

XII CONGRESO LATINOAMERICANO DE PERFORACION

PRIMERA PERFORACION EN DESBALANCE EN RESERVORIOS DE ALTA PRODUCTIVIDAD DEL CINTURON SUBANDINO

**Autores: Ing. Luis E. Piasco (1). República Argentina
Ing. Antonio A. Alegría (2). República Argentina**

RESUMEN

La Formación Huamampampa es un reservorio gasífero de cuarzitas naturalmente fracturadas y de muy alta productividad de gas (+/- 200 MMscf/d - 5.714.000 m³/d). Con el transcurrir del tiempo de explotación, la presión del reservorio ha disminuído hasta valores tales, que la utilización de flúidos convencionales se ha tornado extremadamente cara y dificultosa, debido a las grandes admisiones de flúido que generan daños al reservorio, pegamientos de las sartas de perforación, etc.

Con el fin de disminuir dichos problemas, se evaluó la posibilidad de utilizar una nueva tecnología de gran crecimiento a nivel mundial, la perforación en desbalance.

El objeto de este trabajo es comentar las operaciones de perforación en desbalance llevadas a cabo en el pozo Ramos 1003, analizar los resultados asociados a ésta primera experiencia en nuestro yacimiento y en la región, mostrando su aplicabilidad en yacimientos fracturados de alta productividad.

1.- INTRODUCCION

El yacimiento Ramos es un reservorio de gas y condensado compuesto por areniscas naturalmente fracturadas. Está ubicado en la provincia de Salta, en el extremo Noroeste de la República Argentina. Su superficie es de aproximadamente 122 hectáreas.

Pluspetrol opera este yacimiento desde 1981 y ha perforado desde entonces 10 pozos de desarrollo, cinco de los cuales son horizontales o de alto ángulo.

1.1.- La estructura

El reservorio se compone arenas cuarzíticas naturalmente fracturadas en las Formaciones Huamampampa, Icla y Santa Rosa. Un sistema de fracturas abiertas proveen la porosidad efectiva, ya que la porosidad de la matriz es inferior al 1%.

Las Formaciones Huamampampa e Icla producen gas y condensado, mientras que la Formación Santa Rosa, además de gas, posee un anillo de petróleo volátil.

La producción actual del campo es de alrededor de 11 MM m³/d (385 MM scf/d) y 1300 m³/d (8160 bbls/d) de condensado de gas.

1.1.2.- Perforación

Las prácticas habituales para perforar la Fm. Huamampampa consisten en utilizar lodo base aceite de baja densidad. La presión actual de reservorio, medida en el pozo cercano Ramos 1004, es de 3150 psi (221 kg/cm²) en 2753 m (9030 ft), lo que equivale a una densidad de 6,7 ppg (0,8 G.E.).

El pozo Ramos 1010, perforado previamente al Ramos 1003, tiene dos ramas sub-horizontales dentro de la Fm Huamampampa, una hacia el Este y otra hacia el Oeste de la estructura dentro del mismo reservorio. Durante la perforación de la rama Oeste se perdieron dentro de la Formación Huamampampa, 800 m³ (5024 bbls) de emulsión inversa con material obturante. El peso del lodo era 7 ppg (0,84 G.E.). Además se debió realizar un sidetrack a causa de un aprisionamiento por presión diferencial. En la rama Este en cambio no se registraron pérdidas de circulación.

Este pozo fué terminado en forma dual, por lo que al producir las dos ramas en forma independiente, se observó que la producción de la rama que había sufrido pérdidas era sustancialmente menor que la de la rama Este. Este resultado nos mostró que además de la presión del reservorio, hay que tener en cuenta otras variables como son la distribución y el tamaño de las fisuras, las cuales son más difíciles de determinar o conocer antes de la perforación.

El pozo Ramos 1004, terminado verticalmente, tiene un índice de productividad de +/- 0,238 mmscf/d/psi y fué considerado como la mejor referencia para diseñar la perforación en desbalance del pozo Ramos 1003.

2.- DESARROLLO

2.1.- Estudio de Factibilidad

Previamente a comenzar con el programa de perforación, se llevó a cabo un estudio para determinar la factibilidad de perforar la Fm. Huamampampa aplicando la técnica de perforación en desbalance.

2.1.1.- Datos Geológicos y de Reservorio

Los datos utilizados para el estudio de factibilidad son:

- Espesor del Reservorio: 307 m (1007 ft)
- Tipo de Roca: Arenisca cuarzítica naturalmente fracturada
- Fluido del Reservorio: Sistema de gas-condensado con menos de 2% de C02

- Presión Original: 320 kg/cm² (4552 psi)
- Presión Actual: 221 kg/cm² (3150 psi) (Ramos 1004)
- Presión de Rocio: 306 kg/cm² (4362 psi)
- Permeabilidad de matriz: +/- 0,001 md
- Índice de Productividad: 0,238 mmscf/día/psi
- Presión estática de cierre estimada: 168 kg/cm² (2390 psi)
- OGR: 87 m³/m³ (15,6 bbls/mmscf)
- BHT: 93 °C (200 °F)
- Gravedad específica del gas actual: 0,74 (aire: 1)
- Gravedad específica del condensado : 0,74 (agua: 1)
- Muy bajo o nulo potencial de hinchamiento de arcillas.

2.1.2.- Geometría del pozo (en Fm. Huamampampa)

La Fm. Huamampampa fué planeada para ser perforada con trépanos de 10⁵/₈" y entubada con un liner de 9⁵/₈" de 47#/ft – P 110 – AB-STL desde 2600 m (8528 ft) hasta 3025 m (9922 ft) (TD) y cementada solamente en su parte inferior, los últimos 100 metros (328 ft).

La cabeza de pozo y los caños expuestos a la perforacion en desbalance fueron diseñados para tolerar la máxima presión estática de cierre del pozo.

2.1.3.- Simulaciones Hidráulicas

Se ejecutaron varias simulaciones para analizar las diferentes condiciones que podrían manifestarse durante la perforación en desbalance. El objetivo de este estudio fue calcular cuales serían los caudales de aporte de la Formación durante la perforación en desbalance y cuales serían las condiciones a que sería expuesto el equipamiento de superficie durante la operación.

El análisis incluyó situaciones en que la Fm. Huamampampa no fluiría, fluiría solo lo suficiente como para perforar en desbalance o fluiría a altos caudales.

Caso 1.- Perforación en desbalance asistida desde la superficie. En el caso en que la formación no aportara un caudal de gas suficiente, éste debería ser inyectado desde la superficie para poder perforar en desbalance. El objetivo de esta simulación fué determinar si el gas disponible en locación, transportado por una tubería de producción desde el pozo vecino Ramos 1004 a una presión de 90 kg/cm² (1280 PSI) resultaba adecuado para perforar en desbalance sin la asistencia de un compresor. Los resultados indicaron que el

gasoducto podía suministrar gas al stand pipe a presiones suficientemente altas como para perforar en desbalance, pero la habilidad para remover los recortes de perforación a estos caudales era marginal.

Caso 2.– Perforación con el pozo vivo (aporte mínimo de la formación). El objetivo de esta simulación fué determinar el mínimo caudal de aporte de fluido de la formación requerido para perforar en desbalance sin necesidad de inyectar gas en superficie. La simulación indicó que el mínimo caudal de gas a ser aportado por el reservorio debería ser $\pm 57.150 \text{ m}^3/\text{d}$ (2.0 mmscf/d).

Caso 3.– Perforar con el pozo vivo (0 PSI de desbalance en el fondo). Esta simulación se corrió con el objeto de determinar el máximo caudal de gas para el caso ideal en el cual el pozo está perfectamente balanceado en el fondo. Esto da como resultado que la sección de formación expuesta sufre el mínimo desbalance posible de ser aplicado sobre ella, minimizando la producción durante la perforación en desbalance. La simulación indicó que el máximo caudal de gas para la mencionada condición es de $\pm 771.400 \text{ m}^3/\text{d}$ (27 mmscf/d) con 67 m^3 (421 bbls) de condensado.

Caso 4.– Perforación con el pozo vivo (5.3 kg/cm^2 (75 PSI) de desbalance en el fondo). El objetivo de ésta simulación fué determinar el máximo caudal de gas para la condición en que el reservorio sufra un desbalance de 5.3 kg/cm^2 (75 PSI) en el fondo del pozo. Para estas condiciones la simulación indicó que la producción de gas ascendería a $\pm 1.285.000 \text{ m}^3/\text{d}$ (45 mmscf/día) con $112 \text{ m}^3/\text{d}$ (702 bbls) de condensado.

2.1.4.- Opciones de Equipamiento

La *tabla 1* muestra las tres opciones de equipamiento que podrían elegirse. Las ventajas y desventajas fueron enumeradas para cada opción.

2.1.5.- Conclusiones del Estudio de Factibilidad

- La Fm. Huamampampa es un candidato viable para la aplicación de la técnica de perforación en desbalance.
- Se utilizaría agua con Cloruro de Potasio (KCl) como sistema de lodo.
- La aplicación de la tecnología de perforación en desbalance mejoraría la penetración en un 50%, particularmente si se encuentran fracturas de gran tamaño.
- Sería muy probable producir altos caudales de gas durante la perforación en desbalance, sobre todo si se trata de no inducir pérdidas de fluido a la Formación al tratar de mantener el mínimo desbalance sobre ésta.

- Para manejar éstos altos caudales de producción serían necesarios dos sistemas de separación en superficie funcionando en paralelo.
- El sistema más económico para llevar a cabo el proyecto sería la combinación de inyección de agua con KCl y gas natural proveniente del pozo vecino (Ramos 1004).
- Los estranguladores ajustables (chokes) deberían ser utilizados para mantener la producción del pozo en niveles manejables en la superficie.

3.- PROGRAMACION DE LA PERFORACION EN DESBALANCE

3.1.- Estrategia de diseño

Dada la alta productividad de la zona, el desafío de perforar en desbalance era significativo. Para reducir los riesgos asociados a este tipo de perforación y para que el proyecto resulte económicamente viable, el sistema de circulación debió ser optimizado. Fué necesario minimizar el potencial de corrosión, la producción, la contrapresión en superficie, el drawdown (desbalance) y los costos mientras se maximizaba la limpieza del pozo.

Manteniendo un drawdown en la cara de la formación de aproximadamente 14 kg/cm² (200 PSI), el riesgo de colapso de la formación y la excesiva producción de arena serían minimizados. En la mayoría de los pozos ésto también minimizaría la producción. No obstante, dada la productividad de Huamampampa, el desbalance sobre la cara de la formación sería irrelevante tan pronto como la condición de desbalance fuera establecida.

Los requerimientos de limpieza se simplificarían al ser verticales las secciones superiores del pozo. El sistema de circulación se diseñó de forma tal que sin la asistencia de gas desde la superficie, la velocidad del flujo en el espacio anular frente a los portamechas sería superior a 45 m/min (147 ft/min) en la mencionada región.

Una última consideración debió hacerse para determinar el nivel máximo de inyección de líquido. El caudal máximo de líquido se basó en que si el espacio anular debía ser cerrado y el suministro de gas cortado temporariamente, la presión hidrostática ejercida por el fluido en el espacio anular debería ser lo suficiente baja como para evitar causar un estado de sobrebalance.

3.2.- Fluido de Perforación

La selección del fluido contempló seguridad, compatibilidad con la Formación y sus fluidos y la complejidad operativa. Se contó con estudios de compatibilidad realizados en el pasado,

aunque manteniendo el estado de desbalance durante toda la operación, se minimiza la posibilidad de daño.

Se seleccionó un sistema de agua con KCl como fluido de perforación debido a la simplicidad de su manejo en superficie, su disposición inmediata, seguridad y bajo costo.

Generalmente el Nitrógeno es el gas usado para perforar en desbalance, pero dada la disponibilidad de gas natural en el área circundante al pozo, con suficiente caudal y presión como para suplir las necesidades del proyecto, se decidió el uso de éste, ahorrando los costos de generación y compresión del Nitrógeno.

3.3.- Selección de Caudales

Se graficaron las presiones de circulación de fondo, a varios caudales de inyección de gas, simulando diferentes condiciones (*Figura 1*). Estas presiones se basaron en presiones típicas de 24.6 kg/cm^2 (350 PSI) en superficie para el espacio anular. El caudal de agua se seleccionó en 1600 l/min para proveer una aceptable limpieza de pozo y el desbalance suficiente como para iniciar la producción (Presión de circulación de fondo: 200 kg/cm^2 (2845 PSI)). Esta combinación de presión y caudal produciría una respuesta de producción del reservorio tan pronto como la roca fuese penetrada. Cuando la producción de gas fuese consistente luego de un lapso considerable de tiempo, la inyección de gas desde superficie sería innecesaria tan pronto como el caudal de 1600 l/min pudiese mantener el desbalance necesario para que el pozo produjera $\pm 42.900 \text{ m}^3/\text{d}$ (1.5 mmscf/d).

Cabe destacar que para los distintos caudales de inyección y producción (a niveles de producción manejables) el pozo se mantendría en la fase dominada hidrostáticamente en la curva de desbalance. Esto muestra que cualquier incremento en el caudal de gas, vía inyección desde superficie o producción, redundaría en una disminución en la presión de circulación equivalente en el fondo. Para poder alcanzar la zona de dominio por fricción, el pozo debería estar en condiciones cercanas al AOF (Absolute open flow). Esta condición no es deseable dado que la estabilidad del pozo comenzaría a ser preocupante, la erosión de los tubulares y del equipo de superficie se incrementaría en forma no deseable y las instalaciones de separación y manejo de fluidos se verían completamente sobrepasadas. Para minimizar la producción y los riesgos asociados con la misma, el pozo debería ser estrangulado en superficie. La *Figura 1* muestra la curva de desbalance en una profundidad intermedia graficada contra la curva de IPR. Al estrangular el pozo en superficie, el mismo produciría $2.743.000 \text{ m}^3/\text{d}$ (96 mmscf/d). Mediante la aplicación de una contrapresión

equivalente a 120 kg/cm^2 (1700 PSI), la producción se reduciría a $1.857.000 \text{ m}^3/\text{d}$ (65 mmscf/d). La RBOP seleccionada para éste trabajo permitía 140 kg/cm^2 (2000 PSI) trabajando en rotación lo cual daba un margen de seguridad aceptable.

3.4.- Velocidades ascensionales

La velocidad mínima requerida para una efectiva limpieza del pozo y remoción de los recortes se estimó en 40 m/min (131 ft/min) en el pozo vertical. En el caso de no contar con producción desde la Formación, tendríamos las menores velocidades anulares pero igualmente habría una adecuada limpieza del pozo durante toda la operación. El menor caudal de inyección de líquido sugerido fue de 1600 l/min dado que éste proveería una velocidad anular de 40.8 m/min (133 ft/min) en la sección opuesta a las barras de sondeo. La producción de gas mejoraría aún más la limpieza del pozo aportando mayores velocidades anulares mientras que el uso de los estranguladores de superficie contribuirían a reducir el riesgo de erosión excesiva. En profundidad final, una estimación de las velocidades anulares con una producción estimada en $1.857.000 \text{ m}^3/\text{d}$ (65 mmscf/d) y 120 kg/cm^2 (1697 PSI) de contrapresión rondaba en los 207.6 m/min (681 ft/min).

4.- EQUIPO DE SUPERFICIE

El sistema de superficie fue diseñado con dos líneas de retorno independientes, conectadas a dos sistemas también independientes de separación y tratamiento de fluidos. La evaluación de riesgos llevada a cabo en la etapa de ingeniería del proyecto, identificó entre otros el riesgo de roturas por erosión asociado a los altos caudales de producción y a la alta abrasividad de la Fm. Huamapampa. Esto dictó la necesidad de redundancia en las líneas de retorno.

La incertidumbre en cuanto a la productividad del pozo dictó en la necesidad de maximizar el manejo de los caudales y la capacidad de separación del equipo de superficie con el objeto de poder tratar grandes bolsones de gas o líquido provenientes del pozo. Los sistemas de retorno tenían la flexibilidad de trabajar juntos o independientes. Cada línea del sistema estuvo compuesta por líneas de 350 kg/cm^2 (5000 PSI) de presión de trabajo máxima, válvulas de cierre de emergencia, choke manifolds, Mud-gas separators, y líneas de venteo de 304.8 mm (12") (ver Figuras 2 y 8).

La fase líquido/sólido se tomaba de la base de los separadores y por acción gravitatoria se transportaba hacia la playa de tanques a través de una línea de 203.2 mm (8") donde los sólidos el agua y el condensado se separaban por gravedad.

La planta de separación estuvo compuesta por dos bancos de 10 tanques cada uno para maximizar el tiempo de permanencia de los fluidos dentro de los mismos y obtener una separación eficiente entre líquidos y sólidos. La separación de los líquidos se realizó en forma relativamente rápida dado el contraste de densidades (1025 kg/m^3 (8.54 ppg) para el agua y GE 0.74 (aire=1) para el condensado). El agua con KCl se bombeaba a las piletas del equipo para retornar al circuito del pozo. El retorno de gas que salía por el tope del separador se enviaba al venteo a través de la línea de 304.8 mm (12"). El condensado separado se almacenaba en uno de los tanques con el fin de bombearlo también al venteo para proceder a quemarlo.

El montaje del equipo de superficie fue prácticamente igual al diseño de ingeniería con tres diferencias principales a saber:

- El sistema primario contó con una línea de descarga, conectando el diverter con el manifold, compuesta por un manguerote de 703 kg/cm^2 (10M PSI) de presión de trabajo.
- La línea del circuito secundario fué construida en acero con codos y tees reforzados con plomo y con capacidad para 350 kg/cm^2 (5M PSI) de presión de trabajo.
- La descarga del separador secundario no contaba con caudalímetro de gas.

La fase líquida del sistema estaba compuesta por agua + 3% de KCl y se bombeaba al pozo convencionalmente mediante las bombas del equipo perforador. El caudal se midió por medio de un contador de emboladas y se manejó manualmente desde la consola del perforador.

La fase gaseosa se obtuvo del pozo R1004, vecino al que nos ocupa, sin pasar previamente por ninguna etapa de separación, hecho éste que complicó las operaciones como describiremos más adelante. La inyección se controló en forma manual por medio de una válvula esclusa en el punto de mezcla a la entrada del stand pipe, dado que la válvula controladora de caudal instalada en el puente de inyección no funcionó correctamente.

Un caudalímetro Vortex instalado sobre la descarga del separador primario, proveyó las lecturas de caudal de gas (inyectado/producido) no habiendo ningún dispositivo o instrumento para medir precisamente el retorno de líquidos.

La instalación de tubos transparentes en los tanques de separación permitió llevar a cabo un balance de materiales rudimentario y consecuentemente una estimación del caudal de retorno de líquido.

4.1.- Separadores

Un sistema “gemelo” de separadores verticales (Super mud gas separators), comunmente utilizados en perforación convencional, se utilizaron para la perforación en desbalance. Dado que éstos separadores no se adaptaban al proyecto con su configuración original, se debieron llevar a cabo algunas modificaciones para acomodar alguno de los parámetros de la perforación en desbalance (*Figura 2*).

El separador perteneciente al circuito de separación primario se equipó con un sistema tándem de caudalímetros utilizando dos medidores vortex, uno de 304.8 mm (12”) y otro de 152.4 mm (6”).

Ambos separadores se elevaron 1m (3.28 ft) por sobre el nivel del piso y se equiparon con válvulas de alivio de 152.4 mm (6”) y válvulas de contrapresión y control de presión de 304.8 mm (12”). Se instalaron válvulas de purga automáticas de 203.2 mm (8”) y sensores de nivel de líquido en ausencia de tubos transparentes.

La performance de los separadores fue muy pobre. Estos separadores no trabajan presurizados por lo que la presión máxima de trabajo fué de 1.05 kg/cm^2 (15 PSI).

Los altos caudales de circulación de líquido y de gas producido, provocaban altas pérdidas de carga en los choke manifolds, con el consecuente arrastre de sólidos y taponamiento de la válvula de purga. Esto provocó arrastre de líquidos en la corriente gaseosa con lo que gran cantidad de fluído se perdió en la pileta de venteo.

Todo lo antedicho sumado al insuficiente tiempo de retención dentro del separador arrojó como resultado el mencionado "carry-over" (arrastre de líquidos) con la consecuente inexactitud en la medición del gas producido.

4.2.- Estranguladores (Choke manifolds)

Dos estranguladores (choke manifolds) de 703 kg/cm^2 (10M PSI) de presión de trabajo fueron utilizados en el proyecto Ramos 1003. Uno en el sistema de separación primario y

otro en el sistema de separación secundario. Cada choke manifold contaba con dos chokes positivos variables instalados en paralelo, un SWACO UBD choke y un Swaco Super Choke.

Estos sistemas de choke eran operados neumáticamente por estaciones hidráulicas remotas. El sistema UBD en el circuito primario se lavó en una oportunidad y fue reemplazado. No se registraron problemas posteriores a ello comportándose ambos chokes perfectamente bien tanto en el control del flujo mientras se perforaba en desbalance como mientras se llevaban a cabo las maniobras de ahogue de la formación Huamampampa .

4.3.- Líneas de alta presión

Dos tipos de líneas de alta presión se utilizaron para llevar a cabo éste trabajo. Un manguerote de 703 kg/cm^2 (10M PSI) de presión de trabajo se utilizó en la línea del circuito primario de separación y una línea de acero para 350 kg/cm^2 (5M PSI) de presión de trabajo se instaló en el circuito secundario.

Si bien el uso de manguerotes no es una práctica de uso habitual en la perforación de pozos bajobalance. Esta fue una innovación a los efectos de comprobar la prestación y confiabilidad del elemento y tratar de minimizar los efectos erosivos sobre la línea principal y sobre todo facilitar el montaje y desmontaje de la mencionada línea en caso de reemplazo debido a erosión.

En cuanto a la línea secundaria podemos decir que no se utilizó demasiado por lo que los efectos de desgaste fueron mínimos o nulos.

4.4.- Sistema de Inyección de Gas

El sistema de inyección de gas en la operación del pozo R1003, se constituyó en uno de los principales problemas a resolver durante el avance de la operación. Durante la perforación en desbalance, la inyección de un caudal estable tanto de líquido como de gas son factores cruciales para mantener la presión de entrecolumna en el fondo del pozo constante.

La presencia de un 10% de hidrocarburos líquidos y las fluctuaciones en el caudal de inyección relativas a los cambios de presión en el stand pipe, hicieron que sea imposible tomar una medición consistente y precisa del caudal de gas que se estaba inyectando. Esta falta de consistencia en el volumen de gas inyectado dió inicio a una presión de circulación de fondo inestable causando cambios en el régimen de circulación en el espacio anular debido a influjos erráticos de gas desde el reservorio.

La válvula de control provista por el departamento de producción no funcionó correctamente y no pudo ser reemplazada. El scrubber instalado en el puente de inyección no era el adecuado por lo tanto la separación de los líquidos previamente a la inyección no era eficiente complicando la medición del caudal de gas. Algunos hidrocarburos livianos eran separados por el mencionado scrubber pero, la falta de una mayor presión diferencial en el mismo evitaba la separación de los hidrocarburos más pesados que seguían su viaje al pozo a través del caudalímetro. Si bien el caudalímetro de cuña (wedge meter) estaba diseñado para medir hidrocarburos en dos fases, nunca cumplió con tal objetivo pese a varios intentos de recalibración. Apparently el contenido de líquidos en la corriente gaseosa era demasiado alto y caía fuera de su rango de medición.

4.5.- Inyección de Líquido

Las bombas del equipo perforador se utilizaron en éste proyecto para la inyección de fluidos. El sistema de inyección de líquidos funcionó muy bien sin mayores inconvenientes. Debido a los grandes diámetros de cañerías y pozo, se requirieron caudales de bombeo de entre 1.500 a 3.000 lt/min de agua con 3% de KCl a presiones de stand pipe máximas cercanas a los 211 kg/cm² (3000 PSI) sin haber encontrado dificultades en sostener los mencionados caudales durante la operación.

4.6.- Diverters anulares (Rotativos/No Rotativos)

Dos diverters anulares fueron utilizados en ésta operación, ambos Shafer, uno de 346.07 mm (13⁵/₈") 5M no rotativo y otro de 279.4 mm (11") 5M rotativo.

El diverter no rotativo de 346.07 mm (13⁵/₈") tuvo inconvenientes en el sistema de cierre dado a una falla en el sistema sensor de presión diferencial através del elemento empaquetador. No era posible pasar una unión através del mismo sin ejercer una fuerza considerable. Esto obligó a retirar el elemento empaquetador y cortar unos 40 mm (1.57 in) los dedos de acero que conforman la parte superior del mismo. Se reinstaló el mencionado elemento, pasó la inspección y las pruebas preliminares.

Al reiniciarse la perforación y perforar 24 metros (78.7 ft) en aproximadamente 10 horas, el elemento empaquetador falló destruyéndose por completo. Se presume que la falla fue causada dada la enorme fricción provocada al rotar la unión de la barra de sondeo que contaba con aplicación de hardbanding contra los dedos antedichos.

Luego de la falla, el diverter de (346.07 mm) 13⁵/₈" no rotativo fue desmontado y el diverter rotativo (RBOP) de 279.4 mm (11") fue instalado, inspeccionado y aprobado. El mismo se

utilizó para perforar lo restantes 418 metros (1371 ft) utilizando tres elementos empaquetadores en total sin sufrir ningún tipo de inconvenientes ni problemas.

4.7.- Dispositivo Tomamuestras

El toma muestras se ubicó aguas abajo de los separadores entre las líneas de descarga al venteo.

Esta posición del sacamuestras permitía tomar muestras aguas abajo de la descarga de gas de ambos separadores. Asimismo permitía el flujo cruzado entre ambas descargas vía dispositivo tomamuestras.

En cuanto al tiempo de retorno, se hacía muy difícil de calcular dado que el régimen de flujo anular no era consistente. Esto se tradujo en dificultades para tomar muestras con la exactitud que se pretendía.

4.8.- Playa de Tanques

La playa de tanques estaba compuesta por 20 tanques: 8 de 32 m³ (200 bbls) y 12 de 28 m³ (175 bbls) de capacidad. Se montaron en una configuración como para trabajar en cascada divididos en dos baterías con bombas independientes descargando a una línea común. Bajo condiciones de operación normales, cada batería respondería a un circuito en forma independiente. La playa de tanques fue asimismo diseñada para manejar grandes volúmenes instantáneos de líquido y ser operada como dos baterías individuales o como una gran batería en su conjunto. El sistema de cascada fue diseñado para suministrar suficiente tiempo de retención para separar: sólidos, agua y condensado por densidades relativas a cada componente individual.

Los últimos 4 tanques en el sistema de cascada, de 28 m³ (175 bbls) cada uno almacenaban el condensado, el cual se bombeaba al venteo para su quema (ver *Figura 3*).

Todos los tanques contaban con una línea de venteo de 152.4 mm (6") descargando a una línea común del mismo diámetro desde el tope de cada tanque.

El sistema de cascada fue efectivo y funcionó de acuerdo a como fue diseñado.

4.9.- Instrumentación

La instrumentación y adquisición de datos se llevó a cabo mediante el sistema "Smart System Level II". La adquisición de datos fue buena en teoría pero la integración y modificaciones realizadas para el proyecto de perforación en desbalance no fueron bien planeadas. Las fallas en la instrumentación resultaron en la adquisición de datos cuestionables. Una buena adquisición de datos es fundamental en operaciones de

perforación en desbalance. De ello depende el poder mantener el estado de desbalance apropiado, mantener estables los parámetros de operación a nivel reservorio y la evaluación del reservorio y planificación de futuros proyectos.

4.10.- Montaje

El montaje de todo el equipamiento de perforación en desbalance estuvo planeado para llevarse a cabo en un lapso de tres a cuatro semanas, pero en realidad demandó 7 semanas. Esta demora de alrededor de 50 días se atribuye a los siguientes factores:

- Demora en el envío de los equipos a locación, equipo demorado en aduana, tiempo requerido para el transporte.
- En las dos semanas previas a Navidad, las rutas de acceso a la ciudad de Tartagal y al pozo fueron cortadas por manifestaciones populares.
- Cinco días se perdieron por falta de cumplimiento en cuanto a seguros del personal por parte de las sub-contratistas.
- Los trabajos de soldadura “in-situ” de todas las cañerías consumieron 14 días. Este fue el ítem de mayor consumo de tiempo.
- Cuatro días en reparaciones por soldaduras fuera de Norma.
- Cinco días en la adquisición de materiales fabricados en la Región.
- Siete días debidos al cambio “in-situ” del proceso original.

Básicamente el excesivo tiempo de montaje se debió a cambios en el diseño original de la playa de tanques de separación.

4.11.- Recepción del Equipamiento y Pruebas de Presión

La recepción y chequeo del equipo previo a comenzar las operaciones se llevó a cabo satisfactoriamente. Se invitó a todo el personal sin excepción, que participaría de la operación, a recorrer el equipamiento de superficie para reconocerlo y aprender sobre su funcionamiento. Las preguntas fueron contestadas y las sugerencias tomadas en cuenta para cambiar los procedimientos donde correspondiese.

Se llevaron a cabo simulacros de operación con todo el personal del equipo consistentes en simular perforación y maniobras de agregado de trozos.

Todo el equipamiento de alta presión se probó con 211 kg/cm² (3000 PSI), mientras que el sistema de baja presión se probó con la columna hidrostática de los separadores llenos de agua.

El único problema encontrado durante la etapa inicial de perforación luego de rotar el zapato de 298.45 mm (11 ¾”) fue la falla catastrófica del diverter no rotativo.

Dado que el diámetro del stack de BOP y la cabeza de pozo era de 346.07 mm (13⁵/₈”), la instalación de una RBOP de 279.4 mm (11”) complicaría las pruebas de presión del stack completo en las operaciones futuras si se continuaba perforando con el sistema bajobalance el resto del pozo. Se evaluó la posibilidad de utilizar una BOP no rotativa de 346.07 mm (13⁵/₈”) por encima del “diverter” rotando con el top drive sobre el elemento empaquetador. Un dispositivo especial sentiría la presión de entrecolumna la cual sería transmitida a un ordenador que comandaría el cierre de dicha BOP aplicando la presión necesaria para empaquetar.

Debido a una falla en el ordenador, la presión aplicada para el cierre fue excesiva y al pasar la unión de la barra por el elemento empaquetador, la fricción provocada contra los dedos de acero del mismo provocó el sobrecalentamiento y destrucción de la goma. Esto obligó al remplazo de la BOP no rotativa por otra de tipo rotativo y a su vez a diseñar un procedimiento de prueba dado que ésta sería de 279.4 mm (11”) de diámetro.

El procedimiento de prueba consistió en bajar un tubo perforado con la punta cerrada ubicando las perforaciones por encima de los rams de barras. Se procedió a cerrar éstos y la RBOP para luego aplicar 211 kg/cm² (3000 PSI) de presión sin observar pérdidas.

Luego de pasar exitosamente ésta prueba y al haber estado probado previamente el stack de BOP del equipo de perforación, se continuó con las operaciones de perforación en desbalance.

El resto del equipo de superficie pasó la prueba exitosamente incluyendo el pasaje del sistema primario de tratamiento al secundario en caso de emergencias.

5.- INGENIERIA

Tesco Corp. suministró la ingeniería “in situ”. El principal objetivo de la ingeniería fue analizar los parámetros de flujo asegurando el control de la presión de fondo y el transporte de los recortes de perforación por medio del fluido hacia la superficie. Ambos objetivos se alcanzaron controlando los caudales de inyección y manejando los chokes.

Se seleccionaron como fluidos de trabajo el agua y el gas natural.

Se prefirió el gas natural antes que el Nitrógeno por las siguientes razones:

- *El gas natural estaba disponible desde un pozo productor.*

- *El gas natural se encontraba a una presión de línea que no hacía necesaria la instalación de equipos de compresión.*
- *Los caudales requeridos eran mayores que los que podía suministrar una membrana de generación de Nitrógeno simple.*
- *El Oxígeno en circulación dentro del sistema sería minimizado evitando problemas de corrosión y combustión.*

El agua se prefirió sobre el Gas Oil porque:

- *El agua estaba disponible en forma inmediata.*
- *El gas natural es insoluble en agua.*
- *Se eliminaban las emulsiones a nivel Formación.*
- *Las pérdidas de fluídos serían más económicas.*
- *Una columna de agua mataría al pozo.*
- *No sería necesario tratar los recortes de perforación previo a su disposición final.*
- *El impacto ambiental de un derrame se reduciría al mínimo.*

Las operaciones de perforación no indicaron en ningún momento la necesidad de cambiar el fluído de perforación. Se puede decir que el mismo fluído debería recomendarse para operaciones futuras en el yacimiento. La adición de KCl no sería necesaria en caso de mantener el pozo fluyendo continuamente. El contacto del agua con la formación se vería minimizado y la degradación de las arcillas que pudieran encontrarse sería mínima. La eliminación de KCl reduciría el costo de lodo y a su vez el potencial de corrosión.

Los caudales iniciales de inyección fueron de 75 m³/min (2625 scf/min) de gas y 2.0 m³/min de agua. Luego de los primeros días de perforación, el caudal de líquido se ajustó de forma tal de permitir el aporte de la formación. Los nuevos caudales de inyección se ajustaron a los siguientes valores: 75 m³/min (2625 scf/min) de gas y 1.2 m³/min de agua. Una vez que se tuvo suficiente longitud de pozo abierto se hicieron los intentos de perforar sin inyección de gas, tal cual lo pedía el programa. El caudal de inyección de gas se bajó desde 75 m³/min (2625 scf/min) a cero en un período de seis horas, con caudales de inyección de líquido constantes. Se esperaba que la Fm. aportara suficiente caudal de gas como para poder continuar perforando en desbalance. Desafortunadamente, el aporte del reservorio no fue constante y el retorno por anular se transformó en intermitente e inestable. A medida que el tiempo transcurría, el fluído de inyección de fase simple comenzó a ahogar el pozo con lo que se retornó a la inyección de gas para restablecer las condiciones de desbalance. El

caudalímetro indicaba que el caudal de inyección era de 40 m³/min (1400 scf/min) aunque la presión en superficie indicaba que éste estaba muy cerca de los valores originales de 75 m³/min (2625 scf/min).

Dado que el registrador de presión anular de fondo no estuvo disponible luego de la primera carrera de trépano, se utilizó un simulador de flujo multifásico para calcular la presión de circulación de fondo. El simulador arrojó para los caudales de inyección una presión de fondo de 180-250 kg/cm² (2560-3555 PSI).

La precisión de la simulación de la presión de fondo se vió comprometida por la inexactitud de los caudalímetros en superficie. La presencia de líquidos en los caudalímetros de inyección y producción de gas fue la causa principal de inducción de errores en las lecturas, debido a que los mencionados instrumentos fueron diseñados para trabajar con fluidos de una sola fase.

Las simulaciones efectuadas durante la perforación de los primeros metros estimaron que la inyección real de gas era aproximadamente la mitad de lo que indicaba el wedge meter y la producción de gas era el doble de lo que indicaba el vortex. Estos valores se checkearon mientras el PWD (Pressure while Drilling) estuvo disponible y transmitía datos de presión anular de fondo. Luego de sobrepasar una determinada cantidad de gas en la inyección, la herramienta dejó de transmitir dado que está diseñada para trabajar con fluidos incompresibles.

La penetración promedio en la Fm. Huamampampa se mejoró en un 50%. Este incremento en la penetración bajó el tiempo de perforación neto en tres días. Este ahorro en tiempo se vió enmascarado por el excesivo tiempo empleado en las maniobras de cambio de trépano y las operaciones de pesca sufridas. Para capitalizar la ganancia en penetración se deberán en el futuro reducir los tiempos de maniobra mediante el uso de una unidad de snubbing. También se deberá trabajar en la selección de trépanos para reducir el número de carreras. Se emplearon 175 horas en perforar (incluidas conexiones) y 30 horas perfilando. Los tiempos perdidos por problemas mecánicos ascendieron a 84 horas y se debieron principalmente al problema sufrido por la rotura del diverter no rotativo. La pérdida de los tres conos en la segunda carrera de trépano sumó 168 horas (ver *Figura 7*).

Un total de 259 horas se gastaron en maniobras, monitoreo del nivel estático del pozo y bombeando píldoras para contrarrestar las pérdidas. La utilización de una unidad de

snubbing eliminará el costo de las píldoras mencionadas como así también reducirá el costo del fluido de perforación.

6.- ANALISIS DE LA PERFORACION

Se perforaron un total de 442 m (1450 ft) en desbalance compuestos por 342 m (1122 ft) en la zona de interés (Fm. Huamampampa) y 100 m (328 ft) en la Fm. Icla.

Se utilizaron cinco trépanos de 269.87 mm (10 ⁵/₈") que arrojaron tasas de penetración variable con puntos de hasta 16 m/hr (52.5 ft/hr). Cabe recordar aquí que las tasas de penetración normales para ésta Formación están en el orden de 2 m/hr (6.5 ft/hr) con picos máximos de 5 m/hr (16.4 ft/hr) alcanzados perforando convencionalmente con trépanos de diámetro 215.9 mm (8 ¹/₂") en pozos horizontales.

Inicialmente se hicieron intentos de perforar cercanos al balance pero resultó imposible debido a la pérdida de fluido experimentada constantemente hacia la Formación. Entonces se decidió perforar en desbalance manejando una mayor presión de casing y consecuentemente una mayor producción de gas.

Una herramienta con MWD y sensor de presión en el anular se utilizó para perforar los primeros 127 m (416 ft) monitoreando la presión de entrecolumna en el fondo optimizando así la inyección de gas. Mientras se perforaba cercano al balance y el contenido de gas dentro de la sarta de perforación se mantenía por debajo del 7% la herramienta transmitía los datos correctamente.

Las operaciones de perforación requirieron el mantenimiento de la contrapresión en el anular para limitar el aporte de la Formación Huamampampa. Esta formación se caracteriza por ser un sistema de fracturas de muy alta productividad. Manteniendo la contrapresión en el anular se previno contra la evacuación total de líquido del pozo. Este objetivo se alcanzó mediante el empleo de dos estranguladores en superficie. Las presiones de entrecolumna se mantuvieron en el rango de 3.5 kg/cm² (50 PSI) a 112 kg/cm² (1600 PSI) con producciones de gas entre 10.000 m³/d (350.000 scf/d) y 450.000 m³/día (15.750.000 scf/d) durante la perforación.

Las conexiones se llevaron a cabo mediante el uso de la técnica de "precarga". Este método se utiliza en pozos de alto caudal de petróleo donde, si se deja el pozo fluyendo durante la maniobra de conexión, el mismo se auto-ahoga. El restablecimiento de la circulación y las condiciones de bajobalance conducirían entonces a generar picos de presión con las

consecuentes pérdidas de fluidos dentro de la Formación. La técnica se aplicó en el pozo Ramos 1003 para prevenir la evacuación de los fluidos del anular. La presión de entrecolumna sería excesiva sin una componente líquida sustancial ejerciendo presión hidrostática contra la formación. Por medio del cierre del anular, previo a purgar la presión por directa, la presión del gas entrampado se combinaría con la presión hidrostática para balancear la presión del reservorio en la cara de la formación. Este estado se alcanza debido a que el sistema es compresible por la presencia de gas y por lo tanto la inversión de presiones no es instantánea. Luego de que la presión en el stand pipe se ha ventado y la conexión se ha realizado, las bombas se ponen nuevamente en régimen de trabajo y los orificios se abren suavemente hasta alcanzar la apertura utilizada durante el período de perforación.

Dada la ausencia de una unidad de snubbing, el pozo debió ahogarse en cada maniobra de cambio de trépano. Un considerable volumen de fluido se perdió dentro de la Fm. Huamampampa durante estas operaciones. Debemos recordar aquí que la mencionada Formación es incapaz de soportar una columna hidrostática de agua.

Una píldora de polímero crosslinkeado se bombeó previamente a cada maniobra para reducir la admisión de la Formación. Antes y durante la maniobra se monitoreó el nivel estático del pozo mediante el uso de un ecómetro para mantener el mismo en 500 m (1640 ft) bajo boca de pozo y permitir una operación segura a la vez que se minimizaba la pérdida de fluido dentro de la Formación. Esta operación demandaría normalmente unas 30 horas, el avance promedio para el mismo lapso de tiempo sería de unos 75 metros (246 ft).

Es de destacar que tan pronto como se llegaba al fondo y se volvía al estado de desbalance, un gran porcentaje del agua tomada por la Formación era devuelta a superficie recuperando el mismo aporte de caudal de gas bajo las mismas condiciones de presión, lo que permite afirmar que el pozo en ningún momento fue dañado por la invasión de fluido.

7.- COSTOS

A continuación se presenta una planilla con la distribución de costos correspondientes a la operación UBD propiamente dicha. Asimismo en la *figura 4* se puede apreciar dicha distribución porcentual en donde resaltan como los ítems que deben ser reducidos en futuras operaciones los correspondientes a: tapones gelificados, viajes del personal extranjero y el alquiler de generadores.

Asimismo en la *figura 5* se muestra la distribución de tiempos para llevar a cabo la perforación en desbalance de la Fm. Huamampampa como así también los tiempos de repago del proyecto (*figura 6*). Desde un principio el proyecto resultó viable dado que se consideró que aún sin obtener un incremento en la tasa de penetración y perforando el pozo en la misma cantidad de días que se utilizan para una perforación “convencional”, el sólo hecho de no inducir daño a la formación mediante el uso de obturantes resultaría en la posibilidad de producir el pozo a su máximo potencial desde el primer día, mientras que perforando con métodos convencionales y utilizando lodos con obturantes, el daño inducido se remueve por sí solo pero al cabo de un año (en algunos casos) o más. Este daño removible por medio de la producción hace que el pozo produzca en su etapa temprana de vida al 50% de su potencial para alcanzar el 100% en forma paulatina al cabo del año. Esta merma en la producción no solo trae aparejados inconvenientes desde el punto de vista financiero dado que es gas que se deja de vender, si no que también trae inconvenientes operativos porque al limpiarse el pozo, los residuos de Carbonato de calcio y de gas oil entran en la planta de tratamiento produciendo taponamientos y paros de la misma por reparación y limpieza de los equipos de proceso.

Con respecto al repago, las estimaciones preliminares indicaron que de desarrollarse una operación normal, el pozo se pagaría en 43 días de producción gracias a haber evitado los inconvenientes operativos antedichos. La curva de la *figura 6* está basada en números reales y el tiempo de repago es función del caudal incremental de gas que se gana en los primeros meses de producción al no haber dañado el pozo.

8.- RECOMENDACIONES PARA FUTUROS PROYECTOS

La mayor parte del éxito o fracaso de cualquier proyecto se basa en la etapa de planeamiento. Se debe emplear más tiempo analizando los detalles que podrían aparecer como simplemente académicos durante la etapa de pre-planeamiento pero que luego, durante las operaciones podrían llegar a ser determinantes y provocar paradas. El proyecto R1003 adoleció de falta de tiempo para planificar correctamente la operación, si bien se hicieron todos los esfuerzos como para llevar a cabo una operación eficiente. Las recomendaciones que aquí se plantean requerirán de un análisis de ingeniería para determinar su viabilidad y están basadas en la experiencia ganada durante las operaciones

de perforación en desbalance del pozo R1003. Estas recomendaciones están sujetas a la disponibilidad de los equipamientos y a la factibilidad económica.

8.1.- Pérdidas de Fluído a Formación

La pérdida de fluídos dentro de la Fm. Huamampampa en su sistema de fracturas de alta productividad es difícil de eliminar pero puede ser controlada. Los beneficios en cuanto a no dañar la formación que se consiguen perforando en desbalance, dejando la red de fracturas abierta, hacen que ésta sea muy susceptible a tomar fluídos si el estado de desbalance se rompe. La utilización de una unidad de snubbing eliminaría las operaciones de ahogue para realizar las maniobras de cambio de trépano.

8.2.- Gas Natural vs. Inyección de Nitrógeno

La inyección de gas natural como para iniciar el estado de desbalance sería en un principio mucho más económica que inyectar Nitrógeno. Se deberían analizar desde el punto de vista económico las distintas opciones tales como: utilizar gas seco proveniente de la planta de separación primaria y recomprimirlo para luego inyectarlo al pozo, utilizar membranas generadoras de Nitrógeno en locación, transportar el Nitrógeno en unidades criogénicas, etc.

El objetivo fundamental que debe perseguirse es tener un caudal de inyección estable que contribuya a estabilizar la presión de fondo de pozo.

8.3.- Registrador de presión anular de fondo

Se deberá evaluar el uso de herramientas electromagnéticas de medición de presión de fondo versus las provistas por MWD de transmisión por pulsos y las que utilizan conectores húmedos.

8.4.- Equipamiento

8.4.1.- Despacho y transporte

Los despachados de materiales y equipamiento desde el exterior, deberán hacerse con dos meses de anticipación a los efectos de contar con tiempo suficiente para el transporte marítimo, los trámites de aduana y el transporte terrestre hacia Tartagal.

8.4.2.- Montaje

Dada la complejidad del equipo de superficie necesario para perforar en desbalance en el yacimiento Ramos, debe realizarse una muy buena planificación del montaje. El contratista debe presentar un cronograma detallado del montaje como así también un completo detalle del proceso y los procedimientos para llevar a cabo el mismo.

8.4.3.- Separación

El equipo de separación recomendado para trabajar en Ramos debería constar de dos separadores montados en serie. El separador ubicado inmediatamente aguas abajo del choke debería ser de dos fases, vertical y capaz de trabajar a 35 kg/cm^2 (500 PSI). El mismo se utilizaría como Slug catcher, removería el gas y funcionaría como una segunda etapa de caída de presión. El segundo separador (en serie) debería ser de cuatro fases, horizontal y capaz de trabajar a 14 kg/cm^2 (200 PSI), instalado a la salida de líquidos del separador primario para procesar sólidos y líquidos. Estos dos separadores en serie reducirían la caída de presión en los chokes, reduciendo los washouts, proveyendo un mejor control del pozo y permitiendo una separación de sólidos y líquidos en dos fases reduciendo por lo tanto la cantidad de tanques de almacenamiento.

8.5.- Costos

Como ya se ha dicho, en cuanto a los costos hay tres grandes ítems para optimizar en nuestro proyecto y que discutiremos a continuación.

8.5.1.- Tapones Gelificados

Los mismos se han utilizado con el objeto de minimizar las pérdidas de fluido en Formación. Si bien el éxito en el uso de los mismos fue parcial, no evitaron por completo las pérdidas y obligaron a perder tiempo en la observación del nivel estático del pozo durante las maniobras. Se cree que con el uso de una unidad de Snubbing o una “Pull/Push Machine” las maniobras podrían hacerse con absoluta seguridad, manteniendo el pozo produciendo a caudal y presión controlados. Si bien el costo de éste equipamiento adicional puede ser elevado en un principio, su beneficio redunda en el ahorro en tiempo de equipo de perforación por la mayor seguridad y rapidez con que se realizaría la maniobra. Además se evitaría la admisión de fluido por parte de la Formación, que si bien no es perjudicial en nuestro caso, implica la disponibilidad de grandes volúmenes de agua.

8.5.2.- Viajes del personal extranjero

Debido a que se trata de la primera experiencia de perforación de un pozo de éstas características, se han tomado los recaudos como para traer personal expatriado en mayor cantidad que la suficiente con experiencia en operaciones UBD. Hoy estamos en condiciones de asegurar que la operación puede manejarse con la mitad del personal expatriado y con la ayuda de un buen supervisor especializado en UBD que dirija las operaciones.

8.5.3.- Alquiler de generadores

Dada la magnitud del equipo, bombas de proceso e instrumental, se ha debido alquilar un generador de back up para ser utilizado ante cualquier contingencia. Se previó ésto dado que la capacidad de generación del equipo de perforación se encontraba al límite.

En proyectos futuros, al no ser necesario tanto equipamiento, los requerimientos de generación de energía serían menores y ésta podría ser suministrada por el equipo de perforación holgadamente.

9.- CONCLUSIONES

- El proyecto se llevó a cabo mostrando que es posible perforar la Fm. Huamampampa en desbalance.
- Mientras se perfora en desbalance, la tasa de penetración para la Fm. Huamampampa puede llegar a incrementarse hasta en 8 veces.
- La perforación UBD es económicamente factible si se considera el incremento de producción que experimenta el pozo en su etapa de producción temprana. Asimismo evita problemas operativos en la planta de tratamiento y costos adicionales por “down time” en la misma.
- La experiencia ganada en el pozo R1003 nos lleva a recomendar la aplicación de ésta técnica en el futuro con los cambios que se sugieren en el presente trabajo adaptándolos a cada condición en particular.

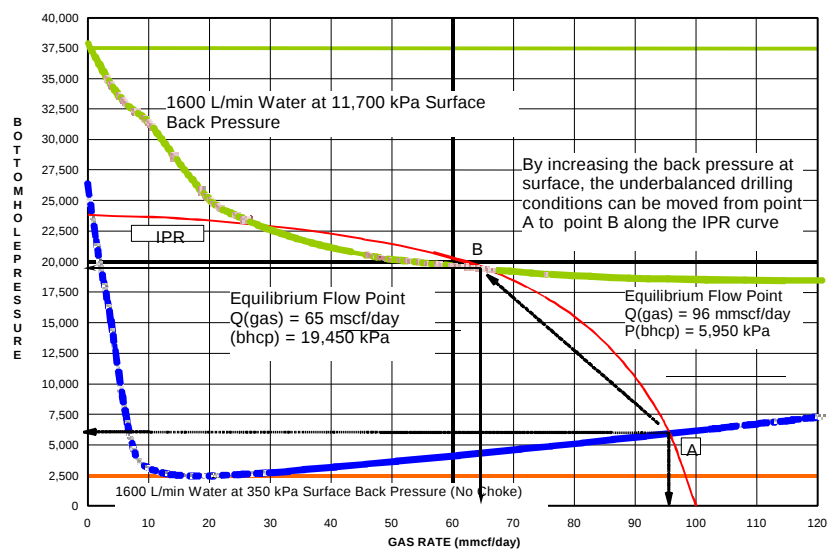


Figura 1.- Curva de Desbalance vs. IPR



Figura 2.- Separadores y Líneas



Figura 3.- Playa de Tanques

Ramos 1003 Costos Discriminados de operación UBD

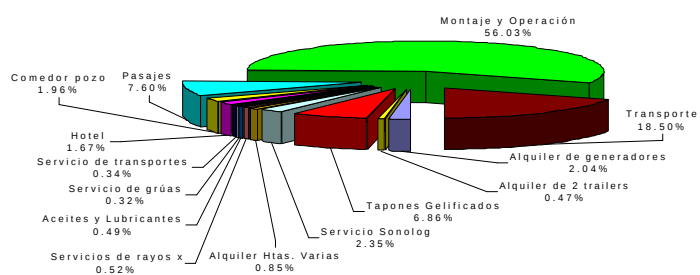


Figura 4.- Distribución de costos

RAMOS 1003 10 5/8" Phase UBD

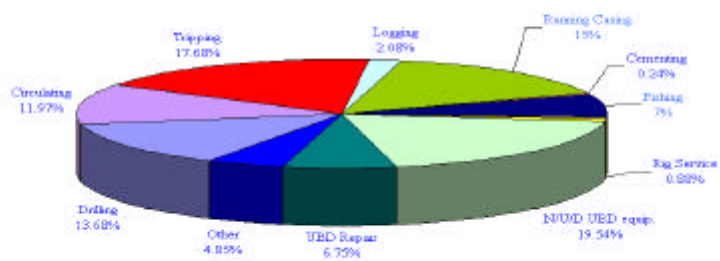


Figura 5.- Distribución de Tiempos

Pozo R1003
Puntos de Breakeven (Real)

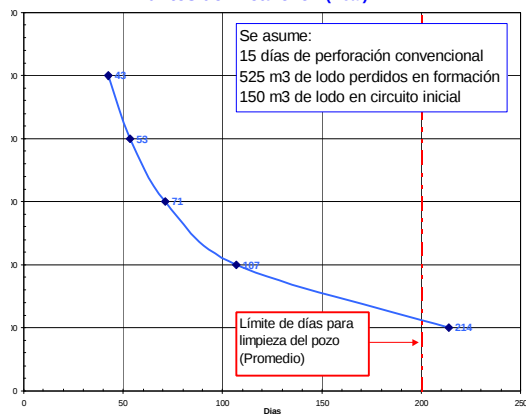


Figura 6.- Puntos de Breakeven

POZO RAMOS 1003
CURVA PROGRAMADA Vs REAL

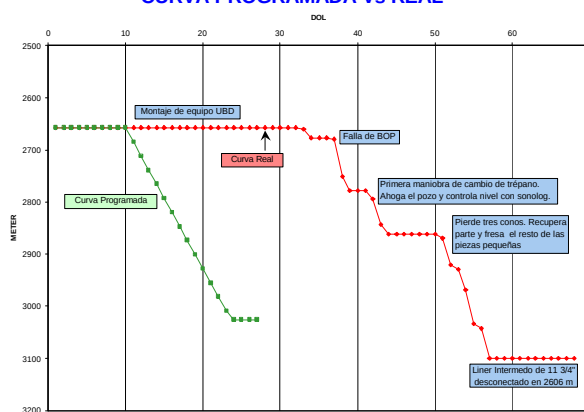


Figura 7.- Días vs. Profundidad

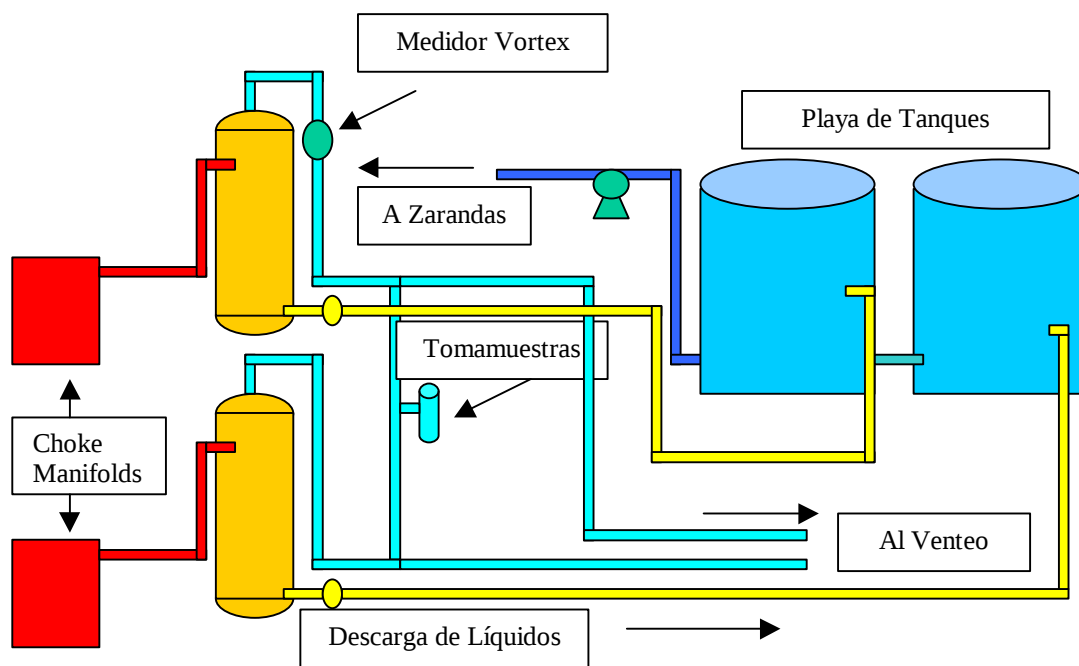


Figura 8.- Esquema de instalación

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Gas para UBD	Nitrógeno	Gas Natural	Gas Natural
Fuente de gas	Membrana	Línea de Conducción	Línea de Conducción
Separadores	4 Fases - Horizontal	4 Fases - Horizontal	Mud-gas separator
Compresor	Incluido en el paquete	Opcional	Opcional
Diverter Rotativo	RCH/RBOP	RBOP	RCH/RBOP
Skimmers	No necesarios	No necesarios	Skimmer Tanks
Tanques de Almacenaje	Se requieren	Se requieren	Se requieren
Choke Manifolds	Operación remota	Incluidos	Operación remota
Línea de Venteo	Incluida	Incluidos	Línea de venteo

Ventajas	N2 no combustible	Menor costo	Menor costo
	Sistema Cerrado	Sistema Cerrado	Menor costo diario
	Sistema de monitoreo sofisticado	Sistema de monitoreo sofisticado	Mayor capacidad para líquido y gas
	Sistema de remoción de sólidos sofisticado	Sistema de remoción de sólidos sofisticado	Mecánicamente simple
	Equipo en el país	Equipo en el país	Operación eficiente bajo condiciones de flujo con bolsones. Fácil de operar
	Con el compresor se puede perforar a altos regímenes sin influjo del reservorio		

Desventajas	Alto costo	La capacidad de manejo de gas sería marginal	Alto costo de Mob/Demob
	Complejo mecánicamente		Equipo fuera del país
	Requiere de +/- 8 Técnicos	Alto costo diario	Reacondicionar tanques como sistema de skimming
	Podría tener dificultad para manejar baches.	Complejo mecánicamente	Sistema de separación abierto
		Requiere 8 técnicos	
		Podría tener dificultad para manejar baches.	

Tabla 1.- Opciones de equipamiento

- 1.- Tesco Corporation
2.- Pluspetrol E&P