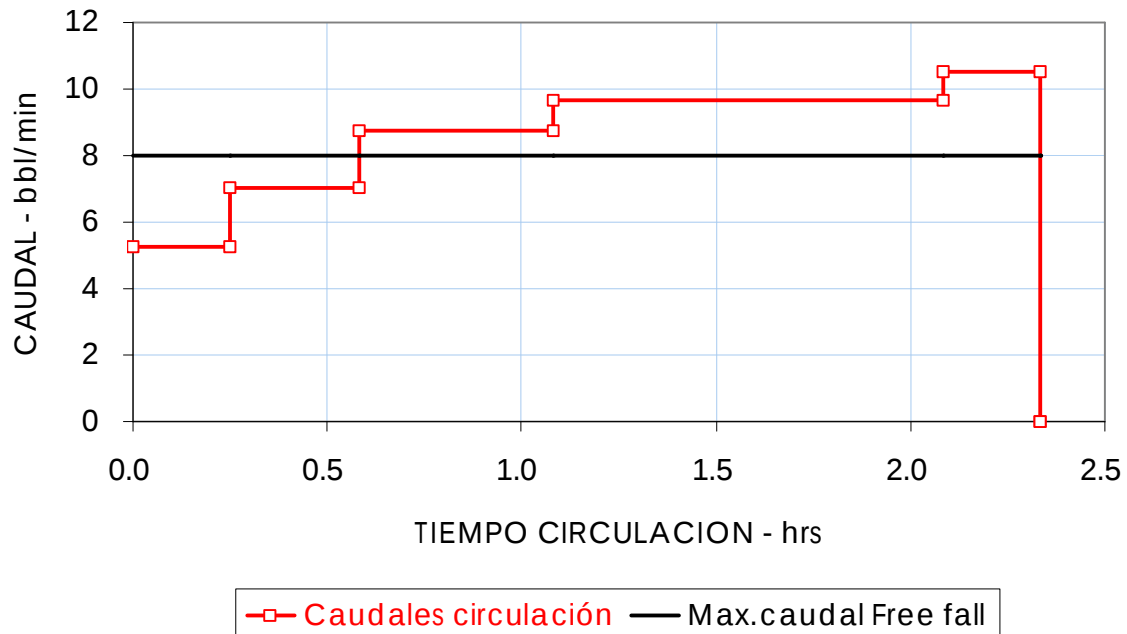
APENDICE

Gráficos y Tablas



ACONDICIONAMIENTO CON CASING @ TD POZO S-2416

Gráfico 3: Tiempo de circulación versus caudal



Indice de capacidad de acarreo Condiciones de perforación

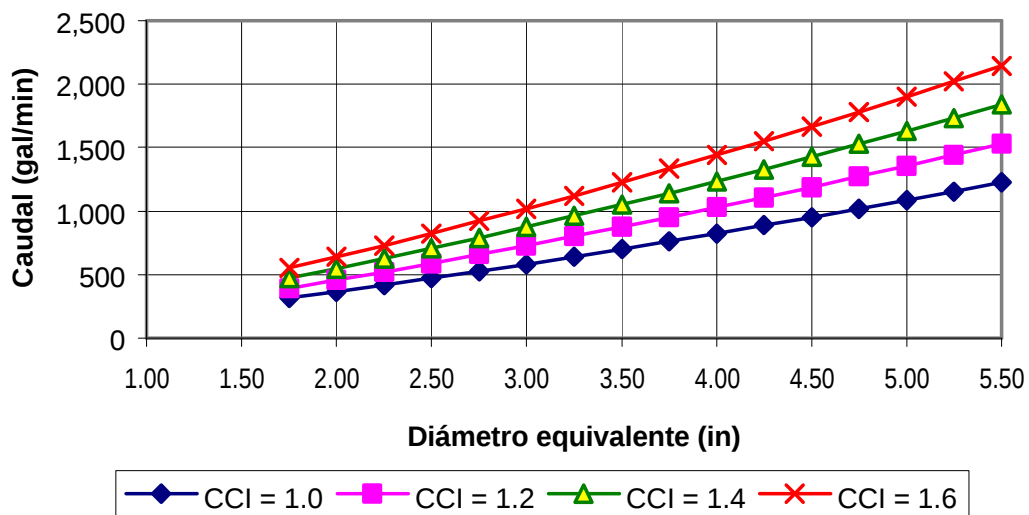


Gráfico 4: indice de capacidad de acarreo (CCI)

Indice de capacidad de acarreo Previo a la cementación

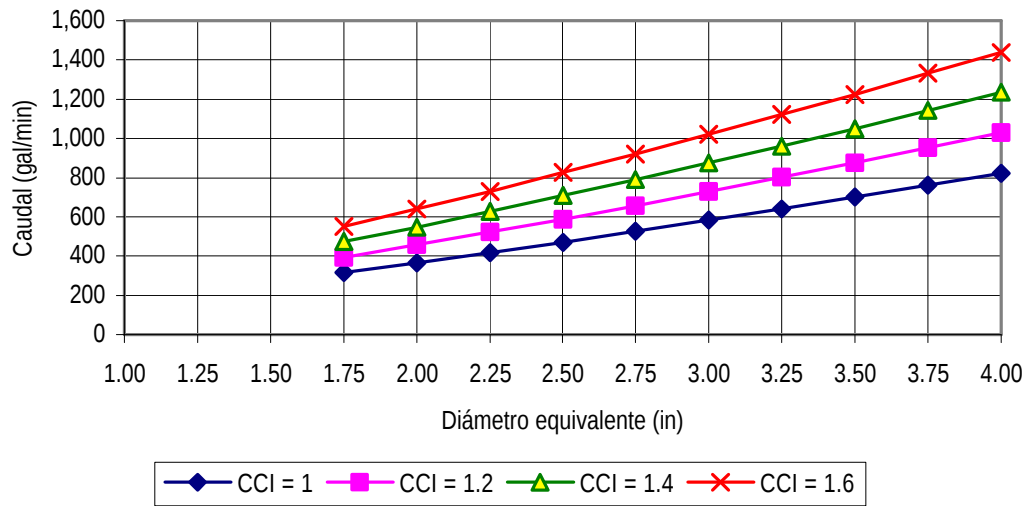


Gráfico 5: Indice de capacidad de acarreo

V_A				
Refer.	máxima		mínima	
fpm	fpm	% Rec.	fpm	% Rec.
250.0	116.8	46.7%	39.0	15.6%
250.0	155.7	62.3%	52.0	20.8%
250.0	194.7	77.9%	65.0	26.0%
250.0	214.1	85.7%	71.5	28.6%
250.0	233.6	93.4%	78.0	31.2%

Tabla 1: Porcentaje de remoción en anular versus velocidad ascensional

Tabla 2: Resumen cálculos hidráulicos durante el acondicionamiento pozo S-2416

Datos de entrada					Resultados de cálculo											
PV	YP	MW	Fluido	Caudal	n	K	DH	Dp	De	De2	W.H.P (psi)		E.C.D. máx.	AV	Tipo de	C.C.I
cP	lb/100 ft ²	ppg		gal/min		cP	in	in	in	sqin	Cálculo	Real	lb/gal	ft/min	Flujo	
14	11	9.5795	Lodo	221	0.6	234.3	8.9	5.5	3.4	49.48	191	270	10.19	109.4	laminar	0.34
20	36	9.5795	Viscoso		0.4	1,836.7										2.64
14	11	9.5795	Lodo	294	0.6	234.3	8.9	5.5	3.4	49.48	270	290	10.31	145.8	laminar	0.60
20	36	9.5795	Viscoso		0.4	1,836.7										4.69
14	11	9.5795	Lodo	368	0.6	234.3	8.9	5.5	3.4	49.48	360	410	10.43	182.3	laminar	0.94
20	36	9.5795	Viscoso		0.4	1,836.7										7.33
14	11	9.5795	Lodo	405	0.6	234.3	8.9	5.5	3.4	49.48	417	420	10.58	200.5	laminar	1.13
20	36	9.5795	Viscoso		0.4	1,836.7										8.87
14	11	9.5795	Lodo	442	0.6	234.3	8.9	5.5	3.4	49.48	479	400	10.75	218.8	laminar	1.35
20	36	9.5795	Viscoso		0.4	1,836.7										10.56
14	11	9.5795	Lodo		0.6	234.3	8.9	5.5	3.4	49.48	0	0	0.00		laminar	
20	36	9.5795	Viscoso		0.4	1,836.7										

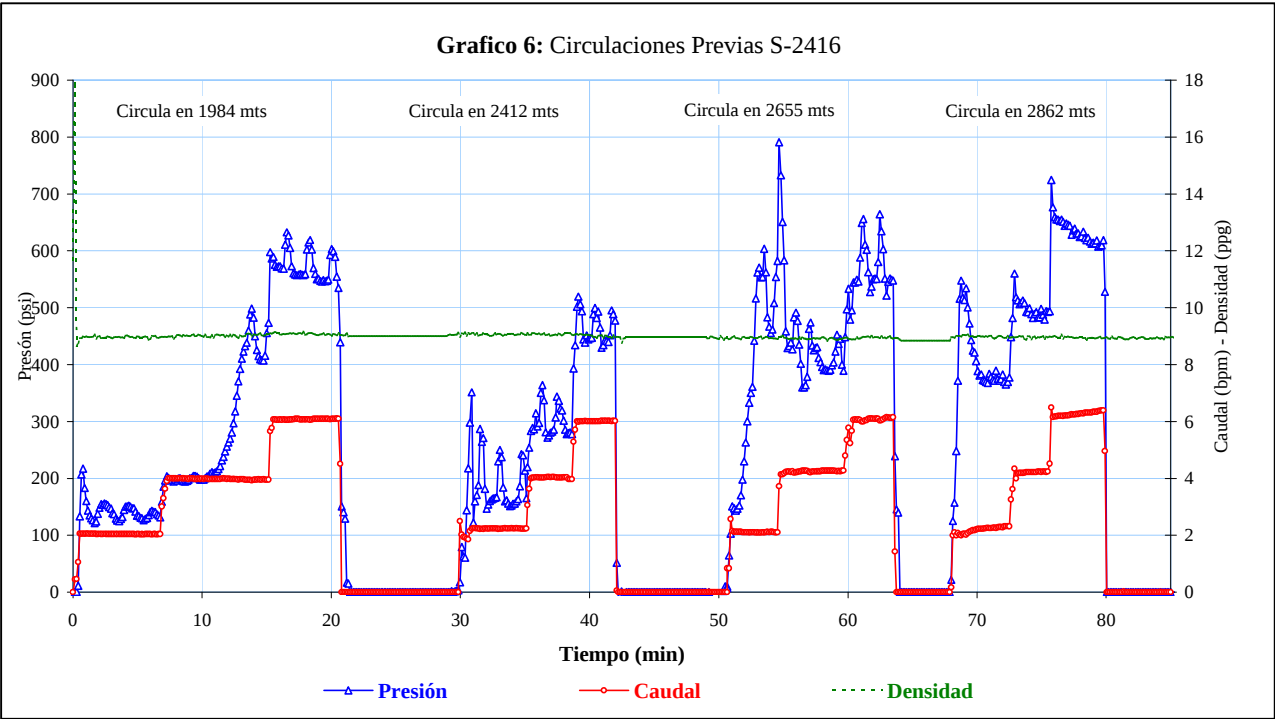
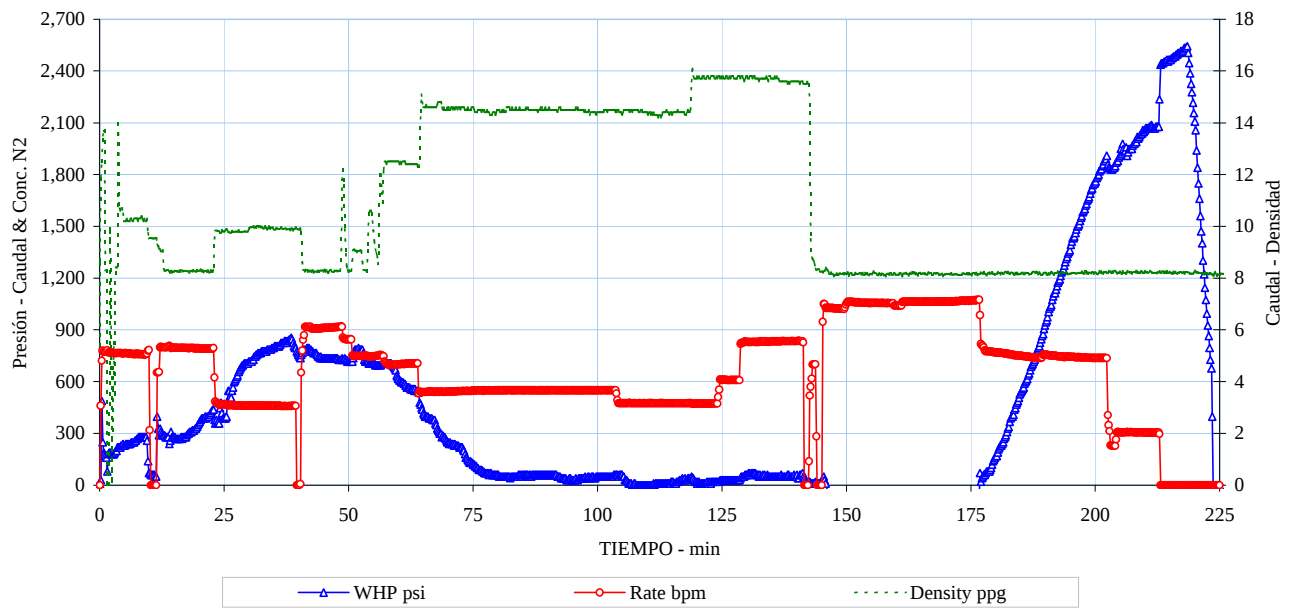


Gráfico 7: Carta de cementación Aislación 7" pozo S-2416



ACONDICIONAMIENTO POZOS

PREVIO AL PERFIL

Inyectar píldora dispersa
Inyectar píldora viscosa
Circular hasta retorno limpio

PREVIO A CALIBRE FINAL

Cálculos hidráulicos, Planilla acondicionamiento
Inyectar píldora dispersa + píldora viscosa.
Circular hasta retorno limpio. Calibrar pozo.

PREVIO A DESARMAR

Inyectar píldora dispersa + píldora viscosa.
Circular hasta retorno limpio. Repetir esta
secuencia incrementando caudal circulación.

ENTUBACION POZOS VERTICALES

Circular fondo arriba en zapato
Inyectar píldora viscosa. Si es posible reciprocar circular un
volumen de pozo a las profundidades fijadas

ENTUBACION POZOS DIRECCIONALES

Circular fondo arriba en zapato
Inyectar píldora viscosa. Si es posible reciprocar circular un
volumen de pozo por debajo de la S. Ir al fondo

PREVIO A CEMENTAR

Inyectar píldora dispersa + píldora viscosa.
Circular un volumen de circuito, retorno limpio
Repetir secuencia incrementando caudal.

PREVIO A CEMENTAR

Inyectar píldora dispersa + píldora viscosa.
Circular un volumen de circuito, retorno limpio
Repetir secuencia incrementando caudal.

Gráfico 8: Densidad_Calidad Colchones Espumados

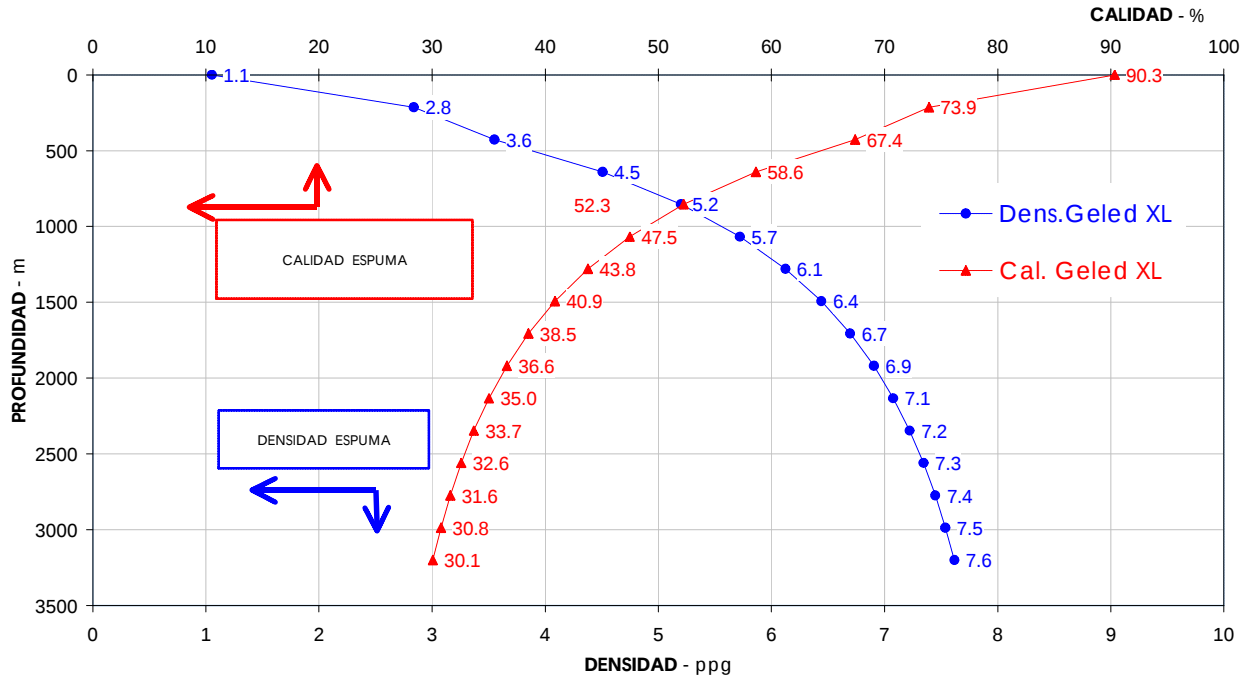


Gráfico 9: Densidad_Viscosidad Colchones Espumados

