

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE BOMBAS MECÁNICAS DE PROFUNDIDAD NO CONVENCIONALES

Fabián García, Alejandro Vleugels, Juan Sanchez, Marcelo Hirschfeldt
Pan American Energy

SINOPSIS

El bombeo mecánico, dentro de los sistemas de extracción artificial puede ser considerado como uno de los sistemas más conocidos y utilizados debido a su amplia historia en la industria de la explotación de hidrocarburos.

Uno de los aspectos más importantes al momento de seleccionar una bomba de profundidad es el tipo de fluido a producir. En ese momento, se deben considerar algunas variables como las características del petróleo, el porcentaje de agua, las emulsiones, el gas asociado y gas libre, entre otras.

Por esto la elección de bombas de profundidad con dispositivos especiales es de uso común en la etapa de producción, ya que posibilitan disminuir las ineficiencias de las bombas convencionales, en las condiciones antes mencionadas.

El siguiente trabajo describe la experiencia desarrollada por PAN AMERICAN ENERGY (PAE) en el Yacimiento Cerro Dragón, en la Cuenca del Golfo San Jorge (CGSJ) donde se cuenta con 2,214 pozos productores de petróleo, siendo el bombeo mecánico el principal sistema de extracción artificial (1,793 pozos)

Dicho trabajo contempla el análisis y aplicación de distintos criterios para la selección de bombas de profundidad mecánicas de profundidad no convencionales utilizadas en pozos con fluidos con presencia de gas, arena y petróleos viscosos.

1- INTRODUCCIÓN AL YACIMIENTO CERRO DRAGÓN

El yacimiento Cerro Dragón, se encuentra ubicado en la cuenca del CGSJ, en las provincias de Chubut y Santa Cruz, Argentina. Cuenta con 860,000 acres de extensión explotado desde 1958. Actualmente posee 2214 pozos productores de petróleo y gas con una producción de 14,490 m³/d de petróleo, 119,222 m³/d de agua y 7.7 Mm³/d de gas. Cuenta con 410 pozos inyectoros y 119,222 m³/d de agua inyectada en proyectos de recuperación secundaria. La distribución de los sistemas de extracción es la siguiente: 1,793 pozos producen con bombeo mecánico (BM) y el resto se distribuye entre ESP (381 pozos), cavidades progresivas(PCP), gas lift, plunger lift y surgente. Dentro de las características mas importantes del Yacimiento Cerro Dragón podemos encontrar la disposición de reservorios multi-capas(hasta 30 zonas punzadas). Así mismo la profundidad de explotación dentro del área va desde los 700 m hasta los 3,000 m de profundidad en las zonas mas profundas.



Fig-1 Ubicación Yac. Cerro Dragón

2- INTERFERENCIA DE GAS.

EFFECTOS SOBRE LA BOMBA

Cuando el gas ingresa a las bombas, la eficiencia volumétrica de las bombas mecánicas de profundidad se ve afectada. Dependiendo del caudal de gas, tipo de petróleo y las condiciones de presión / temperatura, el efecto sobre el bombeo puede manifestarse como una disminución en el volumen útil de desplazamiento (compresión de gas) o el bloque total por no permitir la apertura de las válvulas. Dentro de las prácticas mas utilizadas podemos encontrar la disminución del espacio nocivo entre pistón y válvula de pie a ± 12 mm y la utilización de dispositivos mecánicos para minimizar el efecto del gas sobre el bombeo.

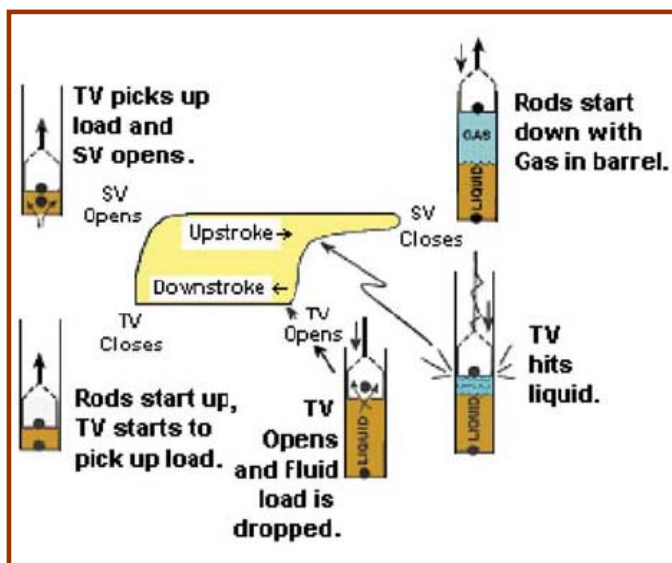


Fig-2 Efectos de la interferencia por gas

VÁLVULA ANTIBLOQUEO DE GAS SUPERIOR

Esta válvula se instala en la parte superior de la bomba entre la guía de vástago, G11 y el conector superior de barril, C21.

La válvula antibloqueo de gas superior esta diseñada para que en la carrera descendente de la bomba, la pieza C se apoye sobre la pieza B, y retenga la columna de fluido, esto permite disminuir la presión de descarga, y facilitar la apertura de la válvula viajera.

El tiempo que la válvula permanece en posición “cerrada” depende de las características del fluido y de la cantidad de gas producida.

En la carrera ascendente, luego de equipararse las presiones, se produce el desplazamiento de la pieza C, quedando la válvula en posición “abierta”, permitiendo el libre pasaje de fluido.

La ventaja del uso de esta válvula en pozos con niveles dinámicos bajos, es que disminuye el efecto del golpe de gas y del golpe de fluido.

Eventualmente si se para el bombeo por alguna causa, la válvula antibloqueo de gas superior evita la entrada de arena a la bomba.

El cuerpo principal A esta construido en acero aleado tratado térmicamente, el asiento de válvula B en acero inoxidable tratado térmicamente y el cierre de válvula C en acero aleado con el interior cromado, para lograr mayor resistencia al desgaste y aumentar la vida útil de la válvula.

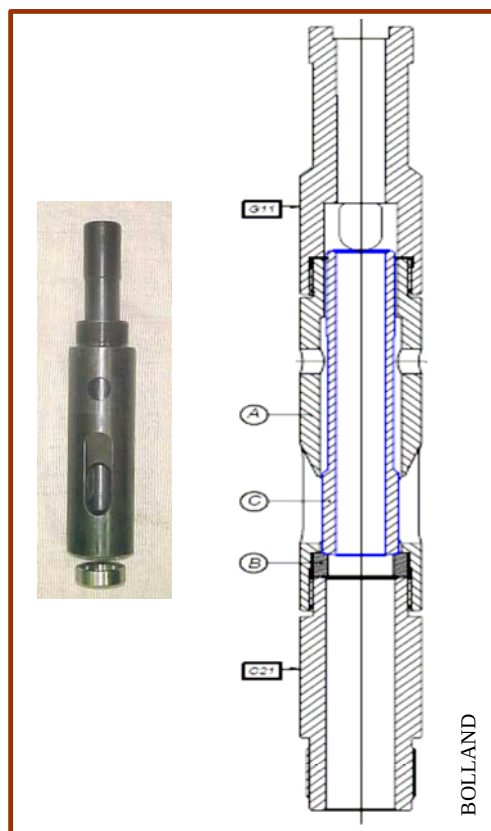
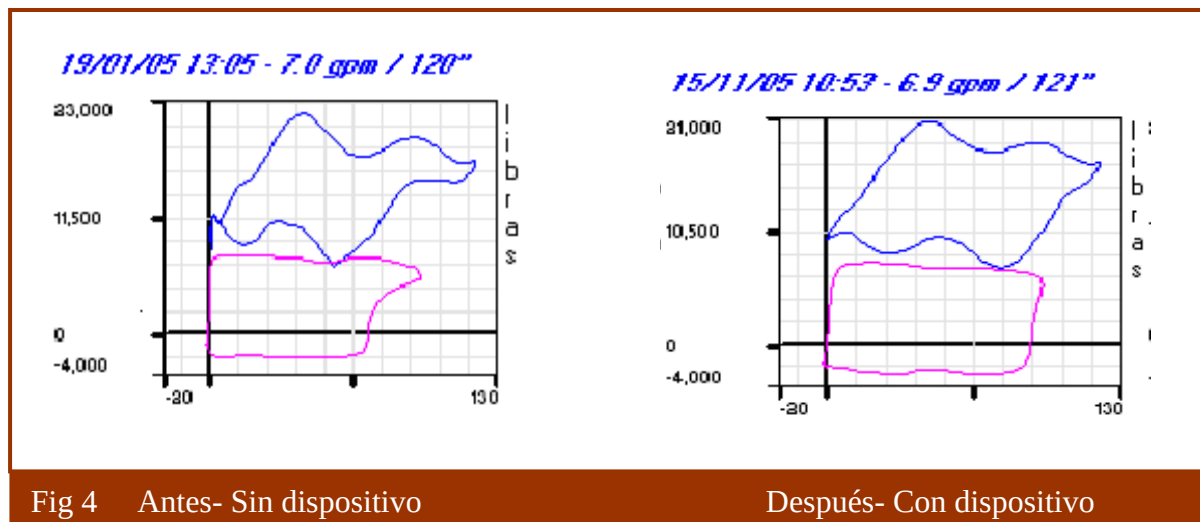


Fig-3 Dispositivo Antibloqueo de gas superior

En las siguientes cartas dinamométricas se puede observar una disminución en los efectos del gas dentro de la bomba cuando se instala un dispositivo de antibloqueo de gas superior. (ver Fig-1 como referencia)



ANTIBLOQUEO MECÁNICO PARA GAS

Como se describió anteriormente, uno de los efectos del gas en una bomba mecánica es el del bloqueo del bombeo debido a la imposibilidad de que las válvulas se abran por la compresibilidad del gas dentro de la misma. Este dispositivo obliga la apertura de la bola de la válvula móvil en forma mecánica y no por diferencia de presiones, antes que el pistón llegue al punto muerto inferior



Fig-5 Antibloqueo mecánico

BOMBA CON VÁSTAGO HUECO (HOLLOW)

La Bomba con vástago hueco de Dos Etapas (hollow), es una bomba estacionaria del tipo “RW” o “RH”, con anclaje superior o inferior diseñada para usarse en pozos con producciones moderadas de gas y arena.

Las bombas de anclaje inferior requieren solamente de tres partes especiales, las de anclaje superior debido a las restricciones del diámetro interior de la guía requieren de un anclaje especial tipo “O” y las tres partes especiales. Una guía de varilla hueca es ajustada en la parte superior del conjunto del barril reemplazando la guía de vástago de la bomba, esta guía tiene un diámetro interior tal que provee una luz ajustada al diámetro exterior de la varilla hueca (o tubo de tiro), pero no está perforada. Se utiliza un conector superior para unir la varilla hueca con la jaula superior abierta. La cupla perforada que une el pistón con la varilla hueca reemplaza la jaula superior de pistón.

La operación de una bomba *hollow* es similar a la de una bomba mecánica con vástago macizo, con la excepción de que el fluido es descargado a través del vástago hueco y la jaula superior abierta dentro de la sarta de tubería, en lugar de descargarlos a través de la guía de vástago de la bomba.

La cupla perforada que une el pistón con el vástago hueco permite que el fluido bombeado tenga acceso al anular entre el barril y la varilla hueca ingresando a este anular en la carrera descendente y saliendo en la carrera ascendente. La división del flujo de esta manera minimiza el asentamiento de partículas abrasivas sobre el pistón.

El vástago hueco a su vez tiene un mejor comportamiento a la flexión que una barra sólida, resolviendo la rotura en las mismas, disminuyendo el desgaste en cuplas y la consecuente rotura de las tuberías de producción.

La bomba *hollow* elimina el bloqueo moderado de gas comprimiendo la mezcla gas/petróleo dos veces. Esto se logra con el espaciado inverso de la bomba, es decir se debe lograr el mínimo espacio entre la cupla perforada ubicada en la parte superior de pistón y el conector de anclaje superior o guía de Varilla hueca ubicada en la parte superior de la bomba, de manera que la cámara superior comprima al máximo.

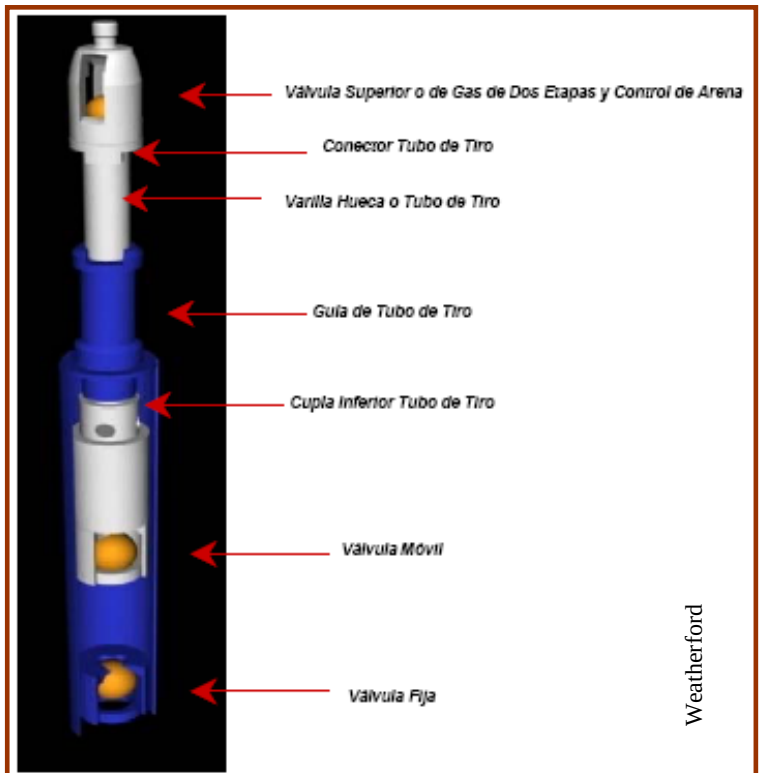


Fig-6 Bomba con vástago hueco (Hollow)

3 – FLUIDOS CON PRESENCIA DE ARENA

La arena proveniente de la formación, así como la proveniente de fracturas por estimulación, son comunes en yacimientos con reservorios poco consolidados o donde las operaciones de fractura son comunes.

Dentro de los inconvenientes más comunes podemos encontrar:

- **Desgaste de válvulas:** cuando las partículas de arena se alojan entre la bola y el asiento de las válvulas, impiden el cierre perfecto y producen pérdida en las mismas. Además, al quedar disminuida la sección de pasaje, el fluido con partículas de arena atraviesa las válvulas con gran velocidad produciendo un desgaste prematuro.
- **Desgaste mecánico entre el pistón y el barril:** esto provoca el atascamiento y agarre del pistón.
- **Aprisionamiento de la bomba dentro del tubing:** las bombas insertables no pueden ser desclavadas del/los asientos.



Fig-7 Efectos de la arena

A continuación se detallan algunas de las prácticas a las cuales se recurre, así como los dispositivos utilizados con el fin de minimizar los efectos nocivos de la arena antes mencionados.

LUZ ENTRE PISTÓN LISO Y BARRIL

El criterio utilizado para disminuir los efectos de arena en una bomba mecánica es el de minimizar la tolerancia (luz) para no permitir que los granos de arena que viajen con el fluido puedan alojarse en este espacio para evitar el desgaste del pistón y su posible aprisionamiento.

El valor de la luz entre pistón y barril depende del tamaño de los granos y su distribución, lo cual se puede obtener de un análisis granulométrico y a partir de este decidir el rango apropiado de esta tolerancia.

Como práctica general se conoce que la luz entre pistón liso y barril no debería superar 0.003", dependiendo ello de las condiciones particulares de cada pozo, viscosidad del petróleo y porcentaje de agua.

PISTON RANURADO CON ANILLOS

Existen varios modelos de pistones con anillos, de los cuales los más utilizados son los pistones metálicos y los pistones del tipo presión activada. El objeto de colocar pistones con anillos es el de limpiar las pequeñas partículas de arena que puedan quedar atrapadas entre el pistón y el barril, evitando de esta forma el aprisionamiento del pistón. Los pistones metálicos tienen mayor durabilidad pero presentan mayores problemas de rayado y atascamiento.



Fig-8 Pistón ranurado con anillos

Los pistones de presión activada del tipo sello laberíntico trabajan de forma tal que la presión hidrostática se transfiere o reparte en cada anillo en la carrera ascendente. Esto que la carga se reparta sobre todos los anillos y no que solo el primer anillo soporte toda la presión. Los pistones tienen luz 0,005" y se pueden utilizar con 20 y 40 anillos.

PISTON LUBRICADO

El pistón lubricado es un tipo especial de pistón con solo dos sellos de un material especial en los extremos, resistentes a la abrasión. Estos sellos son estancos y permiten alojar en su interior un lubricante que en cada carrera lubrica el espacio anular entre el pistón y el barril. De esta forma se impide el ingreso de arena reduciendo al mínimo el desgaste.

El mayor inconveniente de este sistema es que se debe minimizar el efecto del golpe de fluido, debido a que esto podría afectar a la hermeticidad de los sellos que retienen el líquido interior, y perder así el sello hidráulico de la bomba.



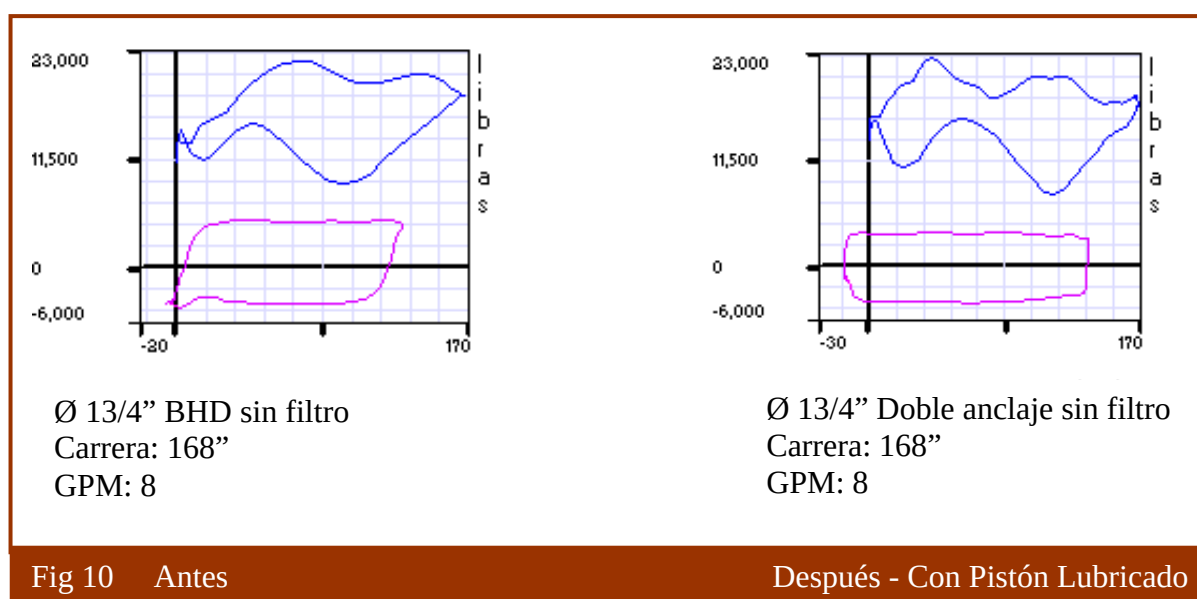
Fig-9 Efectos de la interferencia por gas

El ejemplo que a continuación se presenta, corresponde a la instalación y operación de una bomba de pistón lubricado en un pozo con repetidas intervenciones de pulling debido a aprisionamientos por arena.

El análisis del fluido producido es el siguiente:

Densidad	Viscosidad cP				Pto Esc	Parafinas	Asfaltenos
°API	25°C	50°C	75°C	90°C	°C	%	%
23	1,558	283	86	49	16	10.8	19

Se puede observar en las siguientes cartas dinamométricas que la bomba con pistón lubricado presenta un aumento marcado en el desplazamiento efectivo, mejorando la eficiencia de desplazamiento volumétrico.



4- PETRÓLEO PESADO

El petróleo crudo es la mezcla homogénea de diferentes clases de hidrocarburos, dentro de los cuales se encuentra:

- Hidrocarburos alifáticos:
- Hidrocarburos aromáticos.
- Resinas asfálticas.
- Asfaltenos.

La proporción o porcentaje de cada uno de estos componentes determina las características finales del petróleo crudo producido. Cuando el contenido de hidrocarburos saturados es mucho mayor que el resto de hidrocarburos se dice que el petróleo es **"Parafínico"**. Cuando el petróleo contiene mayor cantidad de resinas asfálticas y asfaltenos, se dice que el petróleo es **"Asfalténico"**.

El petróleo pesado es normalmente llamado al petróleo que posee alta viscosidad como una consecuencia a su baja gravedad API (entre 10 y 18 ° API), alto contenido de parafinas y asfaltenos.

VISCOSIDAD: La viscosidad es la resistencia al flujo que presenta todo fluido. Esta resistencia al flujo es generada por la fricción interna de las moléculas del fluido.

FACTORES QUE AFECTAN LA VISCOSIDAD: La viscosidad del petróleo crudo depende de los compuestos que lo conforman, la gravedad API, la temperatura, la presión y el gas que este contenga en solución. La viscosidad es uno de los factores que afecta directamente las pérdidas de presión de un fluido que es transportado a través de una cañería.

EFFECTOS DE LA VISCOSIDAD SOBRE LA BOMBA MECÁNICA

Los efectos de la viscosidad del petróleo o de la emulsión (agua-petróleo) a producir, sobre el funcionamiento de la bomba de profundidad se puede manifestar de las siguientes formas:

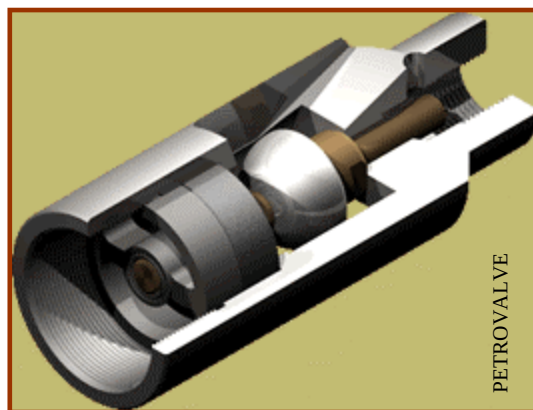
- a) Deficiente llenado de la bomba: altas pérdidas de carga del fluido al entrar por la válvula fija (baja capacidad de flujo)
- b) Falta de hermeticidad en las válvulas: no se logra un buen cierre entre asiento y bola (conjunto de la válvula)
- c) Una gran fricción entre pistón y barril: aumento de las cargas en las varillas de bombeo y la instalación de superficie.

LUZ ENTRE PISTÓN Y BARRIL - DIMENSIONES DE LOS PISTONES

Para reducir la fricción entre el pistón y barril se consideró la utilización de bombas cuya luz entre pistón y barril (luz) fuera entre 0.006" y 0.008". Otra consideración fue la de utilizar pistones lisos de longitudes entre 3' y 4',

VÁLVULA SEMIESFÉRICA CON VÁSTAGO Y GUÍA

Dicho elemento está compuesto de una válvula semiesférica penetrada por un vástago el cual se proyecta verticalmente hacia arriba y hacia abajo. La guía del vástago en la parte superior e inferior de la semiesfera es fabricada sobre una placa conteniendo una abertura para guiar el vástago. Esto crea un sistema de guía el cual controla estrictamente el movimiento de la válvula de tal manera que esta se centra automáticamente al abrir y cerrar. Con respecto a su utilidad para producir petróleos pesados, esta válvula posee con una área transversal de hasta el doble de la tecnología existente, incrementando la capacidad de flujo a través de ella



5- CONCLUSIONES

De la experiencia adquirida por Pan American ENERGY en la operación de bombas mecánicas de profundidad en la CGSJ podemos mencionar los siguientes logros:

- La consolidación de los conocimientos y criterios, a la hora de seleccionar y diseñar dichos elementos para la mejor explotación de sus yacimientos.
- Esto permitió no solo unificar los criterios básicos de selección, sino que también personalizar el armado de bombas a medida de las necesidades de cada pozo.
- La caracterización de bombas no convencionales a partir de un código, agilizando los pedidos de las mismas y minimizando los posibles errores a la hora de entregar un producto específico a un pozo
- Se estableció una base de conceptos para el futuro análisis de los elementos en utilización y para las futuras incorporaciones de nuevos productos y alternativas.
- Se reforzó el vínculo con las distintas empresas proveedores de materiales y servicios, permitiendo la innovación para el desarrollo de nuevas alternativas tecnológicas

ANEXO 1 – GUIA DE SELECCIÓN Y RECOMENDACIONES

	Interferencia con gas	Arena	Petróleo Pesado
RECOMENDACIONES	Minimizar espacio nocivo entre válvula móvil y válvula de pie (punto muerto inferior)	Minimizar la LUZ o utilizar pistones ranurados con anillos para evitar que la arena se aloje en ese espacio	Maximizar el área de pasaje de fluido en la válvula de pie
	Disminuir la velocidad del fluido a la entrada de la bomba para evitar la liberación de gas por la baja presión		Minimizar la longitud del pistón y aumentar la LUZ para disminuir los efectos de la fricción
ALTERNATIVAS	Válvula de antibloqueo de gas superior	Luz entre pistón liso y barril = 0.001" - 0.003"	Luz entre pistón y barril = 0.006" - 0.008"
	Válvula fija con antibloqueo mecánico	Luz entre pistón ranurado y barril 0.005"	Válvulas con mayor área de pasaje de fluido
	Bomba con vástago hueco (Hollow)	Pistón ranurado con anillos (entre 10 y 20 anillos)	Válvulas con bola de Carburo de Titanio
	Válvulas con bola de Carburo de Titanio	Anclaje inferior a copas y packer superior para arena	
		Pistón Lubricado	
		Válvulas con bola de Carburo de Tungsteno o Titanio	

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y FUENTES DE INFORMACIÓN:

- “ Mejora en desplazamiento efectivo en bombas mecánicas en pozo con gas libre”
H.Moyano, B.Zalazar, M.Hirschfeldt, R.Mazzola, E.Dottore, N.de la Vega / PAE – Bolland Jornadas de Producción IAPG 2005
- “ Bombas Hollow” (Bomba de Vástago hueco de dos etapas)
Ing Gilberto Orozco – Congreso de Hidrocarburos IAPG 2003
- “Solving gas-well liquid loading problem”
James.F.Lea -Texas Tech U. & Henry Nickens – BP
- Manual de Producción de PAE
- Weatherford - Sector Bombas de profundidad www.weatherford.com
- FLOTEK Industries – Petrovalve www.flotekind.com
- Bolland & Cia – Sector Bombas de profundidad www.bolland.com.ar
- API 11AX Standard and Complementaries

REFERENCIAS DE LOS AUTORES

Alejandro Vleugels: Ingeniero Químico, recibido en la Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional San Rafael, Mendoza, con 6 años de experiencia en el área petrolera. Actualmente desempeñándose como Ingeniero de Producción en el Golfo San Jorge en Pan American ENERGY (PAE).

Fabián García: Ingeniero en Petróleo, recibido en la Universidad Nacional de Cuyo, con un año y medio de experiencia en el área petrolera y actualmente desempeñándose como Ingeniero de Producción en PAE.

Juan Ignacio Sánchez: Ingeniero Mecánico, recibido en la Universidad de la Marina Mercante-Buenos Aires, con 3 años de experiencia profesional, actualmente se desempeña como Ingeniero de Producción en PAE.

Marcelo Hirschfeldt: Es Ingeniero en Petróleo recibido en la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco con 16 años de experiencia en el Upstream en la Cuenca del Golfo San Jorge (CGSJ). Se desempeña en la actualidad como Líder de Ingeniería de Producción y Waterflooding en una de las áreas del Yacimiento Cerro Dragón de PAE. Se desempeña con Jefe de Trabajos Prácticos en la cátedra de Producción en la carrera de Ingeniería en Petróleo en la UNPSJB.