

REDUCCION DE COSTOS DE PERFORACION Y TERMINACION EN YACIMIENTOS MADUROS

Mario Fernández (mario.fernandez@petrobras.com) – Petrolera Entre Lomas S.A.

Carlos Lucero (alberto.lucero@petrobras.com) – Petrolera Entre Lomas S.A.

Daniel Rojo (daniel.rojo@petrobras.com) – Petrolera Entre Lomas S.A.

Pablo Castillo (pablo.castillo@petrobras.com) – Petrolera Entre Lomas S.A.

SINOPSIS

Con el objetivo de mejorar la rentabilidad de las inversiones para el desarrollo de reservas en los yacimientos maduros operados por PETROLERA ENTRE LOMAS S.A., se han investigado continuamente posibilidades de reducción de costos en perforación y terminación, buscando alternativas al tradicional pozo perforado con trépano de 8 1/2" y sondeo de 4 1/2", entubado con casing de 5 1/2" y equipado con instalación de bombeo mecánico. Algunos ejemplos de estas mejoras son la incorporación de la bandeja hidráulica y el motor de fondo a los equipos de perforación, herramientas que además de reducir costos incrementaron notablemente la seguridad.

En el año 2010, investigando alternativas para perforar pozos slim hole, se comenzó a perforar con trépano de 7 7/8", experiencia que fue exitosa desde el punto de vista operativo. Luego de varios pozos perforados con este diámetro de trépano se entubaron dos pozos con casing de 4 1/2" con el que, a pesar de ser pozos slim hole, se incrementan las posibilidades de éxito en caso de pescas. Estos pozos fueron equipados con instalación de bombeo mecánico, con ancla-packer y sin tubing. Se trata de una experiencia innovadora, aún en evaluación, respecto a los pozos slim hole convencionales productores de gas o petróleo por surgencia natural.

La perforación con trépano de 7 7/8", que requiere menos peso para perforar que el 8 1/2", permitió reducir el número de portamechas del sondeo, reemplazando su peso por barras de perforación. Este hecho, combinado con el cambio del cable del aparejo, logró incrementar la capacidad de perforación del equipo que normalmente opera en PELSA de 3000 m a 3350 m, evitando recurrir a un equipo de mayor capacidad como se hacía hasta ese momento.

Es destacable cómo el estudio de alternativas pensadas originalmente para perforar pozos slim hole desembocó en la perforación de pozos profundos (3350 m) con el equipo disponible, evitando la movilización de un equipo de mayor potencia y obteniendo reducciones de costos de un 20% en la fase de perforación de estos pozos. Esta reducción incluye ahorros por menor tamaño de locación, menor costo y tiempo de DTM (desmontaje-transporte-montaje), menor tarifa horaria y reducción del volumen de recortes generados.

INTRODUCCION

Petrolera Entre Lomas S.A. opera 3 Áreas vecinas ubicadas en el flanco noroeste de la cuenca neuquina, a 100 km aproximadamente de la ciudad de Neuquén. En el año 1968 comenzó a operar el Área Entre Lomas, en la que se han perforado más de 750 pozos en los 7 yacimientos que la componen.

Con más de 40 años de actividad y sus características de desarrollo y explotación, estos campos se encuentran claramente dentro de la categoría de yacimientos maduros. Los más importantes son los llamados Charco Bayo y Piedras Blancas, con un total de 545 pozos perforados a la fecha entre productores e inyectores de agua dulce. La inyección de agua para asistir la producción con recuperación secundaria comenzó en el año 1976.

Posteriormente, en el año 2007 Petrolera Entre Lomas S.A. incorporó las Áreas Agua Amarga y Bajada del Palo, las cuales comenzó a operar y desarrollar.

Si bien el total de los yacimientos que pertenecen al Área Entre Lomas son explotados con técnicas de reservorios y extracción en constante actualización, acorde a la madurez de sus campos, en este trabajo se describen sólo las tecnologías que permiten una reducción de los costos de perforación y terminación para maximizar la rentabilidad de las inversiones.

En la siguiente figura 1 puede apreciarse la ubicación de las 3 Áreas:

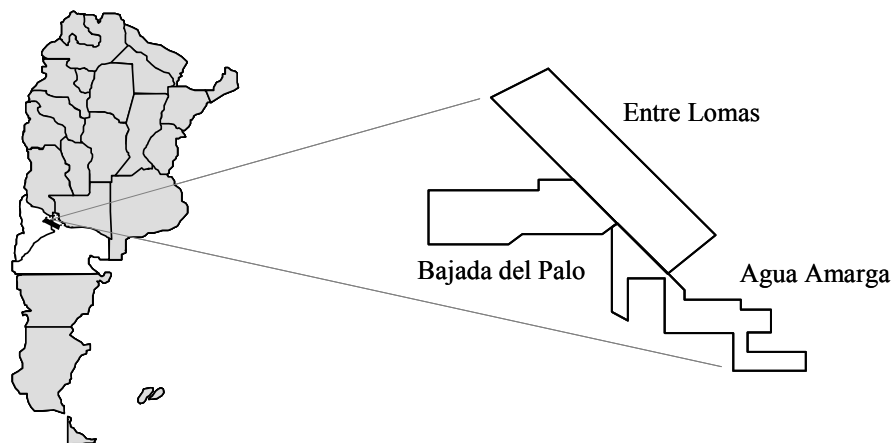


Figura 1

Considerando las mencionadas Áreas se perforan 3 tipos de pozos con profundidades que varían de 2450 m a 3350 m según se indica a continuación:

Área Entre Lomas	Yac. C. Bayo - P. Blancas	Profundidad 2450 m
Área Agua Amarga	Yac. Charco del Palenque	Profundidad 3150 m
Área Bajada del Palo	Yac. Borde Montuoso	Profundidad 3350 m

La figura 2 muestra el esquema de perforación y entubación de estos pozos tipos:

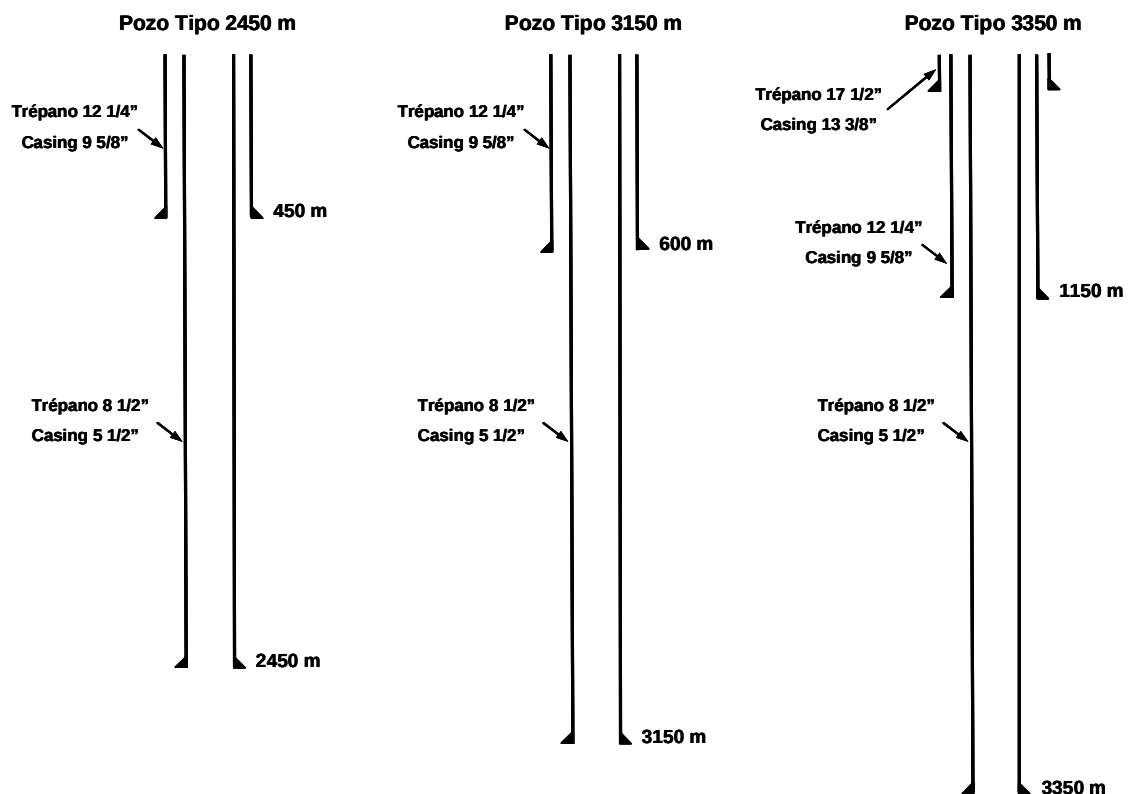


Figura 2

Dado que hasta la incorporación de las nuevas Áreas los pozos en general no superaban los 2450 m, operaban en Entre Lomas uno o dos equipos con capacidad máxima de perforación de 3000 m, con sondeo de 4 1/2" y trépano de 8 1/2". En caso de perforarse algún pozo de avanzada o exploración que superara los 3000 m se movilizaba un equipo de mayor potencia, normalmente con capacidad de perforación hasta 3800 m con sondeo de 5" y trépano de 8 1/2".

Como ya se mencionó, la optimización técnica-económica en las etapas de perforación y terminación ha sido constante para asegurar la rentabilidad de las inversiones sin disminuir la actividad de perforación. Se presenta a continuación una descripción cronológica de las innovaciones técnicas incorporadas, las cuales redujeron los costos de perforación y terminación tanto en los yacimientos maduros de Entre Lomas como en las zonas en desarrollo de Agua Amarga y Bajada del Palo.

En el año 1999 se perforó el primer pozo slim hole en el yacimiento Charco Bayo del Área Entre Lomas, el que fue entubado con casing guía de 7" y tubing de 3 1/2" a modo de casing. Lo novedoso de este pozo consistió en que se bajó instalación de producción con bombeo mecánico, utilizando para ello una herramienta denominada ancla packer (pump anchor), no encontrándose antecedentes, aún a la fecha, de instalaciones similares. Si bien el pozo se encuentra actualmente en producción sin problemas operativos el proyecto fue discontinuado, especialmente por considerarse que debido a su reducido diámetro de casing las maniobras de pesca serían sumamente complicadas y costosas en caso de producirse.

En el año 2007, con la incorporación del Área Agua Amarga, surge la necesidad de perforar pozos a 3150 m para explorar y posteriormente desarrollar la misma.

Como se indicó anteriormente, la capacidad de perforación de los equipos disponibles en el Área alcanzaba los 3000 m, así la primera alternativa que surgió para perforar en Agua Amarga fue movilizar un equipo de mayor capacidad. Esta opción, además del mayor costo, presentaba el inconveniente que, dado que se trataba de un Área a estudiar para su posterior desarrollo, no se perforarían los pozos en forma continua, obligando entonces a una movilización y desmovilización del equipo para cada pozo a perforar, lo que lógicamente incrementaba su costo en forma importante. Ante esta situación comenzaron a estudiarse alternativas para bajar el costo de la perforación. Una de las posibilidades consistió en verificar las capacidades de tiro de los distintos elementos que componían el equipo disponible. Se determinó así que estaba equipado con cable IPS, siendo este justamente el que limitaba su capacidad de perforación respecto al resto de los componentes del equipo tales como mástil, cuadro de maniobras y sondeo. Surgió entonces la posibilidad de cambiar el cable IPS (113,000 lb) por otro XIPS (130,000 lb) de mayor resistencia, opción que se puso en práctica e hizo posible perforar los pozos profundos en Agua Amarga con el equipo estable en PELSA, con la consiguiente reducción de costos respecto a la perforación con un equipo de mayor capacidad. Por otro lado, como ya se indicó, la posibilidad de perforar pozos profundos con el mismo equipo simplificó la operación en grado sumo.

Posteriormente, en el año 2009, se incorporó al equipo de perforación la Bandeja Hidráulica; herramienta que sustituye a la planchada del equipo y permite el manejo de todos los tubulares, tales como barras de perforación, portamechas, casing, etc. por lo que reemplaza a la bandeja a cable. Al sustituir la planchada del equipo tiene la ventaja que se encuentra disponible durante toda la operación de perforación, por lo que sumado a que elimina los DTM de la bandeja a cable, para el pozo tipo de 2450 m se obtuvo una reducción de 10 horas sobre los 13 días promedio de perforación. Su principio de funcionamiento electrohidráulico elimina las cargas suspendidas, y su comando a distancia aleja a las personas de los lugares riesgosos incrementando la seguridad de la operación.

En el mismo año 2009 se incorporó el Motor de Fondo para perforar los pozos verticales, herramienta que en PELSA se encontraba postergada por los problemas de pesca ocurridos en la perforación de un pozo dirigido. El uso del motor de fondo para perforar el pozo guía y el pozo vertical disminuyó en 26 horas el tiempo de perforación del pozo tipo de 2450 m. En la siguiente figura 3 se muestran las curvas de avances anterior y posterior a la incorporación de la bandeja hidráulica y el motor de fondo, herramientas que en conjunto disminuyeron el tiempo promedio de perforación en 36 horas.

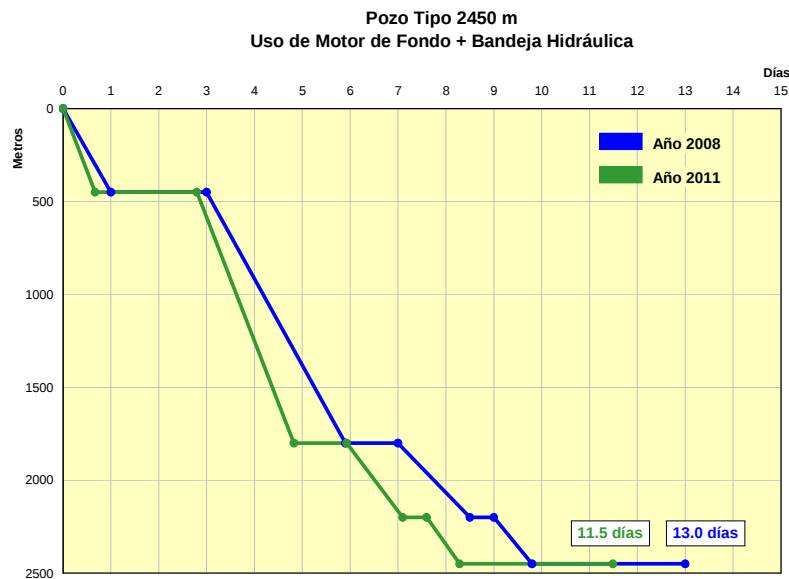


Figura 3

Considerando los logros mencionados, se estimó poco probable una nueva reducción de costos importante en la perforación del pozo convencional sin un cambio en la tecnología de perforación. Por este motivo se decidió continuar la experiencia con la perforación de pozos slim hole. Junto con la decisión de continuar perforando pozos de diámetro reducido, se comenzaron a estudiar alternativas de perforación que mejoraran la primera experiencia realizada en el año 1999. Así se llegó a la conclusión que resultaría muy conveniente reemplazar el tubing de entubación de 3 1/2" por casing de 4 1/2". En este caso las posibles maniobras de pesca se simplificarían, salvando así uno de los problemas que llevó a discontinuar el proyecto luego del primer pozo slim hole perforado. Otra de las conclusiones importantes a las que se arribó consistió en perforar, tanto los pozos slim hole como los convencionales, con trépano de 7 7/8".

Se comenzó entonces a perforar con este trépano de 7 7/8" en reemplazo del de 8 1/2", observándose desde un principio que es perfectamente factible y obteniéndose los beneficios que se indican a continuación:

- En esta etapa en que se está haciendo experiencia gradualmente con los pozos slim hole es sumamente importante, ya que tanto el pozo convencional como el slim hole se perforan con el mismo sondeo, sin la costosa operativa de cambiar sondeo de 4 1/2" por 3 1/2" para el pozo de diámetro reducido.
- En el pozo convencional permite perforar la guía con trépano de 10 5/8", reemplazando al de 12 1/4", para entubar casing de 8 5/8" en lugar del de 9 5/8".
- Menor impacto ambiental por reducción del 17 % del volumen de recortes generados en el pozo convencional (trépanos 12 1/4" y 8 1/2"), respecto al pozo perforado con trépanos de 10 5/8" y 7 7/8".
- Menor costo de tratamiento de recortes y cementaciones guía y aislación.
- Menor costo del casing guía en el pozo convencional (8 5/8" en reemplazo de 9 5/8")

En la siguiente figura 4 se muestran los esquemas de perforación y entubación para el pozo de 2450 m: convencional perforado con trépanos de 12 1/4" y 8 1/2", convencional perforado con trépanos de 10 5/8" y 7 7/8" y el nuevo slim hole perforado también con trépanos de 10 5/8" y 7 7/8". Los 3 con el mismo equipo de perforación y sondeo de 4 1/2".

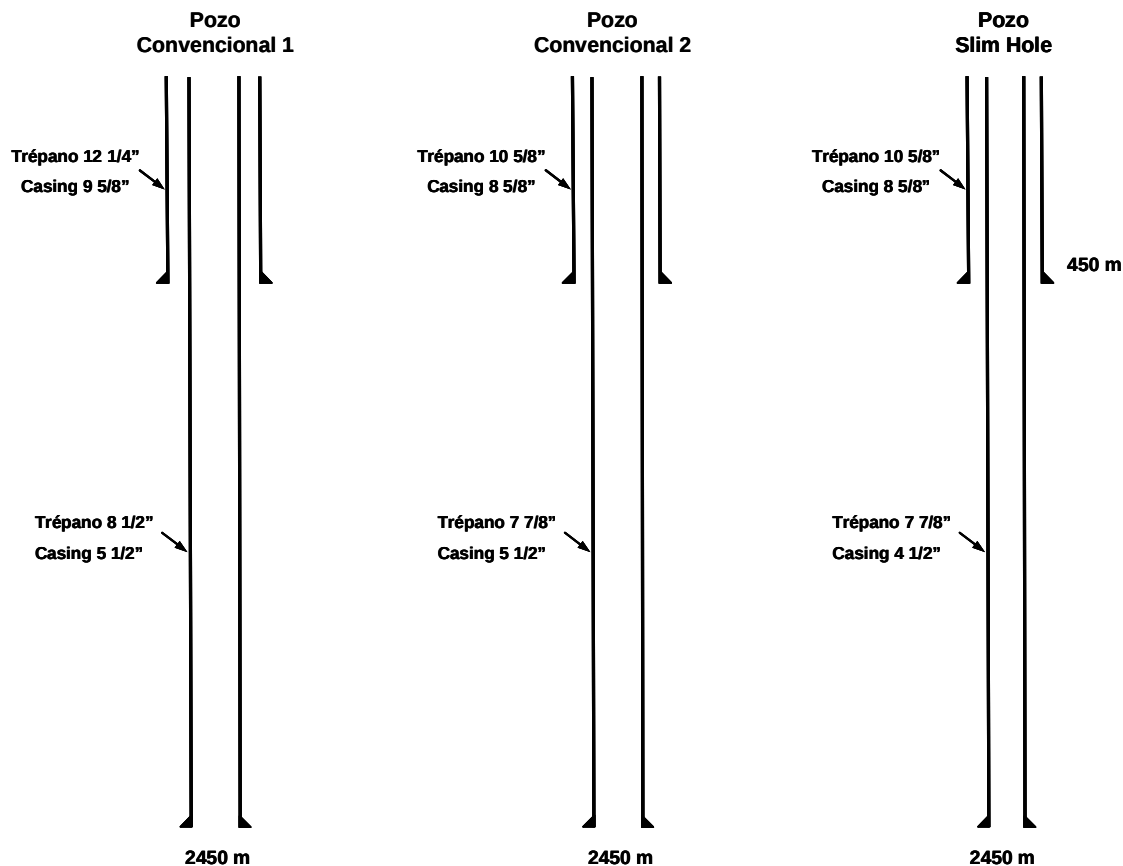


Figura 4

En el mismo año 2007 PELSA adquiere el Área vecina Bajada del Palo, en la que, en uno de sus yacimientos más importantes a desarrollar, Borde Montuoso, los pozos alcanzan la profundidad de 3350 m. En el año 2008 se comenzó a perforar en esta zona, por lo que en dos oportunidades se movilizó y desmovilizó un equipo con capacidad de perforación hasta 3800 m.

Como fue ya fue indicado, constantemente se buscó la optimización técnica-económica de la perforación, en este caso para desarrollar un yacimiento profundo con sus consiguientes costos asociados. Respecto al equipo de perforación, se estimaba que la máxima capacidad con el equipo estable en el Área había sido alcanzada con el ya mencionado cambio del cable.

Como se mencionó en el punto anterior, la optimización buscada para perforar el pozo slim hole concluyó con el reemplazo del trépano de 8 1/2" por el de 7 7/8" para perforar los pozos verticales convencionales. La incorporación de este trépano permitió reducir los 20 PM (portamechas) que normalmente se utilizaban a 15 PM, dado que para perforar se requiere menos peso que con el de 8 1/2", situación que a su vez hizo posible reemplazar el peso de los 5 PM retirados por el mismo peso en barras de perforación. Se obtuvo así una columna de 3350 m con igual peso que la de 20 PM y 3150 m. Inmediatamente surgió la conclusión de que las condiciones operativas del equipo eran similares para ambas columnas.

Por lo anteriormente indicado se concluyó que era técnica y económicamente atractivo considerar la posibilidad de perforar los pozos verticales, a una profundidad de 3350 m, con el equipo de menor capacidad disponible en PELSA, posibilidad que fue llevada a la práctica con total éxito desde un principio.

Los beneficios que se obtuvieron fueron muy importantes, especialmente por la reducción del costo y menor tiempo del DTM, junto al menor costo de la hora operativa respecto al equipo de mayor capacidad. Adicionalmente se suman la locación de menor tamaño y la posibilidad de entubar la guía con casing de 8 5/8" en reemplazo del de 9 5/8". Finalmente, perforando con trépano de 7 7/8" en reemplazo del de 8 1/2", se logró reducir en un 20 % aproximadamente el costo de la fase de perforación del pozo profundo a 3350 m.

DESARROLLO

Se presenta a continuación el desarrollo en detalle de las principales tecnologías expuestas.

PERFORACION POZOS PROFUNDOS A 3150 m

Hasta el año 2007 perforaban en el Área Entre Lomas uno o dos equipos con una capacidad nominal de 3000 m, suficiente para los pozos de desarrollo en los yacimientos maduros que operaba PELSA en ese momento. Ante la necesidad de perforar pozos de avanzada o exploración que superaran los 3000 m se solicitaba un equipo de mayor potencia, normalmente con capacidad nominal de perforación de 3800 m. En la Tabla 1 se muestran las características principales de estos equipos y, en el final de la misma, su comparativa en porcentaje de tiempos de DTM y costos.

En el 2007 PELSA incorpora el Área Agua Amarga y aparece inmediatamente la necesidad de comenzar a perforar para explorarla y posteriormente desarrollarla. Se trata de una zona en la que la profundidad de los pozos alcanza los 3150 m.

La capacidad de perforación de los equipos disponibles en PELSA era de 3000 m, por lo tanto la primera alternativa que surgió para perforar en Agua Amarga fue movilizar un equipo de mayor capacidad (3800 m), similar al indicado en la Tabla 1. Esta alternativa presentaba el inconveniente que, dado que se trataba de un Área exploratoria, no se perforarían los pozos en forma continua, obligando entonces a una movilización y desmovilización del equipo para cada pozo a perforar, lo que lógicamente incrementaba su costo en forma considerable.

Ante esta situación se comenzaron a estudiar alternativas que permitieran bajar el costo de la perforación. Una de estas posibilidades consistió en verificar las capacidades de tiro de uno de los equipos disponible en PELSA. Como se muestra en la Tabla 2, el equipo perforador, para un pozo de 3000 m con el cable IPS que normalmente lo equipa, está limitado en su capacidad de tiro justamente por el cable, disponiendo de una capacidad en el gancho de 11 T (overpull) para pozo seco, y 24 T para pozo lleno considerando el factor de flotación.

Se verificó que manteniendo el equipo en las mismas condiciones para perforar a 3150 m estas capacidades se reducen a 7 T y 21 T respectivamente. Surgió entonces la posibilidad de cambiar el cable IPS (113,000 lb) por otro XIPS (130,000 lb) de mayor resistencia, constatando en este caso que para el pozo de 3150 m las capacidades de tiro son de 24 T para el pozo seco y 38 T para pozo lleno, es decir que se dispondría de mayor capacidad de tiro que la disponible con cable IPS para un pozo de 3000 m.

Lógicamente, la decisión de incorporar al equipo el cable XIPS fue inmediata, por lo que pudieron perforarse los pozos a 3150 m con el equipo disponible en PELSA, con la consiguiente reducción de costos respecto a la perforación con un equipo de mayor capacidad. Por otro lado, la posibilidad de perforar pozos profundos con el equipo estable simplifica la operación en grado sumo.

En la Tabla 3 se muestra la verificación realizada para la operación de entubación con casing de 5 1/2", observándose que no presenta problemas por cuanto su peso es menor que el del sondeo.

Descripción Equipos Perforación

Capacidad Perforación Nominal		3000 m	3800 m
Datos generales	unidad		
Tipo		Autotransportable	Diesel - Eléctrico
Capacidad nominal de perforación	m	3,000	3,800
Barras sondeo	pulg	4 1/2	5
Mástil			
Altura	ft	117	142
Capacidad en el gancho	lb	343,000	375,000
Líneas		8	10
Cable			
Diámetro	pulg	1 1/8	1 1/4
Grado		IPS	IPS
Alma		acero	acero
Resistencia a la rotura	lb	113,000	138,000
Capacidad en el gancho para perforación			
Carga de rotura del cable	lb	113,000	138,000
Líneas	n°	8	10
Factor de seguridad	n°	3	3
Capacidad en el gancho	lb	253,500	375,000
Limitada por		cable	cable
Capacidad en el gancho para entubación			
Carga de rotura del cable	lb	113,000	138,000
Líneas	n°	8	10
Factor de seguridad	n°	2	2
Capacidad en el gancho	lb	275,000	500,000
Limitada por		mástil	cuadro de maniobras
Piso de enganche			
Barras sondeo	pulg	4 1/2	5
Capacidad de estiba barras sondeo	m	2,900	3,400
Capacidad de estiba PM 6 1/2"	m	226	220
Capacidad de estiba PM 8 1/4"	m	37	80
Tiros		dobles	triples
Corona			
Pastecas		5x36" + 1x42"	5x50" + 1x60"
Aparejo móvil			
Capacidad	T	160	350
Gancho			
Capacidad	T	150	350
Amelas			
Capacidad	T	180	350
Subestructura			
Altura del piso	m	4.90	6.70
Altura libre	m	4.00	5.40
Largo	m	6.75	9.00
Ancho	m	3	6
Mesa rotaria			
Apertura	pulg	17 1/2	27 1/2
Cuadro de maniobras			
Potencia nominal	Hp	600-900	1,000
Tambor principal			
Dimensiones		22" Diám x 41" Largo	25" Diám x 49" Largo
Campana de freno		46" x 10 3/4"	46" x 10 3/8"
Motor N° 1			
Potencia	Hp	440	1,000
Motor N° 2			
Potencia	Hp	440	1000
Tiempo promedio DTM	días	2.5	6
Costo DTM	%	100	230
Costo hora operativa	%	100	121
Tamaño locación	%	100	120

Tabla 1

Comparativa Perforación
Equipo capacidad nominal de perforación 3000 m

	Cable 1 1/8" IPS						Cable 1 1/8" IPS						Cable 1 1/8" XIPS					
	Longitud		Peso		Cap. Tiro	Factor	Longitud		Peso		Cap. Tiro	Factor	Longitud		Peso		Cap. Tiro	Factor
	m	ft	lb/ft	lb	T	Seguridad	m	ft	lb/ft	lb	T	Seguridad	m	ft	lb/ft	lb	T	Seguridad
Profundidad Pozo	3,000	9,843					3,150	10,335					3,150	10,335				
Sondeo																		
Trépano 8 1/2"																		
Portamechas 6 1/2" (20 PM)	184	604	90.00	54,333			184	604	90.00	54,333			184	604	90.00	54,333		
Hevi-Wate 4 1/2" (4 HW)	37	121	41.00	4,950			37	121	41.00	4,950			37	121	41.00	4,950		
Barras Sobdeo 4 1/2"	2,779	9,119	18.62	169,787			2,929	9,611	18.62	178,951			2,929	9,611	18.62	178,951		
Peso columna seco				229,071						238,235						238,235		
Peso columna flotando (F. flot. 0.873)				199,979						207,979						207,979		
Capacidad Mástil (8 líneas)				343,000						343,000						343,000		
Cable 1 1/8" IPS				113,000						113,000						130,000		
Factor eficiencia (0.842)																		
Factor seguridad (3)																		
Capacidad en el gancho (8 líneas)				253,723						253,723						291,893		
Capacidad de Tiro (Peso Col.Seco)																		
Mástil				113,929	52	1.50				104,765	48	1.44				104,765	48	1.44
Gancho				24,651	11	1.11				15,488	7	1.07				53,658	24	1.23
Capacidad de Tiro (Peso Col. Flotando)																		
Mástil				143,021	65	1.72				135,021	61	1.65				135,021	61	1.65
Gancho				53,743	24	1.27				45,743	21	1.22				83,914	38	1.40

Tabla 2

Comparativa Entubación Casing 5 1/2"
Equipo capacidad nominal de perforación 3000 m

	Cable 1 1/8" IPS						Cable 1 1/8" IPS						Cable 1 1/8" XIPS					
	Longitud		Peso		Cap. Tiro	Factor	Longitud		Peso		Cap. Tiro	Factor	Longitud		Peso		Cap. Tiro	Factor
	m	ft	lb/ft	lb	T	Seguridad	m	ft	lb/ft	lb	T	Seguridad	m	ft	lb/ft	lb	T	Seguridad
Profundidad Pozo	3,000	9,843					3,150	10,335					3,150	10,335				
Casing 5 1/2" N80 17 lib/ft																		
Peso casing seco	3,000	9,843	17.00	167,331			3,150	10,335	17.00	175,698			3,150	10,335	17.00	175,698		
Peso casing flotando (F. flot. 0.873)				146,080						153,384						153,384		
Capacidad Mástil (8 líneas)				343,000						343,000						343,000		
Cable 1 1/8" IPS				113,000						113,000						130,000		
Factor eficiencia (0.842)																		
Factor seguridad (3)																		
Capacidad en el gancho (8 líneas)				253,723						253,723						291,893		
Capacidad de Tiro (Peso Casing.Seco)																		
Mástil				175,669	80	2.05				167,302	76	1.95				167,302	76	1.95
Gancho				86,392	39	1.52				78,025	35	1.44				116,196	53	1.66
Capacidad de Tiro (Peso Col. Flotando)																		
Mástil				196,920	89	2.35				189,616	86	2.24				189,616	86	2.24
Gancho				107,643	49	1.74				100,339	46	1.65				138,509	63	1.90

Tabla 3

BANDEJA HIDRAULICA

Se trata de una herramienta que sustituye a la planchada del equipo y permite el manejo de tubulares tales como barras de perforación, portamechas, casing, etc., por lo que hace innecesario el uso de la bandeja de entubación a cable.

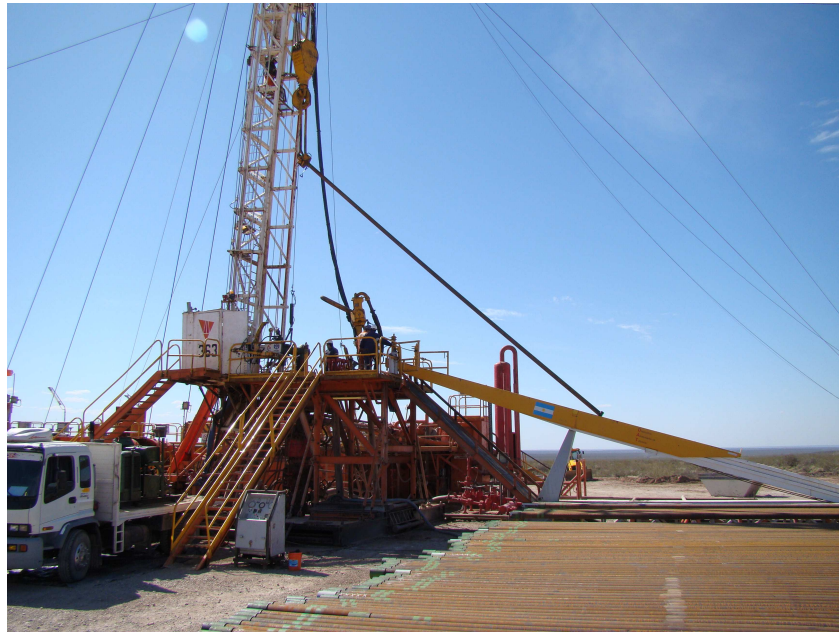


Figura 5

Al reemplazar a la planchada del equipo tiene la ventaja de ser operable en todas las maniobras de perforación, haciendo a la misma más eficiente y segura. Su principio de funcionamiento electro-hidráulico elimina las cargas suspendidas y el comando a distancia aleja a las personas de los lugares riesgosos, incrementando así la seguridad de la operación.

En la siguiente figura 6 se observa la bandeja a cable anteriormente utilizada, la cual en esta oportunidad fue desmontada en parte para permitir la operación del perfilaje.

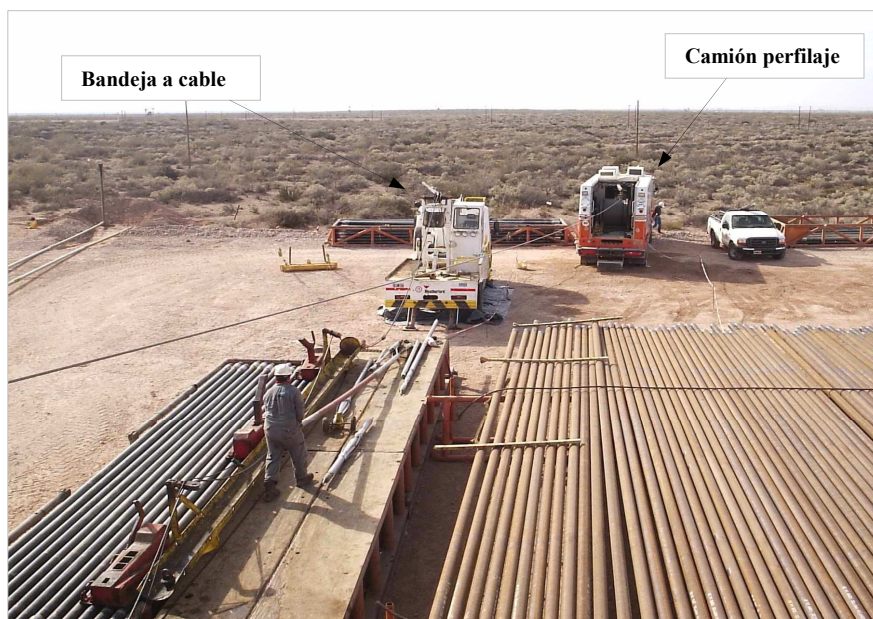


Figura 6

La optimización de tiempos más importantes obtenidos por el uso de la bandeja hidráulica se debe a la eliminación de los tiempos de DTM de la bandeja a cable, junto a una disminución de los tiempos de desarme de sondeo y entubación. Adicionalmente, al formar parte del equipo, está disponible en todas las etapas de la perforación para movimiento de barras, portamechas, motores de fondo, etc. lo que se traduce en ahorros de tiempo extras.

En la figura 7 se indican los ahorros en horas obtenidos en PELSA para un pozo tipo, con casing guía a 450 m y aislación a 2450 m, resultando en un menor costo final de la perforación. Como se puede observar, el uso de la bandeja hidráulica redujo en 10 horas la perforación del pozo. Es de destacar que no se consideró en esta reducción la optimización de tiempos en movimiento de tubulares durante el total de la operación de perforación.

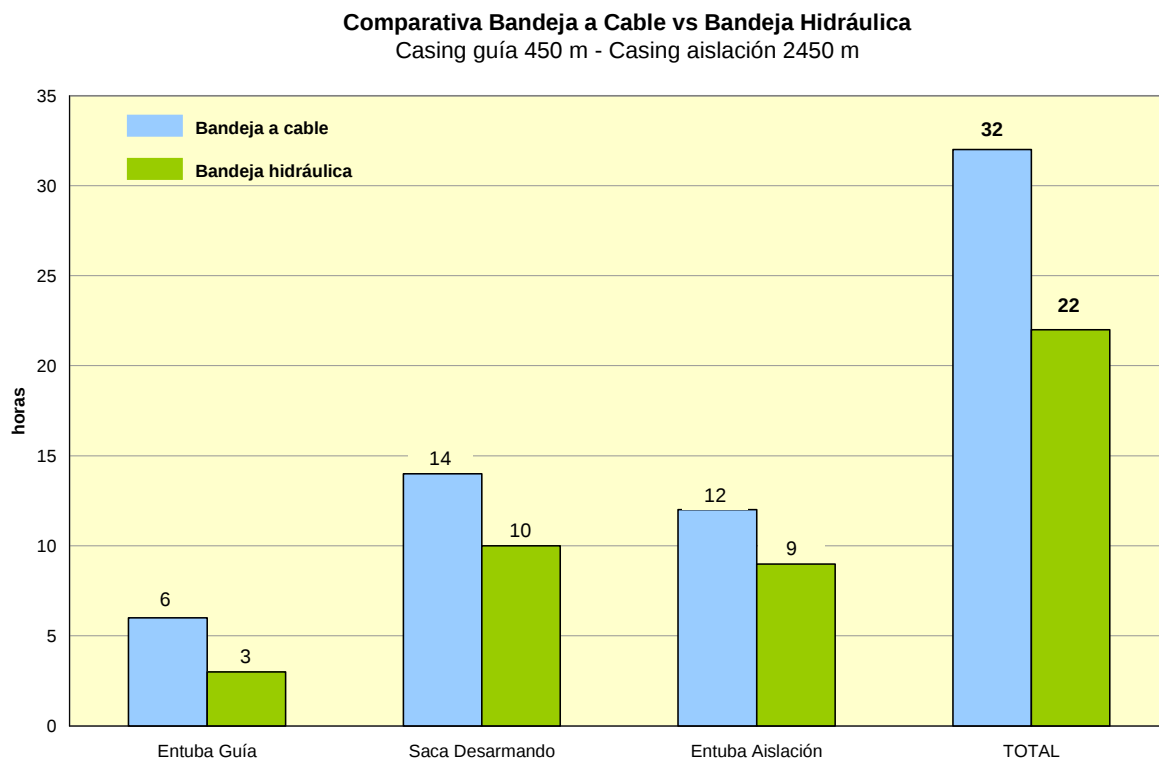


Figura 7

MOTOR DE FONDO

El motor de fondo fue normalmente utilizado por PELSA solamente para perforar pozos dirigidos. Una desafortunada experiencia de lost in hole en uno de ellos, con la consecuente pérdida del pozo, dificultaba la utilización de los motores a menos que fuera absolutamente necesario.

Hacia el año 2009 el uso del motor de fondo se incrementaba en la perforación de pozos verticales en otras operadoras, con muy buenos resultados en la reducción de tiempos de perforación. Esta situación hizo que se reviera la posibilidad de utilizarlo para este tipo de pozos. Así, con los objetivos de obtener:

- Pozos con mejor calibre
- Menor desviación
- Menor desgaste de trépanos y columna perforadora
- Reducción de los tiempos de perforación
- Reducción de costos de perforación

Ese mismo año se decidió comenzar a perforar con esta tecnología para su posterior evaluación, obteniéndose desde un principio los objetivos buscados. Por tal motivo la perforación de pozos con motor de fondo se generalizó a todos los pozos verticales.

Como se observa en la figura 8, la incorporación del motor en la perforación de estos pozos disminuyó el tiempo de perforación del pozo tipo 2450 m en 26 horas, de modo que el tiempo total de la fase perforación bajó de 13 a 11.9 días.

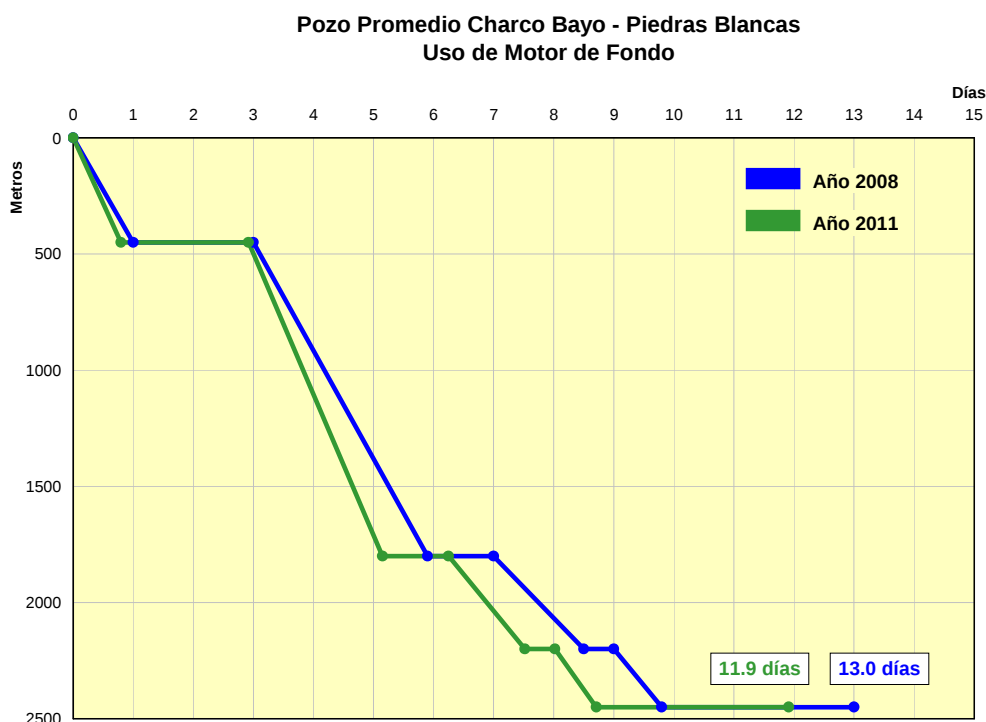


Figura 8

En cuanto a los costos, el probable ahorro lógicamente dependerá del costo al que se contrate el motor de fondo. A modo de ejemplo cabe destacar que en PELSA, para el mencionado pozo tipo de 2450 m, el costo del motor de fondo se corresponde con el costo de 23 horas de equipo incluyendo los servicios auxiliares.

Se concluye entonces que con la incorporación del motor de fondo se obtuvieron los beneficios técnico-económicos esperados, con una cierta reducción de costos en forma directa (3 horas de equipo más servicios auxiliares), al que debe sumarse el correspondiente al de adelanto de la puesta en servicio del pozo.

POZOS SLIM HOLE

Consideraciones generales

Con el objetivo de mejorar la rentabilidad de las inversiones para el desarrollo de reservas en los yacimientos maduros operados por PELSA, se han investigado continuamente posibilidades de reducción de costos en perforación y terminación. Ha de considerarse que la perforación del pozo convencional se optimiza técnica y económicamente en forma continua, por lo que se estimó poco probable una reducción de costos importante sin un cambio de la tecnología de perforación.

Así, buscando alternativas al pozo tradicional perforado con trépano de 12 1/4" para entubar casing guía de 9 5/8", y trépano de 8 1/2" para entubar casing aislación de 5 1/2", en el año 1999 se perforó el primer pozo slim hole en el yacimiento Charco Bayo del Área Entre Lomas.

Se intentó de este modo experimentar con tiempo tecnologías que permitan un menor costo final del pozo, incluyendo las etapas de perforación, terminación y equipamiento de bombeo mecánico, de modo de contar con suficiente experiencia en el momento en que la perforación convencional se torne antieconómica.

Se mencionan a continuación las principales ventajas y limitaciones de la perforación slim hole.

Ventajas

- Equipo de perforación de menor capacidad: dado que el pozo principal se perfora generalmente con trépano de 6 1/8" (Conv. 8 1/2"), portamechas de 4 3/4" (Conv. 6 1/2") y barras de 3 1/2" (Conv. 4 1/2") es necesario un equipo de menor capacidad que el utilizado en la perforación convencional.
- Locación reducida: el equipo de menor capacidad requiere también una locación menor que la convencional, aproximadamente reducida en un 20 %.
- Equipamiento de control de sólidos menor: los menores diámetros de trépanos con que se perfora el pozo slim hole, respecto al pozo convencional, hacen posible reducir el equipamiento de control de sólidos.
- Menor impacto ambiental: consecuencia del menor volumen de recortes generados.
- Menor diámetro de casing guía y aislación.
- Terminación: es posible terminar estos pozos con equipo de rigless y pulling para bajar instalación de producción.
- Equipamiento de producción: el pozo slim hole produce por casing, por lo que se elimina el tubing.
- Menor costo: de acuerdo a lo anteriormente indicado el costo del pozo slim hole resulta menor que el del pozo convencional. De acuerdo a los antecedentes obtenidos y la experiencia realizada en PELSA, es esperable una reducción de entre 20 % y 30% respecto al pozo convencional.

Limitaciones

- Terminación: normalmente no se ensayan las distintas zonas punzadas por separado, generando así una limitación con respecto a la terminación convencional.
- Lavado del agente sostén: para el lavado posterior a la fractura la bomba sand pump o fresa, debido al reducido diámetro del casing de entubación, deben ser reemplazadas por operaciones con coiled tubing de mayor costo.
- Sistema de extracción: en la figura 9 se muestra un esquema de los sistemas de producción para el pozo convencional y el slim hole. Como se observa el pozo slim hole no posee tubing y la producción total es extraída por casing, situación que lo hace más ineficiente si el pozo produce con un importante caudal de gas.
- La herramienta utilizada en el pozo convencional para anclar el tubing de 2 7/8" al casing de 5 1/2" es reemplazada por un ancla packer de mayor costo, dicha herramienta permite fijar la bomba de producción al casing del pozo slim hole.
- Maniobras de pesca: esta limitación es una de las más importantes en el pozo slim hole por la complejidad de las mismas en diámetros de casing reducido.
- Experiencia: No se encontraron antecedentes de pozos slim hole con bombeo mecánico, por lo que será necesario perforar un cierto número de pozos para hacer experiencia con esta instalación de producción.

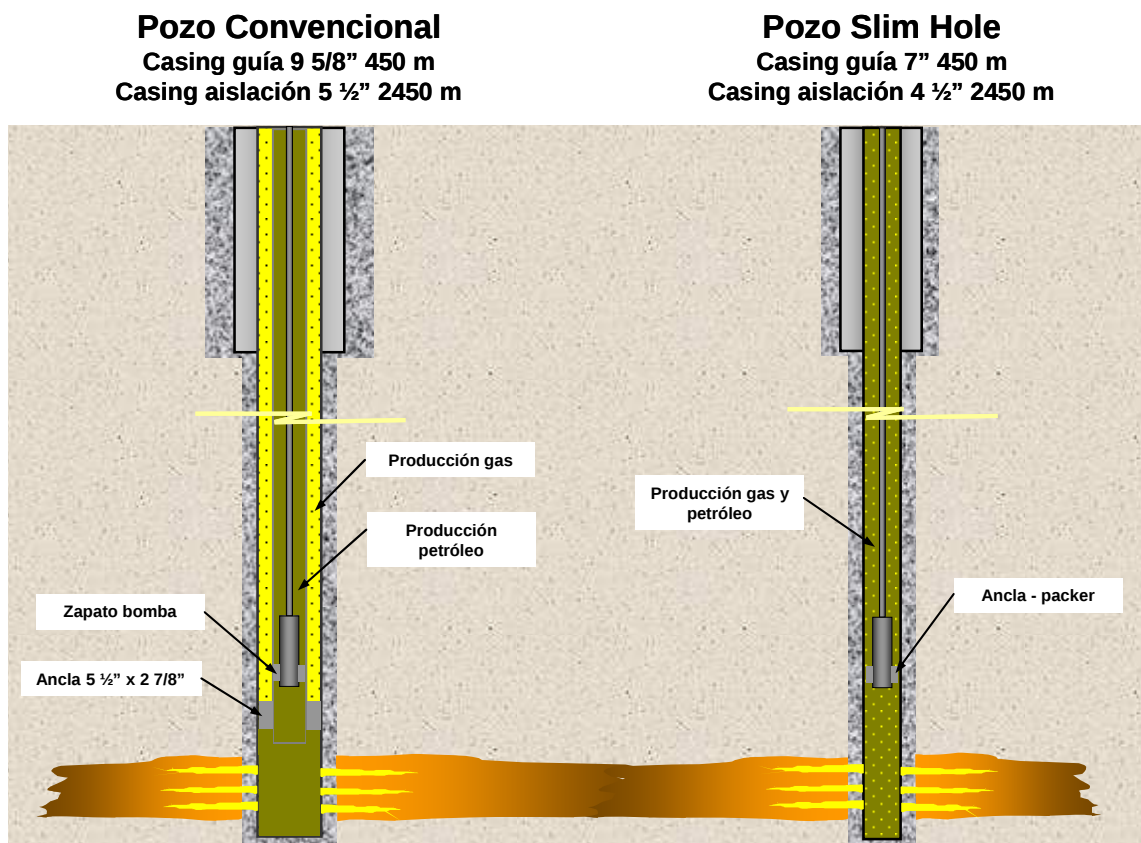


Figura 9

Antecedentes de la perforación slim hole en PELSA

Perforación primer pozo slim hole

Como se mencionó, en el año 1999 se perforó en el Yacimiento Charco Bayo del Área Entre Lomas el primer pozo slim hole, considerándose que operativamente cumplió con su objetivo. La guía fue perforada con trépano PDC 8 3/4", entubada con casing de 7" a una profundidad de 450 m y finalmente cementada. Posteriormente la perforación continuó con trépano PDC 6 1/8", entubando y cementando tubing 3 1/2".

Terminación primer pozo slim hole

Dado que se trataba del primer pozo slim hole fue terminado con equipo de workover, a pesar que la terminación ideal y de menor costo para estos pozos es con rigless. Luego de realizar el punzado en la zona de interés con cañón de 2" ensayó por pistoneo y quedó surgente, por lo que no fue estimulado. Finalmente desmontó el equipo de workover y bajo instalación final con pulling, compuesta por ancla-packer, bomba y varillas. Hasta el momento el pozo continúa en producción normal y las veces en que fue intervenido con pulling para cambio de bomba el ancla-packer libró sin dificultad. Igualmente no se lo considera una experiencia totalmente válida por ser un pozo no estimulado con fractura hidráulica, estimulación normal en prácticamente el total de los pozos perforados en las Áreas operadas por PELSA.

Discontinuidad del proyecto

Luego de perforar este primer pozo slim hole, y a pesar que desde un principio produjo normalmente, el proyecto fue discontinuado por posibles problemas de pesca que pudieran presentarse en un pozo fracturado. Si bien existen herramientas para bajar en tubing 3 1/2" las mismas no son de uso normal; se estimó por lo tanto que las maniobras de pesca podrían complicarse de tal manera que fuera necesario abandonar el pozo.

Perforación segundo pozo slim hole

Luego de la perforación del primer pozo slim hole y la discontinuidad de dicho proyecto, nuevamente la búsqueda de rentabilidad en los yacimientos maduros operados obligó a rever el proyecto. El estudio concluyó en que sería factible perforar un nuevo pozo slim hole si se lo entubaba con casing de 4 1/2", el cual mantendría las principales ventajas económicas y a su vez salvaría sus principales limitaciones dado

que, para este diámetro de casing, se dispone de herramientas de pesca usuales. A esto ha de agregarse que admite la posibilidad de bajar tubing de 2 3/8", facilitando de este modo las posibles maniobras de pesca. Suma además la posibilidad de bajar instalación final con tubing de 2 3/8", ancla (en reemplazo del ancla packer), bomba y varillas de 7/8" y 3/4" en caso de producción de alto caudal de gas asociado al petróleo. Finalmente, de acuerdo a estas consideraciones, en el año 2009 se perforó el segundo pozo slim hole. A continuación se indican las particularidades de este pozo.

Perforación – Entubación pozo guía

A pesar de la experiencia, sin problemas operativos, realizada en la perforación del primer pozo slim hole, en esta oportunidad se decidió perforar el pozo guía con trépano 12 1/4" y entubar casing 9 5/8", previendo de este modo la posibilidad de perforar con trépano 8 1/2" y entubar casing 5 1/2" en caso que la perforación con trépano 6 1/8" presentara dificultades importantes no previstas.

Se utilizó el siguiente sondeo:

Trépano 12 1/4" + 3 PM 8" + Estabilizador + 20 PM 6 1/2" + 3 HW 4 1/2" + Barras 4 1/2"

Luego de entubar, cementar el casing 9 5/8" y armar BOP se desarmó el sondeo utilizado para perforar con trépano 12 1/4", para armar el sondeo con barras de 3 1/2" a utilizar con trépano de 6 1/8". Esta operación demoró 8.5 horas, tiempo que se estimaba eliminar en próximos slim hole en que la guía se perforaría con trépano de 8 1/2" para entubar casing de 7". Así se armaría desde un principio la columna con barras de 3 1/2" para perforar con trépano 6 1/8".

Perforación – Entubación pozo principal

Se utilizó el siguiente sondeo:

Trépano 6 1/8" + Teledrift + 17 PM 4 3/4" + Tijera + 3 PM 4 3/4" + 4 HW 3 1/2" + Barras 3 1/2"

Por las razones ya indicadas, para facilitar las maniobras de pesca en caso de producirse, este pozo fue entubado con casing de 4 1/2" en reemplazo del tubing de 3 1/2" con que se entubó el primer pozo slim hole. Desde el zapato en 2460 m hasta boca de pozo se utilizó casing 4 1/2" K-55 11.6 lib/ft.

Sistema de Control de Sólidos

Dado que el volumen de pozo, y consecuentemente los recortes, se reducen respecto a un pozo convencional, también es posible reducir el equipamiento de control de sólidos necesario. Especialmente en la perforación de este pozo se utilizó sólo una decantadora centrífuga de las dos disponibles en el equipo. Se confirmó así que si se prepara un equipo de perforación adecuado, de menor capacidad que la utilizada en la perforación de pozos convencionales, también se puede reducir el equipamiento de control de sólidos y su costo.

Cementación casing guía

Considerando que este pozo se entubó con casing guía 9 5/8", el diseño de la lechada y costo de la cementación resultó similar a la del pozo convencional. Sin embargo debe tenerse en cuenta que en caso de perforar con trépano de 8 1/2" y entubar casing guía de 7" el costo de la cementación resultaría aproximadamente un 25 % menor que la del pozo convencional.

Cementación casing de aislación

El diseño de la lechada principal se mantiene igual a la del pozo convencional, pero lógicamente la menor capacidad anular entre pozo de 6 1/8" y casing de 4 1/2" reducen su volumen anular respecto al pozo convencional, disminuyendo de la misma manera el volumen de lechada requerida respecto al pozo normal. En este caso el costo de la cementación de aislación resultó un 24 % menor que la del pozo convencional.

Terminación

Al igual que en los pozos convencionales, en este pozo antes de montar el equipo de workover se registró el perfil de cemento con pluma, indicando buena adherencia del cemento a cañería y formación. Aunque el pozo se terminó con la técnica de rigless, en este caso, considerando la poca experiencia realizada en PELSA, también fue montado el equipo de workover. Se punzó la zona de interés con cañón de 2" y con el equipamiento de rigless se fracturó la misma, posteriormente se lavó cerámico con coiled tubing para bajar luego instalación de producción con el equipo de workover. La terminación así realizada demoró un total de

4 días. Para los próximos pozos slim hole se estimó que no se montaría el equipo de workover, lo cual contribuirá a la disminución de costos buscada.

Instalación de Producción

Dado que estos pozos carecen de la columna de tubing y el casing es de 4 1/2", a modo de ancla se utilizó ancla packer (pump anchor), herramienta que permite vincular la bomba de producción al casing de 4 1/2". Sobre la misma se enrosca la bomba y luego las varillas de bombeo. Ver figura 9. El ancla packer es fabricada por distintas compañías proveedoras de herramientas para la industria.

Finalmente la instalación de producción quedó conformada de la siguiente manera:

- Ancla packer de 4 1/2"
- Bomba de producción
- Varillas de bombeo de 1" – 3/4" – 7/8" – 1"

Se estima que este diseño es innovador ya que no se encontraron antecedentes de instalaciones similares con ancla packer y bombeo mecánico. El costo, respecto al pozo convencional, es reducido por carecer de tubing de producción el que es reemplazado por el casing, aunque justamente por este motivo presenta algunas desventajas que se detallan a continuación:

- El elemento más importante del sistema es el ancla packer, con un costo superior al del ancla convencional.
- Dado que la instalación carece de tubing, y en consecuencia de espacio anular, no es posible hacer mediciones de nivel. Para determinar la eficiencia de extracción es necesario hacer dinamómetros y analizar la carta de fondo así obtenida.
- Al carecer de espacio anular la extracción es menos eficiente por cuanto se extrae petróleo y gas en conjunto.

Previendo que la devolución de agente sostén por la fractura realizada en la terminación pueda trabar la bomba y provocar maniobras de pesca, el pump anchor fue fijado 200 m por sobre el punzado realizado. Esta práctica se considera importante en los pozos slim hole estimulados con fractura hidráulica.

Costos

No detallaremos en este trabajo los costos del pozo slim hole y su reducción respecto al pozo convencional, ya que son valores que dependerán de cada operadora en particular.

A modo de ejemplo mencionamos que en el caso de PELSA los pozos slim hole han resultado con una reducción del 20 % aproximadamente respecto al pozo convencional. Los antecedentes encontrados para pozos slim hole indican una reducción de hasta un 30 % respecto del pozo normal, siempre teniendo en cuenta que son pozos surgentes sin instalación de bombeo mecánico. Igualmente es de esperar que si se incrementa el número de pozos slim hole perforados en PELSA se pueda optimizar la operación, de modo que se incremente la reducción de costos.

Luego de la perforación del segundo pozo slim hole en julio del 2009, considerando los buenos resultados operativos y de producción obtenidos se perforaron otros 2 pozos similares en el año 2010. Estas perforaciones, adicionalmente a su menor costo, permitirán una mayor experiencia para decidir gradualmente el reemplazo de la perforación convencional en la medida que esta se torne antieconómica.

Junto con la decisión de continuar perforando pozos slim hole se comenzaron a investigar alternativas de perforación con menor diámetro de trépano, pero que permitieran entubar casing de 4 1/2" o el convencional de 5 1/2". Así se utilizaría el mismo trépano tanto para perforar los pozos convencionales como los slim hole. Es de aclarar que en esta etapa en que se está haciendo experiencia gradualmente, resultaría sumamente conveniente esta opción, ya que se perforarían los dos tipos de pozos con el mismo equipo, sin necesidad de cambiar el sondeo de 4 1/2" por el de 3 1/2" que exige el trépano de 6 1/8".

Luego de obtener información de las distintas compañías proveedoras de trépanos y su uso dentro y fuera del país, se llegó a la conclusión que el trépano de 7 7/8" sería factible de utilizar. Se comenzó entonces a

perforar con trépano de 7 7/8" en reemplazo del 8 1/2", verificándose desde un principio que la perforación con trépano de 7 7/8" para entubar casing de 5 1/2" es perfectamente factible.

Posteriormente a los pozos convencionales perforados con trépano 7 7/8" se perforaron otros 2 pozos slim hole con el mismo diámetro de trépano (7 7/8") en reemplazo del 6 1/8", entubándose los mismos con casing de 4 1/2". En este caso, y en las condiciones actuales en que los pozos slim hole se perforan con el equipo disponible en el Área, la operación se simplifica en forma importante por no ser necesaria la utilización del sondeo de 3 1/2" que requiere el trépano de 6 1/8".

Se muestran en la siguiente figura 10 los esquemas de perforación y entubación de los pozos slim hole según fueron evolucionando en PELSA.

Debe considerarse que en caso de decidirse el reemplazo de los pozos convencionales por slim hole, la mejor alternativa técnica-económica para perforar los mismos probablemente sea hacerlo con un equipo de menor capacidad, con trépano de 6 1/8" y sondeo de 3 1/2".

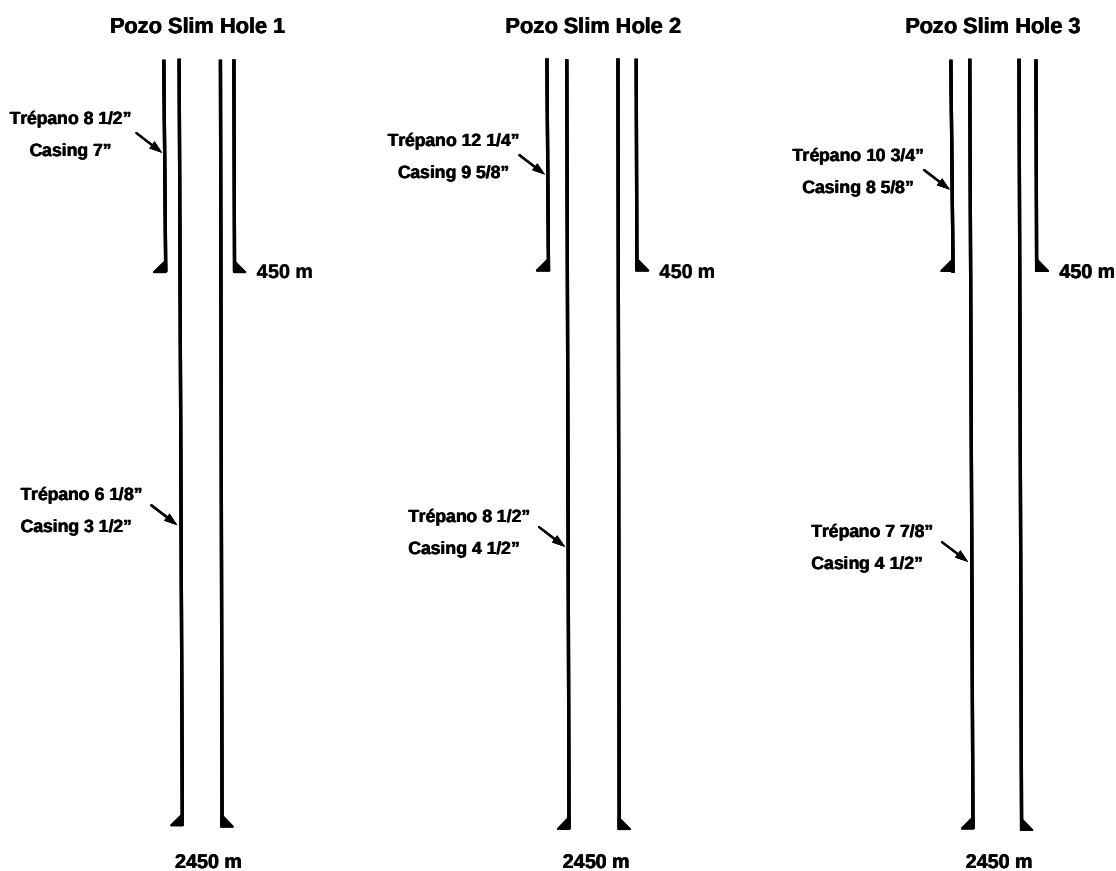


Figura 10

PERFORACION POZOS PROFUNDOS a 3350 m

En el año 2007 PELSA adquiere el Área vecina Bajada del Palo, en uno de cuyos yacimientos más importante a desarrollar, Borde Montuoso, los pozos a perforar alcanzan la profundidad de 3350 m.

En el siguiente año 2008 se comenzó a perforar en esta zona, por lo que en dos oportunidades se movilizó y desmovilizó el equipo con capacidad de perforación hasta 3800 m cuyas características y comparativa de costos se indicaron ya en "Perforación pozos profundos a 3150 m - Tabla 1".

La perforación continuó en este yacimiento con el equipo de mayor capacidad indicado (3800 m). Como siempre, se buscaba la optimización técnica-económica de la perforación para desarrollar un yacimiento profundo con sus consiguientes costos asociados, aunque en cuanto al equipo de perforación se estimaba que

la máxima capacidad con el equipo estable en el Área había sido alcanzada con el cambio del cable (capacidad nominal 3000 m, extendida a 3150 m), por lo que se continuaba perforando con el equipo de mayor capacidad.

La optimización buscada para perforar el pozo slim hole concluyó en el año 2010 con la incorporación del trépano de 7 7/8", operativa que se adoptó tanto para los pozos convencionales como para los slim hole, con los beneficios técnicos-económicos ya indicados en "Perforación pozos slim hole 4 1/2".

En un principio, para los pozos convencionales, se mantuvo el mismo sondeo utilizado en la perforación con trépano de 8 1/2", esto es con 20 PM, pero, dado que la perforación con trépano 7 7/8" requiere menos peso sobre el trépano, y que el equipo estable en el Área fue preparado para perforar con trépano de 8 1/2" hasta la profundidad de 3150 m, surgió la posibilidad de evaluar si sería factible perforar con este equipo los pozos verticales a una profundidad de 3350 m.

Para realizar esta evaluación se estimó una reducción de los 20 PM utilizados en la columna perforadora (trépano 8 1/2") a 15 PM verificando así, como se muestra en la Tabla 4, que el peso de la columna perforadora con 20 PM para un pozo de 3150 m es prácticamente igual al de una columna con 15 PM para un pozo de 3350 m. Inmediatamente surgió la conclusión que las condiciones operativas del equipo con capacidad nominal de 3000 m eran similares para ambas columnas. Igualmente, según se indica en la Tabla 5, las capacidades de tiro son las mismas que las disponibles cuando se perforan los pozos a una profundidad de 3150 m.

Dado que el trépano 7 7/8" trabaja con un peso de 6 a 8 T, con un máximo de 12 a 13 T si en algún momento la formación a perforar lo requiere, se verificó que aún en el caso de perforar con 13 T la tijera que compone la columna de perforación continúa trabajando a la tracción de acuerdo a su exigencia operativa.

Luego se consideró que si fuera posible perforar los pozos verticales de Borde Montuoso con el equipo estable en el PELSA, capacidad nominal 3000 m, en reemplazo de equipo de mayor capacidad (3800 m), la diferencia de costos sería muy importante, especialmente por la reducción del costo y menor tiempo del DTM junto al menor costo de la hora operativa. Adicionalmente se sumó la posibilidad de entubar la guía con casing de 8 5/8" en reemplazo del 9 5/8".

Por lo anteriormente indicado se concluyó que era técnica y económicamente atractivo considerar la posibilidad de perforar los pozos verticales de Borde Montuoso, a una profundidad de 3350 m, con el equipo de menor capacidad. Finalmente esta posibilidad fue llevada a la práctica con total éxito, obteniéndose una reducción de costos en la etapa de perforación de un 20 % respecto a la perforación con un equipo de mayor capacidad.

Peso Columna Perforadora
3150 m Trépano 8 1/2" - 3350 m Trépano 7 7/8"

Profundidad Pozo	m	3,150	3,350
	ft	10,335	10,991
Trépano	pulg	8 1/2	7 7/8
Factor flotación (d= 1000 gr/l)		0.873	0.873
Portamechas 6 1/2"	N°	20	15
Longitud PM	m	9.2	9.2
Peso PM	lb/ft	90	90
Peso 20 - 15 PM	lb	54,333	40,750
	T	25	19
Longitud 20 - 15 PM	ft	604	453
	m	184	138
Heavy Wate 4 1/2"	N°	6	4
Longitud HW	m	9.2	9.2
Peso HW	lb/ft	41	41
Peso HW	lb	7,426	4,950
	T	3	2
Longitud 4 HW	ft	181	121
	m	55	37
Barras Sondeo 4 1/2"			
Peso	lb/ft	18.62	18.62
Longitud total BS	ft	9,550	10,418
	m	2,911	3,175
Peso total BS	lb	177,827	193,980
	T	81	88
Columna Perforadora			
Longitud total	ft	10,335	10,991
Longitud total	m	3,150	3,350
Peso total seco	lb	239,586	239,680
Peso total flotando	lb	209,159	209,241

Tabla 4

Capacidad de tiro

Equipo capacidad perforación nominal 3000 m

	Trépano 8 1/2"					F. Seg.
	Longitud		Peso		Cap. Tiro	
	m	ft	lb/ft	lb	T	
Profundidad pozo	3,150	10,335				
Portamechas 6 1/2" (20 PM)	184	604	90.00	54,333		
Hevi-Wate 4 1/2" (6 HW)	55	181	41.00	7,426		
Barras Sondeo 4 1/2"	2,911	9,550	18.62	177,827		
Peso columna seco				239,586		
Peso columna flotando (0.873)				209,159		
Capacidad Mástil				343,000		
Cable 1 1/8" XIPS				130,000		
Factor eficiencia (0.842)						
Factor seguridad (3)						
Capacidad en el gancho (8 líneas)				291,893		
Capacidad de Tiro (Peso Col.Seco)						
Mástil				103,414	47	1.43
Gancho (Cable XIPS)				52,307	24	1.22
Capacidad de Tiro (Peso Col. Flotando)						
Mástil				133,841	61	1.64
Gancho (Cable XIPS)				82,735	38	1.40

	Trépano 7 7/8"					Factor Seguridad
	Longitud		Peso		Cap. Tiro	
	m	ft	lb/ft	lb	T	
Profundidad pozo	3,350	10,991				
Portamechas 6 1/2" (15 PM)	138	453	90.00	40,750		
Hevi-Wate 4 1/2" (4 HW)	37	121	41.00	4,950		
Barras Sondeo 4 1/2"	3,175	10,418	18.62	193,980		
Peso columna seco				239,680		
Peso columna flotando (0.873)				209,241		
Capacidad Mástil				343,000		
Cable 1 1/8" XIPS				130,000		
Factor eficiencia (0.842)						
Factor seguridad (3)						
Capacidad en el gancho (8 líneas)				291,893		
Capacidad de Tiro (Peso Col.Seco)						
Mástil				103,320	47	1.43
Gancho				52,213	24	1.22
Capacidad de Tiro (Peso Col. Flotando)						
Mástil				133,759	61	1.64
Gancho				82,652	38	1.40

Tabla 5

CONCLUSIONES

En la Áreas operadas por PELSA, las nuevas tecnologías incorporadas junto a los cambios en diseño de pozos y equipos de perforación, según se resume a continuación:

- Bandeja hidráulica
- Motor de fondo
- Perforación de pozos slim hole
- Perforación con trépano 7 7/8" en reemplazo del de 8 1/2"
- Incremento de la capacidad de tiro del equipo de perforación por cambio del cable
- Cambio en el diseño de la columna de perforación

lograron una disminución importante en los costos de perforación y terminación, junto a un incremento en la seguridad de las operaciones, lo que permite mantener la actividad de perforación en los yacimientos maduros operados.

Se concluye de este modo en la importancia de estudiar las nuevas tecnologías y sus costos asociados para definir la influencia en el costo final del pozo, a fin de considerar luego su posibilidad de incorporación.

Quedó probado así que la búsqueda continua de la optimización técnica-económica, especialmente en yacimientos maduros, permitirá mantenerlos en actividad el mayor tiempo posible.

BIBLIOGRAFÍA

Insert Pump Anchor

Thru Tubing Packers

Weatherford Artificial Lift Systems

Dideño – Análisis de tuberías

Tenaris Siderca

Experiencias de producción en pozos con diámetro reducido

INGEPET '99 EXPL-6-(PUB)-16

Slimhole drilling, logging, and completion technology – an update

Proceeding World Geothermal Congress 2000

Kyushu – Tohoku, Japan. May 28 – June 10, 2000

Coiled tubing used as a continuous sucker rod system in slim holes: successful field experiences

SPE 56671

Drilling/completing with tubing cuts well cost by 30 %

World Oil July 2008

Slimhole success will depend on completion, workover innovations

World Oil February 1995

Dispositivo alimentador de tubulares DAT

IAPG

Segundo congreso de perforación octubre 2007