

“EFECTO GLOBO” EN PERFORACIÓN DE POZOS DE GAS EN CUENCA DE BURGOS-MÉXICO. PROBLEMAS Y SOLUCIONES ENCONTRADAS.

El “EFECTO GLOBO” en términos prácticos se refiere a la pérdida de circulación mientras las bombas están encendidas, seguido de una ganancia de bdo cuando se detiene la inyección. Este fenómeno puede causar complicaciones a la hora de identificar y discriminar correctamente entre una pérdida de fluidos a la formación o una arremetida del pozo. Todavía éste fenómeno es causa de estudios, sin embargo, la mayoría coincide en que es el resultado de la variación de la temperatura en el fluido de perforación, la deformación elástica de las paredes del pozo y/o la apertura y cierre de fracturas naturales o inducidas en la formación. Este problema es agravado por la existencia de una estrecha ventana operacional entre la presión de poro y el gradiente de fractura de las formaciones presentes, siendo éste el caso en el Campo Arcabuz.

En la perforación de pozos en el campo ARCABUZ de la Cuenca de Burgos en el Norte de México, este fenómeno se hizo manifiesto durante la perforación del agujero de producción causando problemas operativos importantes que pusieron en riesgo la finalización de los primeros dos pozos con su correspondientes consecuencias en términos de tiempo e incremento de costos asociados al proyecto. Una vez identificado el problema se ensayaron diferentes alternativas para minimizar éste efecto, entre las cuales se destacan mejoras en el programa de fluidos de perforación, rediseño de puntos de asentamiento de cañerías de revestimiento, uso de cabezales rotatorios, uso de trépanos bicéntricos, entre otras alternativas.

En este trabajo se expondrá cada una de las alternativas y mejoras utilizadas que han ayudado a minimizar el efecto balón y los riesgos asociados al mismo. Con el uso de estas herramientas y tecnologías, se redujeron los tiempos de perforación en un 40% asegurando el éxito operacional en el desarrollo del campo Arcabuz.

**“EFECTO GLOBO” EN PERFORACIÓN DE POZOS DE GAS EN
CUENCA DE BURGOS-MÉXICO. PROBLEMAS Y SOLUCIONES
ENCONTRADAS.**

**Esteban Urdaneta, Tecpetrol
Héctor Fernández, Tecpetrol
Cristian Fontana, Tecpetrol**

Reynosa, México. 15 Julio 2007

Introducción.

En las operaciones de perforación de pozos de petróleo y gas nos enfrentamos a diversos problemas que en la mayoría de los casos involucran múltiples variables desde fenómenos físicos y químicos y hasta combinaciones de éstos, en los que las soluciones para mitigar y remediar las consecuencias constituyen todo un desafío.

En este trabajo nos ocupamos en mostrar la experiencia en la perforación de pozos gasíferos en la Cuenca de Burgos al Norte de México, donde uno de los problemas encontrados es el EFECTO GLOBO (Ballooning) durante la perforación.

Por EFECTO GLOBO se conocen varias cosas, casi siempre se asocia a las arcillas, sin embargo este efecto puede ser mucho más que eso ya que hay evidencias que también puede ser asociado a las llamadas arenas consolidadas (TIGHT SANDS) tal como es el caso del trabajo que nos ocupa. Uno de los mayores problemas al que nos expone este efecto es a la correcta identificación del mismo, donde sin un adecuado monitoreo puede enmascarar los signos de alerta de una arremetida o arranque del pozo creando como consecuencias problemas de control de pozos.

Este tema es objeto de continua investigación, desde su naturaleza y causas hasta diferentes soluciones con la finalidad de mitigar los riesgos asociados al mismo que van desde una inadecuada identificación del problema hasta la forma de tratar y enfrentar éste fenómeno. Así que todas las respuestas a las interrogantes del COMO se produce el fenómeno no están del todo explicadas y se han dado a conocer varios trabajos con algunas investigaciones donde se vinculan efectos de temperaturas en el circuito de circulación, presiones, mecánica de rocas, etc.

Para el caso particular de la Cuenca de Burgos, el marco geológico-estructural donde se adelanta la campaña es complejo con diferenciales de presión marcados, donde el punto de asentamiento del revestidor intermedio es considerado “crítico” ya que puede marcar la diferencia entre un pozo con buenos indicadores de tiempo-costo y un pozo con serios problemas que atentan hasta con la factibilidad de la terminación del mismo.

Para el caso del Campo Arcabuz Norte, área donde se adelanta la campaña de perforación, el efecto globo, trajo como consecuencias problemas operativos bastante serios en los dos primeros pozos, lo que nos obligó a ensayar diferentes alternativas que fueron desde la utilización de barrenas bicéntricas hasta la utilización de cabezales rotatorios con la finalidad de perforar cerca al balance. Las diferentes alternativas utilizadas y los resultados obtenidos con cada una de ellas serán analizadas a lo largo de éste trabajo donde mostramos la experiencia y el aprendizaje obtenido en el área que ha significado una reducción de un 40% en los tiempos de perforación y sus implicaciones a nivel de costos y la economía del proyecto.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA CUENCA DE BURGOS Y CAMPO ARCABUZ.

La Cuenca de Burgos se ubica al Noreste de México y es una extensión de la Cuenca del Golfo (figura N°1), con su mayor parte en tierra firme, ocupando una superficie de 72500 km² comprendiendo parte de los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila de los Estados Unidos Mexicanos, en la llamada franja fronteriza con los Estados Unidos de América. De las cuatro cuencas de México que producen gas no asociado, el mayor volumen de producción proviene de la Cuenca de Burgos, con un aproximado de 37 millones de m³. Recientes estudios geológicos realizados por PEMEX indican que los campos de la Cuenca de Burgos podrían contener hasta 515000 millones de m³.

La mayor parte del gas provendría de depósitos paleógenos (con kerógeno tipo III), aunque también podría haber aporte por fracturamiento secundario a partir de depósitos mesozoicos. Las actividades exploratorias comenzaron a mediados de la década del 40, perforándose desde entonces unos 3000 pozos de los cuales un 27% corresponde a pozos exploratorios.

La existencia en un mismo pozo de zonas de presión normal con zonas de presiones anormales hacen que la perforación de los mismos, requiera un detallado estudio de “ventanas de lodo” que no es más que el rango de densidad de lodo para que las operaciones sean seguras y sin riesgos de fracturas (pérdidas de circulación) o colapso de agujero y diseños de revestimientos para maximizar la relación costo/beneficio del proyecto.

Cada reservorio o compartimiento debe ser considerado por separado, con diferentes propiedades petrofísicas y propiedades que varían en función de la profundidad. En esta compleja geología, las formaciones con problemas de pérdidas de circulación y alta presión plantean serios desafíos a los perforadores. La mayor parte de los pozos son perforados hasta alcanzar profundidades de 1600 a 3500 m, y luego son terminados y fracturados hidráulicamente. Su productividad inicial es alta pero tienen una declinación muy fuerte. El bloque Misión, operado actualmente por Servicios Múltiples de Burgos (SMB), cubre una superficie aproximada de 1980 km². Produce actualmente 60 MMPPCD de gas y 300 bpd de condensado con 84 pozos en extracción efectiva.

El Campo Arcabuz, se ubica al Sur Oeste del Bloque Misión, geográficamente se ubica en el área central de la Cuenca de Burgos, geológicamente dentro de la franja del Eoceno, los yacimientos de los Plays Wilcox, Mount Selman y Yegua que son los productores del área.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y PETROFÍSICAS DE LA CUENCA DE BURGOS Y DEL CAMPO ARCABUZ.

La Cuenca de Burgos contiene espesores de sedimentos de hasta 10000 m correspondientes a estratos del Mesozoico Superior y del Terciario, geológicamente equivalentes a las areniscas Queen City, Vicksburg, Wilcox y Lobo, que resultan productivas justo al norte, en la Cuenca de las Costa del Golfo del sur de Texas, EUA. Los reservorios terciarios muestran un arreglo en “fajas” progresivamente más jóvenes hacia el este. Se vinculan a ambientes deltáico y marino costero. Estos depósitos, a lo largo de su historia evolutiva, estuvieron sometidos a campos de esfuerzos distensivos, quedando como resultado, una serie de bloques limitados por fallas tensionales

(predominantemente NNE-SSO) donde se ubican los principales yacimientos, quedando “compartamentalizados” lo que agrega un grado de dificultad superior al realizar la conceptualización de los yacimientos de la zona.

Dentro de las características petrofísicas de los principales reservorios en producción, se englobarían genéricamente bajo la denominación de “tight sand”, por sus particulares características de permeabilidad (bajas) y comportamiento de la producción, necesitando en la mayoría de los casos, fracturarse hidráulicamente para obtener producciones comerciales de gas. Los mismos se ubican a lo largo de toda la columna geológica, adquiriendo importancia dentro del bloque los reservorios Terciarios.

Los yacimientos productores del área Arcabuz corresponden al Eoceno, específicamente los plays correspondientes a la formación WILCOX, compuesto por varias arenas que corresponden a ambientes deposicionales distintos.

El modelo correspondiente al yacimiento Wilcox-4 se describe como un sistema sedimentario costeros de barras paralelas con canales de marea, complementado con fallas de crecimiento antitéticas con dirección casi N-S y con caída hacia el Oriente.

Para el yacimiento Wilcox-3 se define como un sistema Fluvio-Deltaico, también afectado por fallas de crecimiento. Para ambos yacimientos existe una alta compartimentalización, que ha favorecido el entrapamiento de los hidrocarburos.

Para el yacimiento Wilcox-2 el sistema deposicional predominante es el costero de barras paralelas con abundantes canales de marea sin la incidencia de fallas de crecimiento, pero aun con callamiento de alta compartimentalización, para Wilcox-1 es un sistema deltaico dominado por la marea que transiciona hacia el sur a un sistema fluvial de inundación.

Para las arenas de Mount Selman el ambiente de deposición es un sistema Fluvio-Deltaico, son altamente heterogéneos, la parte inferior dominada por un ambiente deltaico y la parte superior dominado por un sistema fluvial.

Una columna estratigráfica compuesta del área Arcabuz puede visualizarse en la Figura N° 2.

EFEECTO GLOBO.

El “EFEECTO GLOBO” en términos prácticos se refiere a la pérdida de circulación mientras las bombas están encendidas, seguido de una ganancia de lodo cuando se detiene la inyección, es decir, los volúmenes de retornos varían existiendo una situación de pérdidas parciales de lodo seguidas de unas ganancias de volúmenes que suelen ser aproximados a lo perdido anteriormente.

El efecto globo es un fenómeno que ocurre durante la perforación de pozos, sin embargo, ha sido llamado de diferentes maneras: pérdida y ganancia de lodo (mud loss/gain), respiro del pozo (well breathing) o simplemente efecto globo (Ballooning).

El término exacto de “EFEECTO GLOBO” hace referencia a la expansión del diámetro del agujero cuando se comienza la circulación del fluido de perforación debido a la densidad equivalente de circulación (DEC) y su posterior contracción una vez detenida la circulación. Esto explicaría las pérdidas de fluidos observadas y su posterior ganancia, haciendo referencia la analogía del inflado y desinflado de un globo. Otros operadores nombran a este efecto como respiro de pozo, haciendo referencia a la analogía de inhalar y exhalar para comparar lo que realmente sucede en el pozo. Otros solo hacen referencia a lo observado en el pozo, que no es más que una pérdida seguida de ganancias de fluidos.

De las investigaciones realizadas al momento se han identificado tres mecanismos principales que pudieran dar origen a este efecto, a saber:

- ✓ Variaciones en la temperatura del fluido de perforación: El incremento de la temperatura del pozo a grandes profundidades hacen que el fluido de perforación sufra cierto grado de expansión, lo cual puede interpretarse incorrectamente como un influjo de la formación. Cuando la temperatura disminuye el fluido sufre cierta contracción que podría interpretarse como una pérdida. Adicionalmente se encuentra el tema de la solubilidad del gas en el lodo a ciertas condiciones de presión y temperatura.
- ✓ Deformación elástica de las paredes del pozo: La disminución de la presión ejercida en el pozo (Bombas apagadas) resulta en una disminución del volumen del agujero, mientras que cuando la presión incrementa (Bombas encendidas) el volumen incrementa, esto pudiera interpretarse como un régimen de ganancia y pérdida de fluido.
- ✓ Apertura y Cierre de fracturas: La presión ejercida en el agujero (Bombas encendidas) sobrepasa la presión de iniciación de fracturas las cuales son cargadas con el fluido, sin embargo como no se llega a la presión de propagación de éstas el volumen que pueden contener es limitado; una vez eliminada la presión excedente (Bombas apagadas) la fracturas se cierran devolviendo el fluido que pueden contener de nuevo al pozo.

Este último mecanismo pareciera ser el responsable de éste fenómeno en los pozos del campo en cuestión, debido a una estrecha ventana operacional (diferencia de presión de poro y presión de fractura) y a su vez por los diferentes niveles de presión presentes en la columna estratigráfica a atravesar que hace exceder la presión de fractura en una zona mientras que en otra zona es la necesaria para contener la presión de poro y por consecuencia el aporte de las formaciones. Ver figuras N° 3 y 4.

Tampoco hay que descartar que los otros mecanismos descritos anteriormente también tengan su cuota de responsabilidad en éste fenómeno, dada las diferencias entre las propiedades mecánicas de la roca entre las diferentes secciones del agujero, por esta razón muchos autores refieren las causas del Efecto Globo a una combinación de efectos de Temperatura y Presión en el pozo¹ con la poroelasticidad de las formaciones atravesadas por el pozo².

EFFECTO GLOBO COMO CONSECUENCIA DE LA INICIACIÓN Y CIERRE DE PEQUEÑAS FRACTURAS.

El efecto globo está asociado con la DEC, éste ocurre cuando la presión ejercida sobre el agujero por la combinación de la presión hidrostática y la presión de circulación anular es mayor que la presión requerida para la iniciación de una fractura en alguna parte del agujero causando pérdidas de circulación, que normalmente son visualizadas como pérdidas parciales. Los valores observados en el campo ARCABUZ han sido de 15 a 30 Bls por junta de tubería de perforación. Como la presión hidrostática por si sola no es suficiente ni para propagar la fractura ni mantener la fractura abierta, cuando las bombas se apagan (conexión) un 90 a 95% del fluido perdido a la formación retorna al pozo debido a que la fractura iniciada se cierra.

El efecto balón empeora cuando la presión total ejercida al agujero se incrementa, algunas de las razones de éste incremento pueden ser:

- ✓ Peso de lodo excesivo.
- ✓ Propiedades reológicas del fluido mayores a las requeridas.
- ✓ Alta velocidad anular, generando altas pérdidas de carga anular, mayor ECD.
- ✓ Poca luz entre los componentes del ensamble de fondo y las paredes del pozo.
- ✓ Efecto de Suabeo y Pistoneo.

RECONOCIENDO EL EFECTO GLOBO. DIFERENCIAS CON UNA ARREMETIDA DEL POZO.

El efecto globo exhibe ciertas características que lo hace diferenciable de una arremetida.

- ✓ Ocurre una pérdida de circulación y los volúmenes son recuperados parcialmente una vez las bombas hayan sido apagadas con una disminución de flujo de retorno. El Efecto Globo no puede ocurrir sin tener antes cierta pérdida de fluidos.
- ✓ Las pérdidas de circulación usualmente son parciales.
- ✓ Si el pozo se arranca, con el anular libre de recortes, la presión de cierre de tubería y la presión de cierre anular deben ser iguales. Esta presión debería ser cercana a las pérdidas de carga en el anular en el punto donde ocurrió la pérdida de circulación.

Una de las principales características del efecto globo es que el flujo de retorno siempre disminuye, esto es porque el mecanismo del efecto globo es como se describe:

Como las fracturas se van cerrando la cantidad de energía para devolver el fluido perdido al pozo disminuye. El flujo de regreso puede ser graficado con el tiempo y mostrará una disminución del retorno, si la causa de la pérdida fue el efecto globo. Si el gráfico muestra que el flujo incrementa entonces se está en presencia de una arremetida. La arremetida puede haber sido inducida por el gas que viene con el fluido regresado al pozo y luego expandido que a su vez genera una pérdida de densidad haciéndola más baja que la necesaria para contener la presión de poro de los yacimientos atravesados.

TRABAJANDO CON EL EFECTO GLOBO. PERFORANDO.

Como se ha explicado previamente el Efecto Globo viene como consecuencia de la densidad equivalente de circulación, así cualquier cosa que se haga para disminuir la ECD disminuirá o eliminará el efecto globo.

- ✓ Disminuir la densidad del fluido.
- ✓ Bajar las propiedades reológicas del fluido de perforación.
- ✓ Disminuir la velocidad anular.
- ✓ Trabajar con ensambles de fondo que permitan mayor luz entre la sarta de perforación y el pozo.

En el caso de que las sugerencias anteriores hayan sido tomadas en cuenta sin tener la eliminación completa del efecto, será necesario “convivir” con este problema, trabajando el pozo con consideraciones especiales, tales como la perforación a tasa controlada que permitirá evitar la sobrecarga de recortes del anular y mejorar la limpieza del mismo y un monitoreo estricto de los retornos durante las conexiones para verificar que efectivamente la tasa de flujo de retorno disminuye.

En el monitoreo del flujo de retorno, aun cuando la tasa de flujo disminuya, se debe restringir hasta un máximo del 25% del volumen anular, nunca permitir que el pozo regrese mas del 50% del volumen anular sin cerrarlo, monitorear presiones y circular un

fondo arriba. El gas en los retornos puede ser suficiente para causar serios problemas de control de pozos si se permite fluir y expandir libremente, puede cambiarse desde un problema de efecto globo a un problema de control de pozos.

Un flujograma sobre las acciones a tomar en caso de la presencia del Efecto Globo se presenta en la Figura N° 5.

REALIZANDO VIAJES CON EFECTO GLOBO.

Después de haber perforado con la existencia del efecto globo en algunos casos es casi imposible salir con la sarta del agujero con un record de viajes aceptable.

La presión del pozo puede iniciar un retorno de los volúmenes perdidos durante la perforación. Una vez terminada la perforación y realizada la circulación para limpiar el agujero de recortes el pozo podría empezar a devolver el fluido perdido en el primer chequeo de flujo antes de empezar el viaje. Por experiencia circular otros fondos arriba después de éste monitoreo dará mejor resultado siempre y cuando se realice a baja tasa de flujo con la finalidad de evitar pérdidas sucesivas. Para esto se utiliza una restricción (Choke) en el tubo vertical (Stand pipe) con la finalidad de reducir la tasa de flujo hasta ½ barril por minuto, esta reducción de la tasa de bombeo garantizará una drástica reducción del DEC y si esta se encuentra por debajo de la presión de iniciación de fractura evitará las pérdidas de circulación.

A continuación un procedimiento para realizar viajes con presencia del efecto globo:

- ✓ Una vez alcanzada la profundidad final, circular el pozo hasta limpiar de recortes el anular. Monitorear volúmenes y pérdidas si existen.
- ✓ Realizar un chequeo de flujo hasta que el retorno sea mínimo e imposible de medir. Mover la sarta durante el chequeo de flujo, esto ayudará a minimizar los problemas de pegas y reduce la gelificación del fluido de perforación dando más certeza al chequeo de flujo. Llevar el record del flujo de retorno con tiempo.
- ✓ Circule fondos-arriba a la tasa de bombeo donde no ocurren pérdidas, utilizar la reducción en el tubo vertical de ser necesario. Monitorear la respuesta de los porcentajes de gas. En caso de altos porcentajes de gas no significa que la columna esté desbalanceada y que necesite mayor densidad de lodo.
- ✓ Realizar un nuevo chequeo de flujo y llevar el record.

Circule fondos-arriba a la tasa de bombeo donde no ocurren pérdidas, utilizar la reducción en el tubo vertical de ser necesario. Monitorear la respuesta de los porcentajes de gas.

EXPERIENCIA EN EL CAMPO ARCABUZ.

Desde el inicio de la campaña de perforación en el campo ARCABUZ de la Cuenca de Burgos se han perforado 9 pozos con una profundidad promedio de los 3400 m, todos los pozos han sido direccionales con un perfil tipo “S” con desplazamientos desde los 200 a 750 m y con ángulos máximos de unos 25° construyendo y declinando a tasas promedios de 1.5°/30m. Los diseños de los pozos pueden ser visualizados en la figura # XX.

El desarrollo del yacimiento se ha ubicado al norte de la estructura donde no se contaba más que con un pozo perforado, así que la experiencia del área solo se tenía en la parte sur del mismo.

Los primeros dos pozos perforados en el área, presentaron los problemas operativos más importantes que llegaron a poner en riesgo la finalización de los mismos debido al efecto

globo. El desvío correspondiente al plan se ubicó entre un 40% más de tiempo asociado a la perforación de tales pozos con sus implicaciones a nivel de costos totales de los pozos. Con la implantación de algunas de las soluciones que se explicaran en el siguiente punto se ha logrado disminuir los tiempos de perforación en un 20% con respecto al planificado original y en un 50% con respecto a los resultados de los dos primeros pozos. Ver figuras N° 6 y 7.

SOLUCIONES ENSAYADAS.

Una vez analizada la experiencia operativa y visualizado que el efecto balón era el responsable de los problemas asociados a los pozos, se buscaron diferentes alternativas para tratar de mitigar los riesgos en la perforación de los pozos, visto que para este caso, la iniciación y posterior cierre de fractura fuese el factor determinante en la problemática, se decidieron ensayar diferentes opciones que van desde el uso de ampliadores de agujero y barrenas bicéntricas hasta el uso de herramientas como el PWF (Pressure While Drilling) para evaluar y monitorear las presiones en el fondo del pozo. A continuación la experiencia con cada una de las alternativas utilizadas.

1. BARRENA BICÉNTRICA.

En el primer pozo perforado una vez llegada a la profundidad final se presentaron problemas para correr registros (apoyo) por lo que se intentó correr un ampliador del agujero, pero por problemas operativos con la herramienta no se pudo evaluar la influencia de tener un agujero un poco más grande para mitigar el efecto globo, por este motivo se decidió realizar el ensayo en futuros pozos de manera de evaluar el beneficio de incrementar el tamaño del agujero en función de reducir las presiones ejercidas a la formación en el fondo del pozo.

Para el próximo pozo de la secuencia operativa se programó la perforación de la etapa de producción, diámetro de agujero de 15.58 cm. (6.125”), se perforó con una barrena bicéntrica 15.58 x 17.78 cm. (6.125” x 7”) de diamante policristalino (PDC) por una longitud de 1443 m. donde por problemas con el motor de fondo tuvo que sacar la sarta 200 m antes de llegar a la profundidad final. Encontró problemas de apoyo y luego pega de tubería., por lo que tuvo que terminar la fase con el diámetro tradicional.

La función de la barrena bicéntrica era tener mayor luz entre los elementos del ensamblaje de fondo y el agujero de manera de reducir las presión anular y a su vez el DEC y mitigar el efecto globo.

Una vez analizado el registro de calibre del pozo, se evidenció que no se cumplió con el objetivo planteado, ya que el agujero promedio del pozo en la etapa de producción fue de 16.5 cm. (6.5”), por lo que su utilización no agregó valor a la operación, por esta razón fue descartado para próximas operaciones.

2. PUNTO DE ASENTAMIENTO DE LA CAÑERÍA INTERMEDIA.

La selección de los puntos de asentamiento y de la cantidad de revestimientos necesarios para llegar a los objetivos geológicos perseguidos con la perforación del pozo, es la parte medular del diseño de pozos ya que de ello depende el éxito o el fracaso y/o problemas operativos a enfrentar durante el proyecto.

Para tener un buen diseño, es necesario conocer la geología del área así como tener una buena estimación de los valores de presión de poro y fractura, gracias a la tecnología hoy existen diversos software, que nos permiten realizar tales estimaciones de manera rápida y confiable utilizando información de pozos vecinos.

Para analizar este punto se trabajó con software especializados para la estimación de presiones de poro y presiones de fractura a fin de determinar la ventana operacional de lodo (rango de densidad de trabajo seguro), este trabajo se realizó con los registros disponibles de pozos vecinos en el área a perforar en la presente campaña, entre ellos Registro de Rayos Gamma, Resistividad, Sónicos, Densidad.

También se analizó el campo de esfuerzos al cual están sometidas las capas, con registros de litología y registros sínicos de onda completa se analizaron parámetros tales como los Módulos de Young, Módulo Volumétrico, Relación de Poisson y una vez integrado con la data resultante de la estimación de presiones se evaluaron las presiones críticas tanto para el colapso de agujero así como la iniciación de la fractura.

La columna geológica a atravesar consta de varias formaciones con diferenciales de presión bien marcados, inclusive dentro de una misma formación existen paquetes de arena con presiones diferentes que determinan la selección del punto de asentamiento de la cañería intermedia y que es considerada como tema crítico en la perforación de ésta área.

En los dos primeros pozos perforados en esta campaña en el área se colocó la zapata de la cañería intermedia justo debajo de la primera secuencia arenosa de la formación Mount Selman, dejando el resto de las unidades arenosas a perforar con la formación Wilcox, esto trajo como consecuencia que debido a sus marcados diferenciales de presión de poro, para contener la entrada de gas proveniente de Wilcox se debió densificar el lodo produciendo efecto globo y pérdidas importantes de fluido en la zona inferior de Mount Selman, esto fue corroborado después de correr los registros de formación donde muestra que las zonas de pérdidas se ubican en esta zona.

Por la razón antes descrita en los pozos subsiguientes se decidió profundizar la zapata intermedia y colocarla debajo de las primeras tres zonas de Mount Selman y dejar para perforar en conjunto con Wilcox, las ultimas dos zonas de esta formación ya que presentaban niveles de presión de poro un poco más alto y con menos diferencial que las arenas de Wilcox.

Conectándonos con el tema del efecto globo, y la experiencia adquirida en el área, los paquetes superiores según el análisis realizado una vez perforado los dos primeros pozos son menos resistentes y su presión de fractura es mucho menor a los paquetes inferiores y de las formaciones subyacentes, lo que trae como consecuencia que ocurra el efecto globo en esta zona (pérdida de fluido y posterior ganancia) que conduce a una pérdida de columna hidrostática (influjo de gas en el fondo) y el regreso de fluido cortado por gas agravando la problemática operativa.

En los pozos subsiguientes se ha seguido la recomendación del punto de asentamiento intermedio con resultados favorables, con algunas pérdidas de circulación pero mucho menos importantes que en los primeros pozos y con mayor integridad para la perforación de la etapa de producción, reduciendo la problemática operativa en el proyecto.

3. USO DE PWD PARA EVALUAR LIMPIEZA ANULAR Y MONITOREO DE DENSIDAD EQUIVALENTE DE CIRCULACIÓN.

Una de las herramientas que ayuda a predecir y/o visualizar el efecto globo es el PWD⁵ ya que permite registrar las variaciones de presión que ocurren en el fondo del pozo para cada uno de los escenarios presentes en el pozo (bombas apagadas, bombas encendidas, viaje de tubería).

Cuando se apagan las bombas, como cuando se realiza una maniobra de conexión de tubería, la presión anular disminuye drásticamente hasta alcanzar el nivel de presión estático (presión hidrostática), sin embargo, cuando se está en la presencia del efecto globo esta misma declinación de presión es muy lenta debido al flujo de lodo de perforación de regreso al pozo.

Una vez que las bombas son encendidas, la presión anular retorna al nivel previo al apagar las bombas antes de la conexión. Asumiendo que la tasa de bombeo es la misma antes de apagar y después de encender las bombas, existe algún tiempo para volver a alcanzar el nivel de presión de fondo del pozo (Peso de lodo + DEC) debido a que cuando se inicia el bombeo, primero debe recargarse las pequeñas fracturas que habían sido abiertas y parte de lo bombeado pasa a llenar tales fisuras.

Para el caso del campo que nos ocupa, se decidió utilizar la herramienta de medición de presión PWD en el tercer pozo perforado en la campaña. Esta herramienta fue utilizada en la etapa de producción, ver Figura N° XX, donde se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- ✓ La carga de recortes en el anular nunca fue importante, lo que indica una buena limpieza del mismo y la no incidencia sobre la hidrostática ejercida en el fondo del pozo.
- ✓ Se nota claramente las entradas de gas al pozo y su consecuente reducción de presión en las zonas objetivos del pozo.
- ✓ Aunque no se cuenta con medición de presión durante las conexiones (bombas apagadas), los niveles de presión son recuperados rápidamente una vez iniciada la circulación por lo que no se evidencia los comportamientos de declinación y/o restauración de presión durante las conexiones característicos del fenómeno del efecto globo⁵. Sin embargo, en el pozo en el cual se corrió la herramienta no se tuvo evidencia del efecto globo durante las operaciones, ya que se aplicaron soluciones simultáneas en el mismo (cabeza rotatoria, programa de baches).

4. PROGRAMA DE FLUIDOS. BACHES CON MATERIAL DE PUENTE.

Una vez perforados los dos primeros pozos, se identificaron las zonas con pérdidas de circulación y las zonas con efecto globo. Para minimizar las pérdidas de fluidos a la formación se diseñó un programa de baches que permitiría el puenteo de las zonas de pérdidas así como las zonas con efecto globo.

Se diseñó un programa de baches con diferentes concentraciones de Carbonato de Calcio de diferente granulometría y algunos otros materiales como fibras y lignitos de acuerdo a la zona que se fuese a atravesar.

Se empleó el programa de baches de la siguiente manera:

- ✓ Se bombean baches de 2 m³ en cada tramo (Kelly) perforado con 70 Kg/m³ de material, de los cuales el 85% de la concentración corresponde a CaCO₃, sin

embargo estas concentraciones podrían aumentarse de encontrar pérdidas importantes.

- ✓ Una vez perforada la zona de mayor potencial de pérdidas, continuar con los baches, pero en menor concentración que el anterior y añadiendo fibras hasta llegar a la profundidad de asentamiento de la cañería intermedia.
- ✓ La zona de producción perforar con concentración estable en el sistema de unos 40-50 kg/m³ de carbonato de calcio, con baches de barrido para limpiar el agujero de recortes.
- ✓ Una vez alcanzada la profundidad final realizar el viaje corto para ajustar la densidad del sistema, dejar en el fondo bache pesado cubriendo los yacimientos que podrían entregar gas al pozo de tal manera de no aumentar la densidad a todo el sistema para disminuir la posibilidad del efecto globo en las formaciones superiores por sobrepasar su presión de iniciación de fractura.

De los antecedentes vistos en los pozos perforados al inicio, el efecto globo se produce de manera importante al final de la perforación, una vez alcanzada la profundidad final, esto debido al incremento de la densidad de la columna se produce pequeñas fracturas en los estratos superiores debido a la estrecha ventana operativa, desencadenándose todo un círculo vicioso (aumento de densidad, pérdida, entrada de gas, aumento de peso), por esta razón la última recomendación del programa de baches (dejar píldora pesada en el fondo) ha sido importante para reducir la problemática de la perforación como consecuencia del efecto globo.

Seguidas estas recomendaciones se han encontrado mejoras significativas en la performance de los pozos subsiguientes.

5. USO DE CABEZAL ROTATORIO. PERFORACIÓN EN BALANCE.

Como ya se ha comentado previamente, es escenario presente en el campo es el de una reducida ventana operativa, es decir que el margen entre la presión de poro y presión de fractura es mínimo sobre todo en las secuencias arenosas, por este motivo la perforación así como las maniobras con el sondeo son críticas ya que podrían generar un influjo de gas al pozo o una pérdida de circulación que a su vez con la reducción de la columna hidrostática deviene en la entrada de fluidos al pozo, generándose una situación muy difícil de manejar.

Como alternativa a la situación planteada y debido a la necesidad de perforar lo más cerca al balance y manejar un sistema de lodo cortado por gas, se optó por la utilización de cabezales rotatorios a fin de disminuir la densidad de perforación y a su vez tener la capacidad de manejar la entrada de gas al pozo de manera segura y confiable.

Se comenzó con la utilización de la cabeza rotatoria en la parte inferior de la etapa intermedia y durante la perforación de la etapa de producción, obteniéndose excelentes resultados desde el punto de vista de manejo de la operación. Con esta aplicación es posible entrar a perforar las zonas de yacimiento con lodos que apenas superan la presión de formación, disminuyendo la presión hidrostática en los niveles más débiles reduciendo el potencial de pérdida de fluidos en las zonas más frágiles del agujeros que por razones de diseño se perforan con otras secuencias con diferentes propiedades.

Debido a los resultados obtenidos se ha implementado como práctica su utilización en todas la campaña de perforación.

La figura N° XX presenta el equipo de cabeza rotatoria utilizada.

6. USO DE SOFTWARE ESPECIALIZADOS PARA SIMULACIÓN Y ESTIMACIÓN.

Para tener una mejor estimación se cuenta con software que permite realizar la estimación de diferentes parámetros que ayuda a la visualización de problemas potenciales y la búsqueda de soluciones apropiadas.

Tal es el caso de la estimación de la presión de poro y de fractura (ventana operativa) en combinación de la presentación de las mismas con la litología y caliper que brindan una visualización completa y los retos a enfrentar con la perforación, tal como se presenta en la figura N° 4 y 5.

Igualmente con algunos paquetes de computación se estimaron los diferentes valores de variables de elasticidad de la roca que permitieron tener argumentos para la selección del punto de asentamiento intermedio.

Ya en la parte operativa la utilización de medición de parámetros en tiempo real es de gran ayuda tanto para el manejo operativo de la perforación así como para establecer la mejor correlación con la información disponible para tomar decisiones en tiempo real.

Otros paquetes son utilizados para realzar la simulación de las maniobras con el sondeo (suaveo y surgencia) de tal manera de tener presente este fenómeno y realizar los viajes a la velocidad apropiada.

La conjunción de todos los software disponibles brindan las herramientas para el correcto monitoreo de la operación así como la simulación de eventos y la estimación de valores y propiedades necesarias para la toma de decisiones.

RESULTADOS.

Hasta la fecha han sido perforados nueve pozos en el campo, con resultados precarios a nivel de tiempo-costos en los dos primeros pozos los cuales han sido mejorados en los pozos subsiguientes gracias a la experiencia obtenida en los dos primeros pozos y el análisis realizado a los mismos, que permitieron la identificación de la problemática operativa y al ensayo de las alternativas presentadas anteriormente y posteriormente su correcta implementación en las actividades de perforación en el área..

La figuras N° 6 y 7 presenta la curva de aprendizaje obtenida en el campo y muestra la tendencia a la mejora de los indicadores de tiempo y por consecuencia a la rentabilidad del proyecto.

De todas las alternativas ensayadas, la utilización de barrena bicéntricas fue descartada ya que se pudo demostrar que no agregaba valor o beneficios a la optimización operativa, sin embargo, el uso de cabezales rotatorios así como un diseño de baches adecuados para minimizar el efecto globo ha dado muy buenos resultados por lo que se han implementado como norma su utilización para todos los pozos subsiguientes.

La definición del punto de asentamiento de la cañería de revestimiento intermedia, se considera crítico para efectos de reducción de la problemática, así que es de vital

importancia la correcta selección del mismo y se ha estandarizado dejarlo después de la dos primeras secuencias arenosas de la formación Mount Selman; la geología del área es compleja y a veces la continuidad estratigráfica no es buena por lo tanto, con la ayuda del monitoreo de parámetros en tiempo real (tasa de penetración, corte de gas, etc.) se ha logrado correlacionar con bastante precisión el punto de asentamiento de la cañería intermedia.

La corrida realizada de PWD sirvió para confirmar que el anular no estaba siendo sobrecargado con recortes de perforación y correlacionar las entradas de gas con lo presentado por la medición de parámetros en tiempo real lo que ayudo a confeccionar un programa de lodo (densidad) adecuado para las condiciones de perforación en el área. Aunque no se observó la respuesta característica del efecto globo⁵ ya que en la mayoría de los casos este se presenta justo cuando se realiza las maniobras con sondeo y no se tiene la medición de presión anular durante este período.

CONCLUSIONES

De la experiencia obtenida en la Campaña de Perforación y del manejo del efecto globo en el Norte de México se pueden sacar algunas lecciones aprendidas.

- ✓ Con todas las observaciones realizadas se puede inferir que el efecto globo presente en la zona es el resultado de pequeñas fracturas que no logran propagarse y que son cargadas con fluido una vez aplicada la DEC y que al desaparecer este efecto el pozo devuelve el lodo con alto corte de gas generando la problemática existente.
- ✓ No se descarta como parte del problema el efecto geomecánico (poroelasticidad) ya que se perforan grandes espesores de lutita que al ser sometidas al esfuerzo ejercido por la presión hidrostática debido a su condición elástica permite la expansión del diámetro del agujero retornando al diámetro original luego de ser eliminado el esfuerzo hidráulico. Sin embargo, no se considera este mecanismo como el principal responsable sino como factor coadyudante a que ocurra el efecto globo.
- ✓ La perforación cercana al balance, ha sido importante y el factor determinante en la mitigación del efecto globo en la zona, ya que nos ayuda a mantenernos en un rango seguro de operación por mínimo que este sea.
- ✓ Se ha determinado que el momento más crítico en la perforación, con relación al efecto globo, es cuando se ha llegado a la profundidad final y se ha alcanzado la máxima densidad. Por la naturaleza del gas y su alta velocidad de migración, desgasificar el sistema es bastante complejo por lo que la actitud de los operadores es incrementar la densidad para tratar de controlar el gas, esta acción trae como consecuencia el inicio o el agravamiento del efecto como consecuencia del incremento de la densidad.
- ✓ Se debe colocar especial cuidado con las operaciones de registros debido a la posibilidades de inducir el efecto de suaveo y pistoneo. Igualmente cuando se realiza las maniobras con el sondeo ya que el suaveo y pistoneo podría iniciar el efecto globo.
- ✓ El programa de baches bien estructurado nos permitió avanzar en la operación estableciendo el puenteo necesario para las formaciones más débiles (superiores) con problemas de pérdidas de circulación independientes al efecto globo.
- ✓ El uso del monitoreo de parámetros de perforación en tiempo real abre la posibilidad de llevar la operación del pozo de manera ajustada a su requerimiento.
- ✓ Aunque es un fenómeno bastante complicado, con el uso de herramientas y tecnología convencionales se puede mitigar los efectos y consecuencias haciendo posible la perforación de pozos con esta problemática.
- ✓ El uso de software la estimación y definición de parámetros abre la posibilidad de tener datos certeros y herramienta para la correcta toma de decisiones.
- ✓ El estudio detallado de los pozos vecinos y una correcta Planificación, son elementos fundamentales para la obtención de resultados positivos.
- ✓ La conformación de equipos multidisciplinarios de trabajo con la sinergia necesaria para afrontar proyectos como el que se describió generan resultados óptimos.

BIBLIOGRAFIA

1. Aadnoy, B. S. Evaluation of borehole ballooning in deep wells. Modern Well Design. Balkema, 1996.
2. Ole A. Helstrup, Khalil Rahman and Skeik S. Rahman. Poroelastic effects on Borehole Ballooning in Naturally Fractured Formations. SPE/IADC 79849. 2003.
3. A. Lavrov and J. Tronvoll. Mechanics of borehole ballooning in Naturally-Fractured Formations. SPE 93747. 2006
4. Aadnoy, B.S. Evaluation of borehole ballooning in deep wells. In: Modern Well Design. Balkema, 1996.
5. J.A. Gill. Charged Shales: Self-Induced Pore Pressures. SPE/IADC 14788. 1986.
6. Chris Ward and Ron Clark. Anatomy of a Balloning Borehole using PWD Tool. 1998.
7. Nayelli Garcia, Jesús Mendoza, Luis Roca, Jean-Francois Mengual y Andrés Sosa. Construcción de pozos y desarrollo de campos petroleros en México. Oilfield Review, Primavera 2004.
8. Gill, J.A. How borehole ballooning alters drilling responses. Oil & Gas Journal Marzo 16, 1987
9. Bowman, G.R. Borehole ballooning in response to Gill. Oil & Gas Journal Abril 10, 1989
10. Holbrook, P. Debate on borehole balloning in response to Gill. Oil & Gas Journal June 12, 1989
11. Ortiz-Ubilla Arturo y Tolson Gustavo. Interpretación estructural de una sección sísmica en la región Arcabuz-Culebra de la Cuenca de Burgos, NE de México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v.21, núm. 2, 2004, p. 226-235.

FIGURAS Y TABLAS



Figura N° 1 Ubicación del Bloque Misión en la Cuenca de Burgos-México.

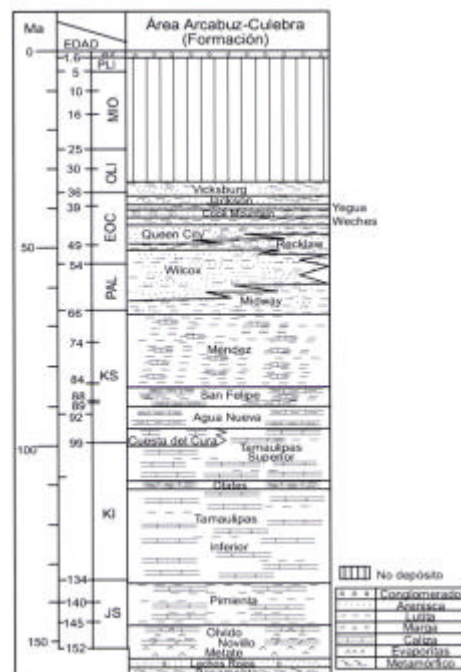


Figura N° 2 Columna estratigráfica compuesta del área Arcabuz.

Trabajando con EFECTO GLOBO

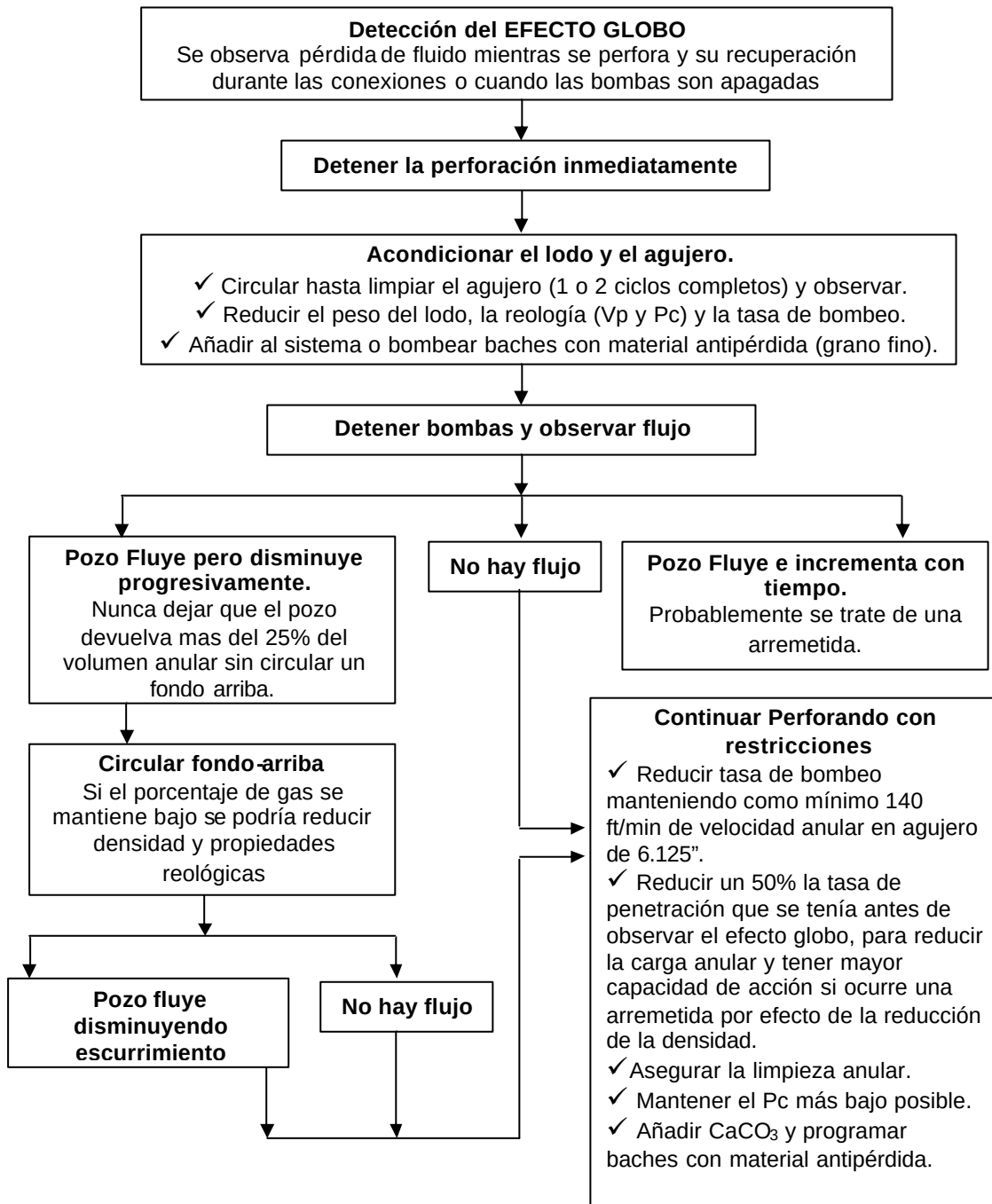


Figura N° 3 Diagrama de Trabajo con presencia de Efecto Globo.



Figura N° 4 Procesamiento de estabilidad de agujero, etapa intermedia.

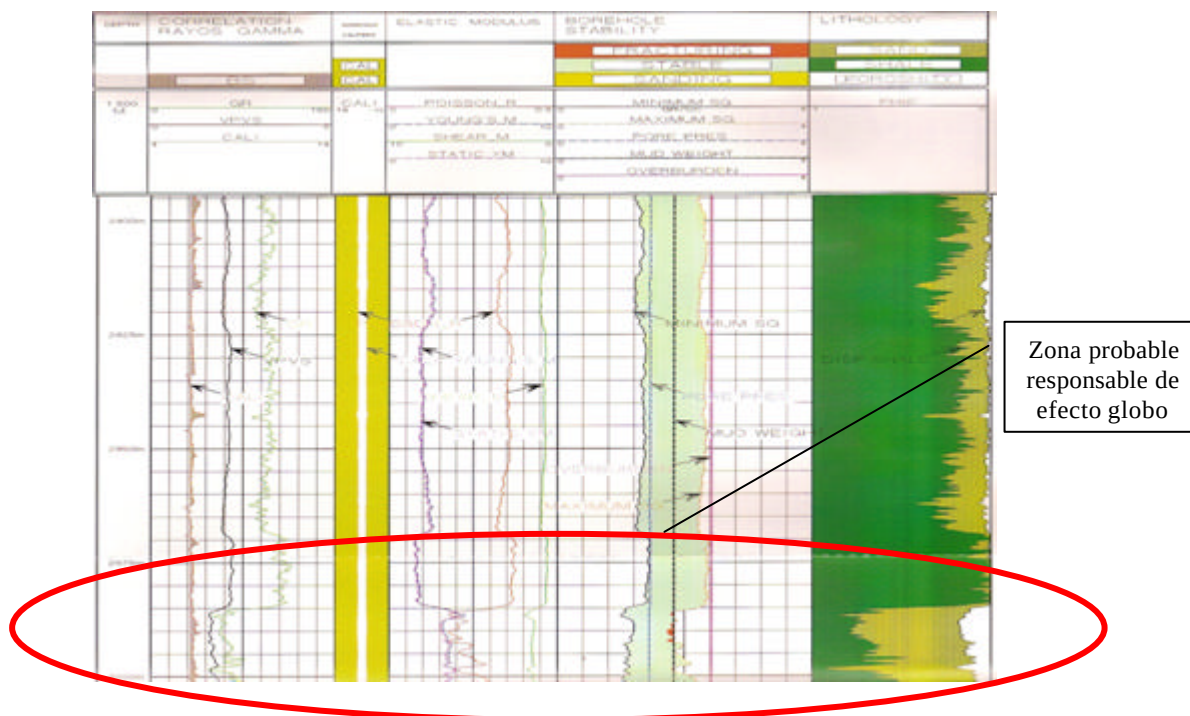


Figura N° 5 Procesamiento de estabilidad de agujero, etapa producción.

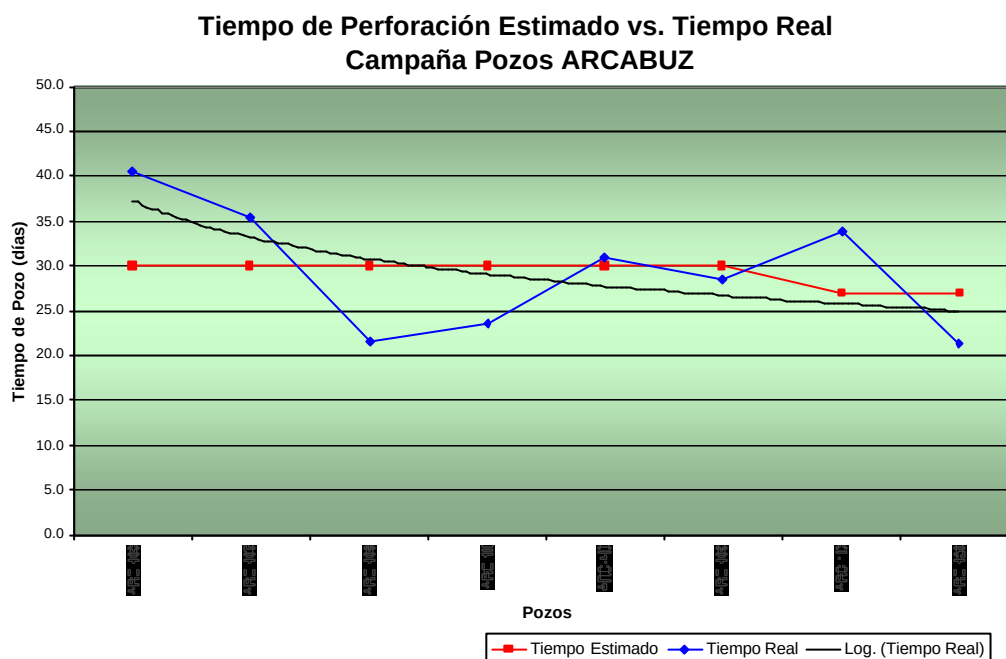


Figura N° 6 *Tiempos planificados vs. Tiempos reales en perforación de pozos. Curva de aprendizaje.*

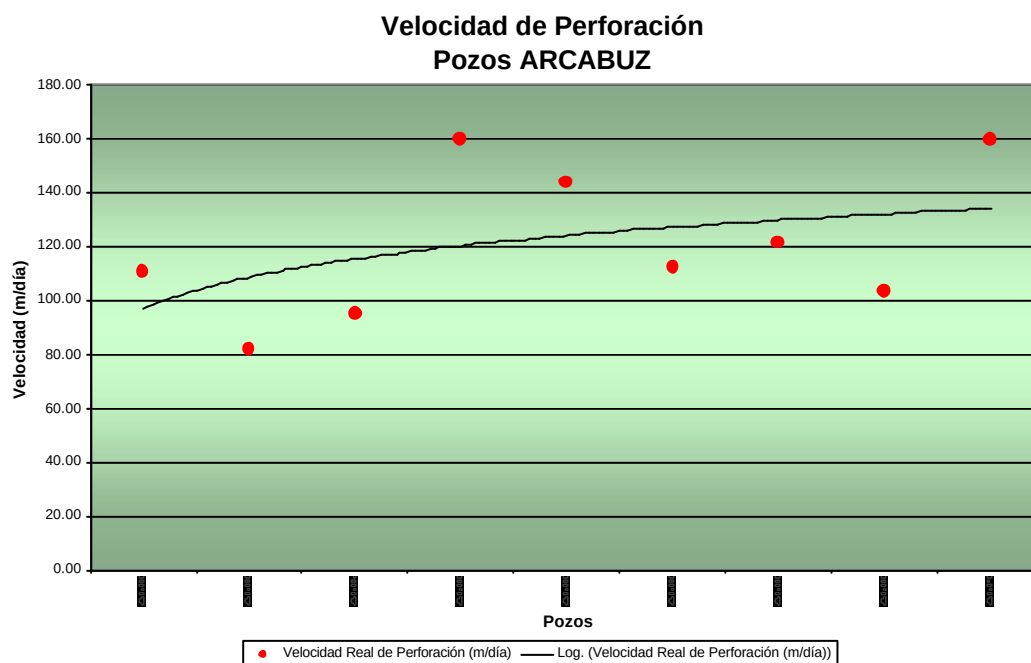


Figura N° 7 *Velocidad de perforación de pozos.*