

Particularidades y problemas

por Jean Ricaud, Total Austral S.A.

Durante 1995/96, en la provincia de Tierra del Fuego se perforaron 3 pozos de largo alcance, costa afuera. Fueron realizados con un *jack-up*, desde las plataformas de producción de Hidra. El objetivo era perforar tramos horizontales de 900 m de largo (± 250 m) que terminaban entre 5200 y 6200 m de distancia de las plataformas de producción. Las profundidades verticales no superaban 1700 m (1630 m desde el fondo del mar). En el presente trabajo se describe la perforación de cada uno de los pozos analizando las particularidades y problemas específicos de los fluidos de perforación. El mismo fue presentado en las V Jornadas de Perforación "Ing. Rodolfo TAILLEUR", que tuvieron lugar en Buenos Aires en octubre del año pasado.

ARQUITECTURA GENERAL

Durante 1995/1996, en la provincia de Tierra del Fuego se perforaron 3 pozos de largo alcance, costa afuera. Fueron hechos con un *jack-up*, desde las plataformas de producción de Hidra.

El objetivo era perforar tramos horizontales de 900 m de largo (± 250 m) que terminaban entre 5200 y 6200 m de distancia de las plataformas de producción. La profundidades verticales no superaban 1700 m (1630 m desde el fondo del mar).

Las perforaciones de los 3 pozos empezaron directamente con las fases 17 1/2" pues, al instalar las 2 plataformas, caños conductores de 20" ya habían sido colocados hasta 40 m bajo el fondo del mar. Durante aquellas fases, se hicieron las tomas de ángulo hasta 80°, que era la inclinación requerida. Las mismas se terminaron a unos 1200 m. Se utilizó un lodo a base de agua.

Después de la bajada de la cañería 13 3/8", se perforaron la fases inclinadas en 12 1/4" hasta unos 5500 m (profundidades verticales 1700 m).

Se utilizó un lodo a base de aceite mineral (densidad 1300 kg/m³).

Las tomas de ángulo finales y los tramos horizontales se hicieron en 8 1/2" con un lodo a base de aceite mineral (densidad 1060 kg/m³). Las profundidades totales alcanzadas fueron 6982 m, 5983 m y 6416 m.

Ver la tabla 1 para las profundidades finales.

Pozo 1: APRISIONAMIENTO POR PRESION DIFERENCIAL

Ingeniería

Advertencia: se trata aquí únicamente de la ingeniería relacionada con el aprisionamiento por presión diferencial.

Uno de los problemas que se consideró durante la preparación de la campaña fue el de la muy baja presión del yacimiento (densidad equivalente de 750 kg/m³). Por lo tanto, se realizaron ensayos de taponamiento, sobre testigos y discos sintéticos, para

la perforación en 8 1/2" del tramo horizontal. Los resultados mostraron que se necesitaban carbonatos de calcio fino, medio y grueso (diámetros medios de 6, 38 y 108 mm) a concentraciones de 25, 50 y 25 kg/m³ respectivamente. La permeabilidad final fue 70% de la permeabilidad inicial. Para evitar que la trituration por las barras cambiara la repartición granulométrica, fue necesario elegir una cualidad de tipo mármol.

Génesis del aprisionamiento

Las 2 primeras fases (17 1/2" y 12 1/2") se efectuaron sin problemas significativos. Pero como la capacidad de almacenamiento de la plataforma de perforación no era suficiente, al preparar el lodo para la sección 8 1/2", tuvimos que reconvertir el lodo pesado (1270 kg/m³) de la fase precedente. A pesar de la centrifugación y de la dilución con aceite mineral, no fue posible bajar la densidad a menos de 1070 kg/m³.

La limitación de la centrifugación era debida al tamaño reducido de las

partículas residuales. La limitación de la dilución vino por la relación agua/aceite, que ya era de 87/13, y si se hubieran añadido más habría resultado en un control difícil del filtrado y de la viscosidad. En ese momento, si se hubieran incorporado 100 kg/m³ de CaCO₃, la densidad habría subido inmediatamente hasta 1129 kg/m³. Además, durante la perforación, aquella habría alcanzado, por lo menos, los 1150 kg/m³, pues para no eliminar el CaCO₃ en las zarandas, se habría necesitado utilizar telas con mallas gruesas (aperturas de 400 mm [40 mesh]). Por lo tanto decidimos esperar signos de pérdidas para añadirlo. La perforación se prosiguió hasta 6717 m sin problemas notables.

Descripción del aprisionamiento

A esta profundidad, por razones geológicas, fue necesario tratar de hacer una carrera de sliding. Pero al tratar de transmitir peso al trépano, lo que es particularmente difícil sin rotación, el conjunto de fondo se encontró casi inmóvil durante unas dos horas. Luego, al intentar girarlo de nuevo, se reveló un aprisionamiento por presión diferencial.

Se trató inmediatamente de remontarlo. Pero como en ese momento la *top-drive* ya estaba a unos 20 m sobre el piso de perforación, le quedaban únicamente 9 m disponibles para subir. Estos correspondían aproximadamente a la elongación resultante de la elasticidad de los 6600 m de barras: el peso al gancho no superó 155 toneladas cuando la tracción teórica era de 150 toneladas. Por lo tanto, casi ninguna tensión se transmitía al nivel del trépano, por lo que fue necesario tomar una media hora para quitar un tiro y realmente tirar sobre el conjunto de fondo (peso al gancho de 340 toneladas), aun cuando el tiempo perdido siempre es un factor agravante en este tipo de aprisionamiento. Esto no fue suficiente aun llenando el pozo con aceite mineral, porque pese a su escasa densidad (820 kg/m³) la presión sobre el reservorio seguía demasiado alta; ésta apenas alcanzaba una densidad equivalente a 750 kg/m³.

Entonces, fue necesario cortar las barras a 6590 m con un *colliding-tool* que, a causa de la inclinación, tuvo que ser bombeado. Se colocó un tapón de cemento de 6583 a 6348 m y luego se comenzó el "*side-track*" desde 6425 m.

Análisis del aprisionamiento

Insuficiencia del análisis convencional

Las características del lodo, generalmente involucradas en un aprisionamiento por presión diferencial, estaban dentro de los rangos que suelen ser considerados como admisibles:

- el filtrado HP/HT era de 7 cc,
- el contenido de sólidos era de 11%, y descontando el cloruro de calcio disuelto, era únicamente de 10%.

Además se trataba de un lodo a base de aceite, y entonces "teóricamente", con un análisis convencional, el aprisionamiento no habría tenido que suceder.

Análisis específico

Riesgos inherentes a los pozos de largo alcance

En primer lugar aparecieron factores de riesgo inherentes a este tipo de pozos:

- El pilotaje en el yacimiento requería equipos de LWD. Estos no pueden ser portamechas espiralados porque los dispositivos de medida ya disminuyen el espesor de acero.
- Por definición del "largo alcance", la relación Profundidad perforada / Profundidad vertical solía llegar a 4 y proporcionalmente la influencia de las pérdidas de carga sobre la densidad equivalente era multiplicada por el mismo factor. Esto, junto al hecho de que, a causa de los problemas de limpieza, la viscosidad fuera más alta que en los pozos convencionales, resultaba en valores típicos de densidad equivalentes a 1300 kg/m³ con un lodo de 1050 kg/m³ en condiciones dinámicas.
- Las carreras de *sliding* solían ser largas y frecuentes. Además, una vez superados los 5000 m de profundidad, era muy difícil transmitir el peso al trépano sin rotación. Luego el conjunto de fondo quedaba inmóvil durante largos tiempos. Se

debe notar que esta dificultad estaba relacionada con el coeficiente de fricción que, en sí mismo, estaba relacionado con la limpieza del pozo. Entonces no era obvio reducir el caudal, durante la carrera, para bajar el factor de riesgo vinculado a las pérdidas de carga, que ya se mencionó en el punto anterior.

Por otro lado, a causa del coeficiente de fricción, estos pozos se perforaban con lodo a base de aceite que reduce significativamente la probabilidad de aprisionamiento por presión diferencial.

Factores locales

En segundo lugar existían factores locales que aumentaban los riesgos:

- La presión del yacimiento era muy baja: densidad equivalente a 750 kg/m³.
- La permeabilidad de la arena era muy alta: hasta 3000 mD.
- La presencia de numerosos y largos bancos de arcilla impedía bajar la densidad del lodo a menos de 1040 kg/m³.
- Del hecho de trabajar en el mar, resultaba la obligación de utilizar una emulsión a base de aceite sin aromáticos cuya calidad siempre fue más baja que con gasoil. Ahora bien, esta calidad estaba directamente relacionada con el control del filtrado.

En tercer lugar estuvieron los factores operativos, ya anteriormente mencionados, que condujeron a tomar la decisión de no incorporar los obturantes en el lodo.

Medidas a corto plazo

Antes de perforar el *side-track* tuvimos que elegir una estrategia que nos permitiera perforar sin que se aprisionara de nuevo el conjunto de fondo:

- Era obvio que a diferencia de los pozos convencionales, el riesgo mayor de aprisionamiento por presión diferencial no radica en las conexiones sino en las carreras de *sliding*, a causa de las pérdidas de carga. Por lo tanto se decidió que se aprovecharía la presencia de un banco de arcilla para empezar el *side-track*, que por supuesto se podía hacer

únicamente con el motor de fondo.

- Por la misma razón se decidió, también, que el pilotaje en el plano vertical se haría en "rotary" aun si las maniobras para cambiar la posición de los estabilizadores tuvieran que ser numerosas. Así la perforación sin rotación se reservó a las correcciones de acimut que además suelen ser poco frecuentes en los pozos de Hidra (ninguna fue necesaria en este pozo).
- Se incorporaron carbonatos de calcio en el lodo en las concentraciones ya definidas (25 kg/m³ de fino, 50 kg/m³ de medio y 25 kg/m³ de grueso). Previamente se bajó la densidad del lodo hasta 1010 kg/m³ para que la densidad final no fuera más alta que 1060 kg/m³. A causa de los problemas de control del filtrado y de la viscosidad, no fue posible diluir directamente con aceite mineral (820 kg/m³) sino con lodo liviano (900 kg/m³). De esto, resultó un volumen de dilución importante, 150 m³, y entonces se necesitó coordinar las operaciones con los barcos para manejar los fluidos involucrados.
- Como el volumen a perforar era escaso, 22m³, en comparación con aquello en circulación (400-450m³), se decidió no utilizar la centrífuga a fin de no eliminar los carbonatos gruesos necesarios para obturar los poros. Además, se juzgó que aun si este equipo permitiese bajar de 2 a 3% la diferencia de presión entre la formación y el lodo en condición dinámica, o sea unos 20 kg/m³, eliminaría casi 100% de los obturantes, cuya experiencia mostró que eran imprescindibles.
- Cualquiera fuera la necesidad de una carrera de *sliding*, ésta no sería intentada o proseguida sin que quedase un espacio inferior a 18 m para que la *top-drive* pudiera subir. La razón de esta decisión se desprendía, obviamente, de la secuencia que llevó al aprisionamiento.
- Antes de que empezase cualquier perforación sin rotación, se debía bajar el coeficiente de fricción para que el peso sobre el trépano se transmitiera rápidamente, aun si una circulación de fondo o una carrera repasada eran necesarias. Si, a pesar

de todo, el avance fuera lento, había que remover el trépano del fondo, cada 10 minutos. A causa de la elasticidad, esto significaba subir el gancho hasta 10 m por encima de la mesa.

- Por supuesto se aplicarían las medidas que son convencionales cuando el riesgo de aprisionamiento fuera alto, a saber: empezar la rotación antes de la circulación, parar ésta antes que aquella, bajar el filtrado lo más posible.

Aplicadas estas medidas, la perforación se prosiguió hasta 6982 m sin problemas. Durante la bajada del *liner* 5 1/2", con 60 centralizadores, el único punto con una fricción anormal fue al pasar el comienzo del *side-track*, ciertamente por razones puramente geométricas.

Medidas a largo plazo

Luego se tomaron otras decisiones para los pozos futuros:

Relación aceite/agua

Mientras se perfore la fase 12 1/4", disminuir la relación aceite/agua de 82/18 hasta 75/25. En efecto, la composición típica que resultaba de la centrifugación del antiguo lodo era:

	m ³	Densidad (kg/m ³)	kg
Aceite	0,71	820	582
Agua	0,16	1000	160
Sólidos	0,13	3000	390
Total	1,00	1132	1132
Aceite/Agua = 82/18			

Entonces, para que la relación aceite/agua no superase 87/13, se podía añadir únicamente 0.33m³ de aceite mineral por m³ de lodo centrifugado. Después de esta dilución la composición era:

	m ³	Densidad (kg/m ³)	kg
Aceite	1,04	820	853
Agua	0,16	1000	160
Sólidos	0,13	3000	390
Total	1,33	1055	1403
Aceite/Agua = 87/13			

En estas condiciones, incorporar 100 kg de carbonato de calcio (densidad 2750 kg/m³) hubiera resultado en

	m ³	Densidad (kg/m ³)	kg
Aceite	0,66	820	541
Agua	0,22	1000	220
Sólidos	0,12	3000	360
Total	1,00	1143	1121
Aceite/Agua = 75/25			

una densidad de 1115 kg/m³, que no era aceptable.

En cambio, con una relación aceite/agua inicial de 75/25, la composición típica, después de la centrifugación, sería como se ve en la tabla superior.

Así, se podría añadir hasta 0,60 m³ de aceite mineral sin que la relación aceite/agua superase 85/15:

	m ³	Densidad (kg/m ³)	kg
Aceite	1,26	820	1033
Agua	0,22	1000	220
Sólidos	0,12	3000	360
Total	1,60	1008	1613
Aceite/Agua = 85/15			

Ahora, al incorporar los 100 kg/m³ de CaCO₃, la densidad no superaría los 1070 kg/m³.

Incorporación continua de carbonato de calcio

Mientras se perforaba la fase 8 1/2", los recortes eran muy triturados durante su subida hasta la superficie y luego, para ser eficientes, las zaran-das tenían que estar equipadas con telas suficientemente finas: la experiencia del primer pozo había mostrado que las aperturas no podían ser más grandes que 110 - 140 µm o sea 120 - 145 mesh. Era obvio que, con estos tamaños, la parte gruesa del CaCO₃ se perdería: 18% del medio y 59% del grueso con las telas de 120 mesh, 22% y 72% con las de 145. Entonces, se debería reemplazar en forma continua la parte perdida.

Para esto no se podía utilizar el medio porque, aun si se hubiera perdido un 20%, lo demás, 80%, se habría acumulado y la densidad habría subido demasiado rápido. En cambio, con el grueso se acumularía únicamente un 35%, o sea 2,3 veces menos que con el medio. Por otro lado, para reemplazar la fracción eliminada, no más de 20% del medio sería eficaz, cuando 65% del grueso lo sería o sea que se necesitaría añadir 3.3 veces menos de este último.

Así, la cantidad acumulada sería, al final, dividida por 7,6 ($2,3 \times 3,3$).

No se añadiría el carbonato de calcio durante todo los tiempos de circulación sino únicamente cuando se perforase, pues en cuanto el "cake" era construido, el riesgo era muy escaso. Era por esta razón que los aprisionamientos por presión diferencial solían, y suelen, ocurrir frente a las formaciones recientemente perforadas.

Mantener la concentración de 25 kg/m³ que había sido determinada durante los ensayos habría resultado en un consumo demasiado importante, pero se podía enfocar el problema de una manera diferente: los mismos ensayos habían mostrado que la cantidad necesaria para taponar un disco de $3,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ($\Phi 2 \frac{1}{2}$ ") era inferior a 5 gramos de carbonato, o sea menos de 2 gramos de grueso. Por lo tanto la cantidad era 0,45 kg por metro perforado, en $8 \frac{1}{2}$ " esto equivalía a $678 \times 10^{-3} \text{ m}^2$. Pero cuanto más baja era la concentración de grueso, más importante era el volumen para depositarlo y luego más espeso el cake pues esto era generado también por el medio y el fino. En la medida de lo posible, había que encontrar un término medio entre el aumento de la densidad y el espesor del cake. Se eligió una cantidad de 10 kg por metro perforado, que correspondía a 22 veces la cantidad mínima. Además, para un tramo horizontal de 900 m, 9 toneladas de CaCO₃ serían suficientes y únicamente se acumularían 3. Por lo tanto, el aumento de densidad resultante sería apenas de 15 kg/m³.

La experiencia mostró que este valor de 10 kg de CaCO₃ por metro perforado, era apropiado.

Utilización de un estabilizador de diámetro variable

Durante la realización del *side-track* del primer pozo, la voluntad de hacer el pilotaje vertical en rotación, para evitar carreras de *sliding*, se tradujo por una maniobra para modificar el conjunto de fondo, la cual duró 24 horas. Entonces se decidió utilizar un estabilizador cuyo diámetro se podría variar ($7 \frac{3}{4}$ " ó $8 \frac{1}{2}$ ") sin que fuera necesario sacar. El procedimiento era muy simple: al apo-

yar el trépano sobre el fondo, el diámetro se bloqueaba a $8 \frac{1}{2}$ " cuando el caudal era superior a 1600 litros/min. y a $7 \frac{3}{4}$ " cuando era inferior a 800 litros/min. Sin embargo, presentaba el inconveniente de que no se podía rotar antes de terminar esta operación. Con todo, se juzgó que, como el tiempo involucrado no era suficiente para aprisionarse, este tipo de estabilizador se utilizaría.

Pozo 2: APRISIONAMIENTO EN UN "TIGHT-SPOT"

Génesis del aprisionamiento

La primera fase ($17 \frac{1}{2}$ ") se efectuó sin problemas significativos. Después de la bajada de la cañería $13 \frac{3}{8}$ " a 1317 m, se perforó en $12 \frac{1}{4}$ ". El día 21, se alcanzó la profundidad final de esta fase que era 4829 m. Un control de pozo se hizo hasta 3000 m, durante el cual ninguna tracción adicional se notó. Al bajar, fue necesario repasar 3 "tight-spots", de unos 23 m de largo, ubicados a 3850 m, 4290 m y 4420 m. En cuanto se llegó de nuevo al fondo, se bombeó un colchón viscoso, después de que se hicieron 3 circulaciones de fondo hasta que ya no hubiera recortes en la zaran-das. Este volumen circulado era normal para este tipo de pozo.

Descripción del aprisionamiento

Se comenzó la subida final para bajar la cañería $9 \frac{5}{8}$ ". No se notó nada al pasar los 2 primeros puntos que habían sido difíciles durante la repasada. Pero a medio camino del último, no se pudo continuar la subida con la tracción normal. En ese momento el trépano estaba a 4103 m y el tope del conjunto de fondo a 4070 m. Se ejerció una sobretensión de 10 tf a nivel del trépano, lo que parecía escaso. Las barras siguieron inmóviles. En seguida, se trató de liberar hacia abajo, pero aunque se aplicó todo el peso del tren de sondeo, esta tentativa no se logró. Se reveló que era imposible arrancar la rotación, ni la circulación. Por lo tanto, como último recurso, se tiró hasta 340 tf, pero sin éxito. No se podía evitar el segundo "side-track". Primero, para bombear el "colliding-tool", fue necesario restablecer la circulación. Por lo

que se bajó tubería $2 \frac{7}{8}$ " dentro de las barras hasta 3426 m y después fue posible bombear adentro un punzador de $1 \frac{3}{8}$ ". En cuanto éste se hubo disparado, se recuperó la circulación. Un colchón viscoso se colocó frente al punzador para que los agujeros no se taponasen, lo que ya había ocurrido en una tentativa previa. Se sacó la tubería, se desplazó el "colliding-tool" hasta 3424 m y se cortaron las barras a la misma profundidad. Habría sido posible ir más profundo pero el tiempo para bajar la tubería era más prolongado que el de perforar (30 m/h). Se colocó un tapón de cemento de 3420 m a 3220 m y el "side-track" empezó a 3330 m.

Análisis

Como primer análisis, parecía extraño que fuera imposible liberarse hacia abajo, cuando se había tirado únicamente 10 tf. Por lo tanto, el análisis del papel del lodo en este aprisionamiento no se podía hacer sin empezar por un análisis mecánico.

Aspecto mecánico

Aun si no se trata aquí de desarrollar la mecánica de los trenes de sondeo en los pozos de largo alcance, es necesario tocar el tema de la trilogía FRW, PUW y SOW que son el "Free Rotating Weight", "Pick Up Weight" y "Slack Off Weight".

El FRW es la tensión observada al gancho, sin apoyar el trépano pero con rotación. Si ésta es suficiente, casi todas las fuerzas de fricción están consumidas en la cupla, y luego no quedan más que los componentes del peso paralelos al eje del pozo.

El PUW es la tensión al gancho para que las barras empiecen a subir, sin rotación. En este caso, se deben tener en cuenta las fuerzas de fricción que, en sí mismas, dependen de las fuerzas normales al eje del pozo.

El SOW es la tensión observada al gancho cuando las barras empiezan a bajar.

Por supuesto, un cálculo que tenga en cuenta todas las variaciones de ángulo, de composición del tren de sondeo, ... no se podría hacer sin una computadora.

En el caso del aprisionamiento, el SOW era tan alto que sin la rotación no era posible transmitir ninguna

fuerza al trépano. La razón mayor era que el coeficiente de fricción valía 0,33 - 0,35. Si hubiera sido de 0,23, habría sido posible transmitir 10 tf sobre el trépano y quizás liberarse.

Aspecto hidráulico

Era obvio que se necesitaba mejorar la limpieza del pozo para que bajase el coeficiente de fricción. Ahora bien, si los parámetros claves fueran bien conocidos para los pozos convencionales, a saber: caudal, punto de fluencia e índice “n”, la profusión de criterios que se utilizan en los pozos de alta inclinación evidenciaban únicamente las incógnitas de la profesión frente a este problema. Además, algunos parámetros eran contradictorios. Para evitar esto se decidió volver a un concepto básico: remontar los recortes a lo largo de la generatriz inferior del pozo y también ejercer un arrastre sobre la capa de recortes, lo cual tenía que ser esencialmente función de la fricción provocada por el flujo de lodo sobre la pared.

Para conocer esta última, o sea el “shear-stress” era necesario determinar en primer lugar el “shear-rate”. Para simplificar el modelo se supuso que las barras estaban centralizadas pues de todas maneras la excentricidad no cambiaría la tendencia. El análisis mostró que antes del aprisionamiento, los “shear-stress” eran como se observa en la tabla siguiente.

Caudal (litros/min.)	3370	3370
Diámetro pozo	12 1/4"	12 1/4"
Diámetro barras	6 5/8"	5 1/2"
Lectura Fann a 100 RPM	26	26
Lectura Fann a 6 RPM	16	16
n	0,173	0,173
K	5,47	5,47
"shear-rate" (s ⁻¹)	228	168
"shear-rate" (RPM)	134	99
"shear-stress" (Pa)	12,7	12,1
"Shear-stress" (lectura Fann)	25	24

Con estos valores el coeficiente de fricción era de 0,33. Entonces, se decidió tratar de subir estos valores un 50%. El problema era la viscosidad aparente que ya era de 36 mPa.s (36 cPo), y que no podía subir tanto sin que las pérdidas de carga dentro de las barras aumentaran de un 10% cuando

ya estábamos casi al límite de presión del equipo.

Se hicieron varios ensayos que mostraron que, al remplazar la bentonita organofílica por una mezcla de hectorita y polímeros, igualmente organofílicos, el “shear-stress” aumentaba sin afectar demasiado la viscosidad aparente. Por supuesto, en la medida de lo posible se subiría el caudal. Al fin del “side-track”, los valores fueron los que figuran en la tabla superior.

Al mismo tiempo, la viscosidad había subido únicamente de 36 a 39 mPa.s. El resultado fue que el coeficiente de fricción bajó de 0,33 hasta 0,23.

Pozo 3: DERRUMBE DEL POZO

Génesis del aprisionamiento

La primera fase (17 1/2") se efectuó sin problemas significativos. Después de la bajada de la cañería 13 3/8", a 1188 m, se perforó en 12 1/2". El día 19, se alcanzó la profundidad final de esta fase que era 5896 m. Se hicieron 4 circulaciones de fondo hasta eliminar recortes en las zarandas. Se remontó libremente hasta 3561 m sin rotación ni circulación. En este punto hubo un “tight-spot” que se pasó en “back-reaming”. A causa del problema en el segundo pozo no se trató de pasar con sobretensión.

Descripción del aprisionamiento

Aunque no era necesario, se prosiguió remontando así hasta 2319 m. A esta profundidad el conjunto de fondo se aprisionó, el tren de sondeo estaba libre sobre un tiro y era posible girar pero no circular. Lamentablemente, al mismo tiempo la “top-drive” falló y cuando fue reparada ya no se pudo rotar más. De nuevo, fue necesario hacer un “side-track”, con la mismas dificultades que se presentaron durante el pozo

Caudal (litros/min.)	3200	3200
Diámetro pozo	12 1/4"	12 1/4"
Diámetro barras	6 5/8"	5 1/2"
Lectura Fann a 100 RPM	20	20
Lectura Fann a 6 RPM	9	9
n	0,284	0,284
K	2,38	2,38
"shear-rate" (s ⁻¹)	153	113
"shear-rate" (RPM)	90,0	66,5
"shear-stress" (Pa)	8,5	7,8
"Shear-stress" (lectura Fann)	17	15

anterior.

Análisis

La causa del aprisionamiento fue el derrumbe del pozo debido a una falla estructural de la formación. Al tope del reservorio, la falla era paralela al tramo horizontal pero alejada de 250 m. Como la trayectoria era recta no se había contemplado la posibilidad de cruzarla. Pero la proyección de la falla no era vertical sobre toda su altura, sino que era una falla lítrica cuya curvatura la acercaba al pozo. Resultó que la parte superior de la falla, que era vertical, se superponía con el plano de la trayectoria desde unos 2000 m hasta 3000 m. Este tramo estaba perforado en la formación Inoceramus Superior que en la región de Hidra es muy frágil.

La densidad para perforar estos pozos había sido determinada utilizando análisis por círculos de Mohr. Pero la línea de ruptura plástica teórica fue reemplazada por una línea empírica basada en experiencia, o sea que si el círculo de las tensiones superaba esta línea, empezaban los problemas de estabilidad de las paredes. A fuerza de hábito, se prosiguió utilizando el vocabulario de cohesión y de ángulo de fricción interna para designar el valor al origen y el ángulo de la pendiente, aun si aquellos eran reservados a la línea de ruptura plástica. Por analogía, se supuso que la pseudo-cohesión se había deteriorado por el movimiento de la falla, y entonces se aumentó la densidad en 50 kg/m³. Con esta medida, el “side-track” se hizo sin problemas mayores.

Tabla 1 - Arquitectura de los pozos

	HNP-7	HCP-4	HNP-12
Plataforma	Hidra Norte	Hidra Centro	Hidra Norte
Caño conductor 20"	110 m	110 m	110 m
Fase 17 1/2"	1217 m	1317 m	1188 m
Fase 12 1/4"	5818 m	4808 m	5890 m
Fase 8 1/2"	6987 m	5983 m	6416 m
Liner 5 1/2"	6987 m	5830 m	6416 m