

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO, GAS NATURAL Y
PETROQUIMICA**



**“OPTIMIZACION DE LA PRODUCCIÓN POR SISTEMA PCP EN
CAMPO PACAYA”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE PETRÓLEO**

ELABORADO POR:

JAIME AQUILES MATOS GUTIERREZ

PROMOCIÓN 2000

LIMA – PERÚ

2009

INDICE

	Pág.
Titulo	2
Dedicatoria	3
Antecedentes	9
Marco referencial	11
Planteamiento del problema	12
Justificación.....	13

CAPÍTULO I

MARCO TEORICO

1.1 Sistema de Bombeo PCP	14
1.2 Rango, aplicación y limitaciones del sistema PCP	15
1.3 Componentes de bombeo PCP en superficie.....	17
1.3.1. Cabezal Giratorio	18
1.3.1.1. Sistema de Frenado	20
1.3.1.2 Freno de accionamiento por Fricción	20
1.3.1.3 Freno de accionamiento Hidráulico	21
1.3.1.4 Sistema de Reciclo	21
1.3.2. Movimiento primario (Motor).....	21
1.3.2.1. Equipo de transmisión de potencia.....	21
1.3.2.2. Sistema de correas y poleas	22
1.3.2.3 Cálculo de las RPM de la bomba PCP.....	22

1.4	Componentes de bombeo PCP en Subsuelo	25
1.4.1	Bomba PCP.....	25
1.4.1.1.	Estator	25
1.4.1.1.1.	Elastómero	26
1.4.1.1.2	Condiciones para elastómeros para PCP.....	26
1.4.1.1.3.	Agentes químicos y físicos agresivos.....	28
1.4.1.2.	Rotor	30
1.4.1.3	Componentes mecánicos de la bomba	32
1.4.1.3.1	Niple de Pare.....	32
1.4.1.3.2	Tubo de extensión o niple intermedio.....	33
1.4.1.3.3	Ancla de torque.	34
1.4.1.3.4	Varillas de bombeo API.	35
1.4.1.3.4.1	Esfuerzo en varillas PCP	36
1.4.1.3.4.2	Esfuerzos axiales.....	36
1.4.1.3.4.3	Esfuerzos de flexión	37
1.4.1.3.4.4	Esfuerzos de tensión.	37
1.4.1.3.5	Centralizadores de Varilla.....	38
1.4.1.3.6	Vástago o varillón pulido.....	38
1.4.1.3.7	Tubería de producción.....	39
1.4.1.3.8	Zapato Probador de Hermeticidad o Niple de Asiento...	39
1.5	Funcionamiento de la Bomba.....	40
1.5.1.	Desplazamiento de la Bomba	40
1.5.1.1	Desplazamiento Positivo	41
1.5.1.2	Geometría de la Bomba	41

1.5.1.3	Formación de la Cavidad.....	43
1.5.1.4.	Offset o Excentricidad	43
1.5.1.5.	Movimiento del Rotor.....	44
1.5.1.6	Deslizamiento (slippage)	44
1.6	Diseño de la Bomba PCP.....	44
1.6.1	Presión de Diseño	45
1.6.2	Presión de Diseño del Sistema	45
1.6.2.1	Pérdida de carga.	45
1.6.2.2	Consideraciones para el diseño.	46
1.6.3	Requerimiento de Torque y Potencia	46
1.6.3.1	Torque.....	46
1.6.3.2	Potencia.	47
1.6.4	Desarrollo de la presión.....	47
1.6.5	Nomenclatura del rotor y estator.	47
1.6.6	Nomenclatura del cabezal.....	48
1.7	Espaciamiento.....	48
1.7.1.	Cálculo para el Espaciamiento	48
1.7.1.1	Espaciado de rotores simple lóbulo.....	50
1.8	Instalación del sistema PCP.....	51
1.8.1.	Procedimiento para instalación de bombas tubulares	51
1.8.2	Procedimiento para instalación del cabezal.....	52
1.9	Acciones recomendadas frente a problemas operativos en el sistema PCP.....	53

OBJETIVO	60
HIPOTESIS	61
<u>CAPÍTULO II</u>	
<u>DESARROLLO DEL TEMA</u>	
PRODUCCIÓN DEL POZO PA-31X	
2.1 Histórico productivo y Producción en el periodo 1982-1988	63
2.2 Data de reservorio	62
2.3 Aplicacion PCP	66
2.2. Producción en el periodo 2008.....	67
<u>CAPÍTULO III</u>	
RECUPERACIÓN DE RESERVAS REMANENTES DEL POZO PA-31X	
3.1 Curva de declinación con sistema EBM en los periodos: 1982-2050.....	73
3.2 Curva de declinación de la producción PCP en los periodos: 2008 - 2050.....	71
3.3 Curva comparada de declinación de la producción EBM Y PCP N°1...	72
3.4 Curva comparada de declinación de la producción EBM Y PCP N°2...	73
3.5 Tabla de reservas remanentes recuperables 2008-2050.....	74
<u>CAPÍTULO IV</u>	
SISTEMA PCP VS BOMBEO MECÁNICO	
4.1 Tabla comparativa.....	75
<u>CAPÍTULO V</u>	
<u>EVALUACIÓN ECONÓMICA</u>	
5.1 Costos en recuperación de reservas remanentes.....	77

5.2	Costos de equipos de instalación de sistema de levantamiento.....	78
5.3	Costos de mantenimiento de Unidad en superficie.....	80
5.4	Costos por consumo de energía.....	82
5.5	Costos por servicio de pozos.....	83
5.6	Tabla de costos operativos de los sistemas PCP vs Bombeo mecánico...	84
5.7	Diagrama de costos Totales sistemas PCP Y Bombeo mecánico.....	85

CAPÍTULO VI

	Conclusiones.....	86
	Recomendaciones.....	88
	Nomenclatura.....	89

ANEXOS

01	Plano de la zona de Pacaya.....	91
02	Plano del campamento de Pacaya.....	92
03	Tablas PCP Bombas NETZSCH- Simple Lóbulo.....	93
04	Tabla PCP NETZSCH- de dimensiones simple Lóbulo.....	94
05	Tabla PCP de espaciado de rotores de simple lóbulo.....	95
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	96

ANTECEDENTES

A fines de los años 1920, Rene Moineau desarrolló el concepto para una serie de bombas helicoidales. Una de ellas tomó el nombre de Bombeo por Cavidades Progresivas (PCP) con el cual hoy es conocido.

En 1979, algunos operadores de Canadá, en yacimientos con petróleos viscosos y con alto contenido de arena, comenzaron a experimentar con Bombas de Cavidades Progresivas, obteniendo éxito. Muy pronto, las fábricas comenzaron con importantes avances en términos de capacidad, presión de trabajo y tipos de elastómeros.

En los últimos años las PCP han experimentado un incremento gradual como un método de extracción artificial común. Hoy en día el bombeo por cavidades progresivas es destacado como sistemas de levantamiento artificial, en recuperación de petróleos pesados. El uso de estas bombas se extendió a diferentes países como; Venezuela (tiene el depósito más grande de petróleos pesados y extra-pesados), Argentina, California, Canadá entre otros.

En el Peru en el Lote 31-E, operado por la Cia Maple Gas Corporation del Perú, S.R.L, Instaló el sistema PCP en los campos Maquía (02 pozos) y Agua Caliente, (01pozo)

Con la intalación de este sistema de levantamineto se notó un incremento de la recuperación de reservas remanentes, una reducción de costos de Energía, mejor manejo práctico, sencillez en cuanto a su control operativo y buenos resultados

costos beneficios. Por estas razones se decide reactivar el campo de Pacaya instalando el sistema PCP.

La reactivación del Campo Pacaya se inició en noviembre del 2007, con la construcción del campamento y la casa de fuerza (02 generadores Cumins de 160 Kw) , la instalación del Tk diesel de 350 bls , las líneas de producción y los trabajos de Workover.

MARCO REFERENCIAL

El cambio del sistema de levantamiento artificial que se está proponiendo para Optimizar la producción, se hará en el campo petrolero de Pacaya ubicado en la Selva Central, a 21.2 Km de la ciudad de Contamana, Provincia de Ucayali, Región Loreto, en el Lote 31-E, operado por la Cia Maple Gas Corporation del Perú, S.R.L, según Decreto Supremo N° 003-2001 del 31 de enero de 2001 y Contrato de Licencia firmado con Perupetro, con fecha 6 de marzo de 2001. EL campo fue descubierto por la Compañía “Oriente” en el año 1958 con la perforación del Pozo Pacaya 1X. El pozo fue abandonado por no ser comercial,. Solo produjo 25 Bls de petróleo por día de las arenas Cachiyacu. Entre 1982 y 1986 Petroperú perforó 5 pozos adicionales 31X, 33P, 35P, 37P y 38P, de los cuales resultaron productores-comerciales el 31X, 35P y 37P.

El campo de Pacaya fue abandonado en 1988 por problemas mecánicos y falta de facilidades de producción, solo el pozo 31X producía 47 Bls de petróleo por día de las arenas Cachiyacu.

Por la información de todas las pruebas e historias, se estimo que puede producir más de 100 BOPD de cinco pozos de producción y usar uno para reinyección de agua.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de levantamiento artificial por bombeo mecánico resulta ser ineficiente para poder recuperar mayor cantidad de reservas remanentes y producir el campo con menores costos con respecto al sistema de bombeo de cavidades progresivas (PCP)

JUSTIFICACION

Con el cambio del sistema de Bombeo Mecánico a PCP podremos optimizar la producción del campo, incrementar el factor de recuperación del reservorio, disminuir el consumo de la energía y disminuir los costos operativos.

El cambio de sistema de levantamiento artificial (Bombeo mecánico con motor a combustión (BM) por el sistema de cavidades progresivas (PCP)), se debe porque el EBM presenta las siguientes inconvenientes:

1. Reducción de la recuperación de reservas remanentes en el reservorio
2. Genera mayor Consumo de energía y combustible.
3. Mayores costos para su implementación.
4. Aumento en los costos operativos.

Por las razones anteriormente mencionadas sería conveniente el cambio de sistema de levantamiento artificial PCP por EBM.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Sistema de Bombeo PCP

Las bombas de Cavidad Progresiva son máquinas rotativas de desplazamiento positivo, compuestas por un rotor metálico, un estator (recubierto internamente de un elastómero), un motor y un sistema de acoples flexibles. El efecto de bombeo se obtiene a través de cavidades sucesivas e independientes que se desplazan desde la succión hasta la descarga de la bomba a medida que el rotor gira dentro del estator. El movimiento es transmitido por medio de una sarta de varillas desde la superficie hasta la bomba, empleando para ello un motor – reductor acoplado a las varillas.

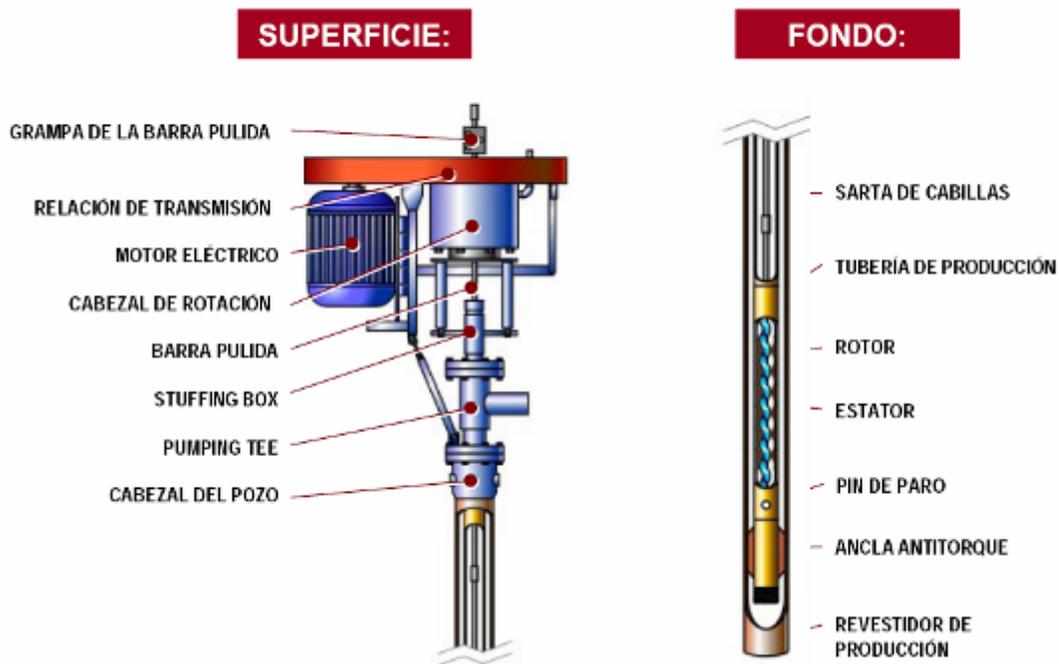
Este tipo de bombas se caracteriza por operar a baja velocidades y permitir manejar altos volúmenes de gas, sólidos en suspensión y cortes de agua, así como también son ideales para manejar crudos de mediana y baja gravedad API.

Los sistemas PCP tienen algunas características únicas que los hacen ventajosos con respecto a otros métodos de levantamiento artificial, una de sus cualidades más importantes es su alta eficiencia total. Típicamente se obtienen eficiencias entre 50 y 60%. Otras ventajas adicionales de estos sistemas son:

- Producción de fluidos altamente viscosos;
- Producción de fluidos con altas concentraciones de sólidos;

- Ausencia de válvulas o partes reciprocantes evitando bloqueo o desgaste de las partes móviles;
- Bajos costos de inversión inicial;
- Bajos costos de energía;
- Simple instalación y operación;
- Bajo mantenimiento;
- Equipos de superficie de pequeñas dimensiones; y
- Bajo nivel de ruido.

Gráfico de un sistema PCP



1.2 Rango Aplicación y limitaciones del sistema PCP

Algunos de los avances logrados y que en la actualidad juegan un papel importante, han extendido su rango de aplicación que incluyen:

- Producción de petróleos pesados y bitúmenes (<18° API) con cortes de arena hasta un 50%.
- Producción de crudos medios (18-30° API) con limitaciones en % de SH2.
- Petróleos livianos (>30°API) con limitaciones en aromáticos.
- Producción de pozos con altos % agua y altas producciones brutas, asociadas a proyectos avanzados de recuperación secundaria (por inyección de agua)

En los últimos años las PCP han experimentado un incremento gradual como un método de extracción artificial común. Sin embargo las bombas de cavidades progresivas están recién en su infancia si lo comparamos con otros métodos de extracción artificial como las bombas electro sumergibles o el bombeo mecánico.

A su vez estos sistemas también presentan desventajas en comparación con otros métodos. La más significativa de estas limitaciones se refiere a las capacidades de desplazamiento y levantamiento de la bomba, así como la compatibilidad de los elastómeros con ciertos fluidos producidos, especialmente con el contenido de componentes aromáticos.

Otras de las limitaciones de este sistema son:

- Resistencia a la temperatura de hasta 280 °F o 138 °C (máxima de 350 °F o 178 °C);

- Alta sensibilidad a los fluidos producidos (elastómeros pueden hincharse o deteriorarse con el contacto de ciertos fluidos por períodos prolongados de tiempo);
- Tendencia del estator a daño considerable cuando la bomba trabaja en seco por períodos de tiempo relativamente cortos;
- Desgaste por contacto entre las varilla y la cañería de producción en pozos direccionales y horizontales.
- Por lo general, requieren la remoción de la tubería de producción para sustituir la bomba (ya sea por falla, por adecuación o por cambio de sistema)

1.3 Componentes de bombeo PCP en superficie

Es necesario dimensionar correctamente los equipos de superficie que sean capaces de proveer la energía requerida para el sistema, esto significa que deben ser capaces de:

- Suspender la sarta de varillas y soportar la carga axial del equipo de fondo.
- Entregar el torque requerido en el vástago
- Rotar el vástago a la velocidad requerida
- Prevenir la fuga de fluidos en la superficie.

Existen diferentes tipos de configuraciones de cabezales y a su vez un amplio rango de accesorios y tecnologías para cada uno de estas configuraciones.

Los componentes básicos de un sistema de Bombeo de Cavidad Progresiva incluyen:

1.3.1 Cabezal giratorio

Equipo de accionamiento mecánico, instalado en la superficie directamente sobre la cabeza del pozo. Consiste en un sistema de rodamientos o cojinetes que soportan la carga axial del sistema, un sistema de freno (mecánico o hidráulico), que puede estar integrado a la estructura del cabezal o ser un dispositivo externo y un ensamblaje de instalación que incluye el sistema de empaque (Stuffing Box), para evitar la filtración de fluidos a través de las conexiones de superficie.

su función principal es la de soportar el peso de la sarta de cabillas. Además, evita que ésta última retroceda cuando el sistema se apaga.

Además algunos cabezales incluyen un sistema de caja reductora accionado por engranajes mecánicos o poleas y correas.

Hay cabezales directos, cabezales angulares y cabezales motor reductor.



1.3.1.1 Sistema de frenado

La segunda función importante del cabezal es la del frenado que requiere el sistema una vez que rota en marcha inversa llamado “Back Spin”. Cuando un sistema PCP esta en operación una cantidad significativa de energía se acumula en forma de torsión en las varillas. Si el sistema se para repentinamente, la sarta de varillas libera esa energía girando en forma inversa para liberar torsión. Adicionalmente a esta rotación inversa se le suma la producida debido a la igualación de niveles de fluido en la tubería de producción y el espacio anular, en el momento de la parada. Durante ese proceso de Back Spin se puede alcanzar velocidades de rotación muy altas. Al perder el control del Back Spin las altas velocidades pueden causar severos daños al equipo de superficie, desenrosque de la sarta de varillas y hasta la rotura violenta de la polea del cabezal, pudiendo ocasionar esta situación severos daños al operador.

De los frenos utilizados se pueden mencionar lo siguiente:

1.3.1.2 Freno de accionamiento por Fricción

Compuesto tradicionalmente de un sistema de discos y pastillas de fricción, accionadas mecánica o hidráulicamente cuando se ejecuta el giro hacia la inversa. La mayoría de estos sistemas son instalados externamente al cuerpo del cabezal, con el disco acoplado al eje rotatorio que se ajusta al eje del cabezal.

Este tipo de freno es utilizado generalmente para potencias transmitidas menores a 75HP.

1.3.1.3 Freno de accionamiento Hidráulico.

Es muy utilizado debido a su mayor eficiencia de acción. Es un sistema integrado al cuerpo de cabezal que consiste en un plato rotatorio adaptado al eje del cabezal que gira libremente en el sentido de las agujas del reloj (operación de la PCP). Al ocurrir el Back Spin el plato acciona un mecanismo hidráulico que genera resistencia al movimiento inverso, lo que permite que se reduzca considerablemente la velocidad inversa y se disipe la energía acumulada. Dependiendo del diseño del cabezal este mecanismo hidráulico puede accionarse con juego de válvula de drenaje, embragues mecánicos etc.

1.3.1.4 Sistema de Reciclo

Sistema de manguera acoplado en la "T" de la PCP En la cual se recircula por forros parte de la producción, con la intención modular el nivel de fluido de tal forma que se tenga sumergencia optima, para proseguir con la producción y no se seque el pozo.

1.3.2 Movimiento primario (motor):

su función principal es la de proveer la energía necesaria para mover el equipo de subsuelo, y por ende la sarta de varillas y la bomba.

1.3.2.1 Equipo de transmisión de potencia: a través de un conjunto de poleas, cadenas y un sistema hidráulico, se encarga de transmitirle potencia al motor. También se puede incluir dentro de este grupo el Prensa estopas y la Barra Pulida.

1.3.2.2 Sistema de correas y poleas. La relación de transmisión con poleas y correas debe ser determinada dependiendo del tipo de cabezal seleccionado y de la potencia / torque que se deba transmitir a las varillas de bombeo (a las PCP).

En el caso de los cabezales con caja reductora interna, debe considerarse la relación de la caja de engranajes para establecer la relación de transmisión total.

La relación de transmisión (R total) puede calcularse como:

$$R \text{ total} = R \text{ gearbox} \times R \text{ poleas}$$

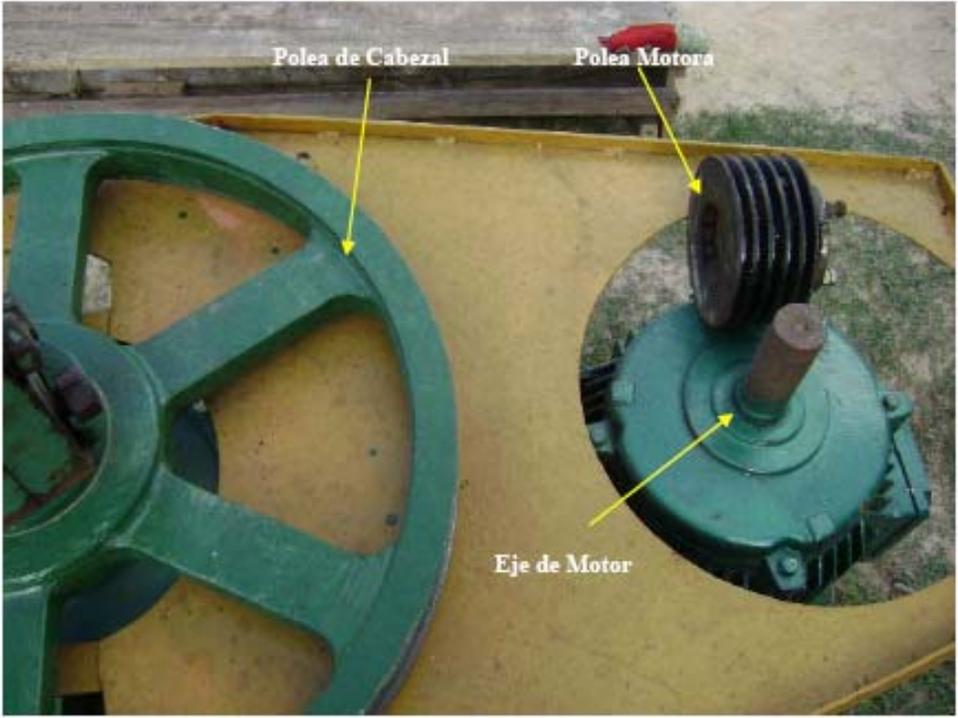
R gearbox : Relación de la caja reductora interna del cabezal

R poleas: Relación de diámetros de las poleas

1.3.2.3 Cálculo de las RPM de la bomba PCP

Para el cálculo de las RPM a trabajar en el sistema PCP de un pozos, se tendrá en consideración los siguientes datos: Diámetro de la Polea del motor ,Diámetro de la polea del cabezal PCP y RPM de placa del motor.

$$\text{RPM de Bomba PCP} = \left(\frac{\text{RPM del motor} \times \text{Diámetro de la Polea del motor}}{\text{Diámetro de la polea del cabezal PCP}} \right)$$





1.4 Componentes de bombeo PCP en Subsuelo

En este grupo de componentes se encuentran la bomba de subsuelo, el ancla de gas, el ancla antitorque y la sarta de varillas.

1.4.1 Bomba PCP

La bomba de subsuelo consiste de un rotor helicoidal singular que rota alrededor de un mismo eje, dentro de un estator helicoidal doble de mismo diámetro (menor) y del doble de longitud. El rotor y el estator forman una serie de cavidades selladas a lo largo de una misma dirección, que se desplazan desde la succión hasta la descarga de la bomba.

El desplazamiento de una bomba de Cavidad Progresiva además de ser función de la velocidad de rotación, es directamente proporcional a tres constantes: el diámetro de la sección transversal del rotor, la excentricidad (o radio de la hélice) y la longitud "pitch" de la hélice del estator. El desplazamiento por revolución puede variar con el tamaño del área de la cavidad.

1.4.1.1 Estator

El estator es de una hélice interior doble moldeada de un elastómero duro y resistente a la abrasión, unido permanentemente al interior de un tubo de acero de aleación. Cuando gira el rotor dentro del estator, se forman cavidades que avanzan desde el extremo de succión hasta el de descarga de la bomba, transportando el material bombeado. El sello continuo entre las hélices del rotor y el

estator hace que el fluido se desplace continuamente a una velocidad fija que es proporcional a la velocidad de rotación de la bomba.

Para su fabricación primero se tornea un molde con la geometría deseada, este se alinea concéntricamente dentro del tubo de acero, el cual se le ha realizado un tratamiento de limpieza, rugosidad y aplicación de un adhesivo interno. La mezcla elastomérica es inyectada a presión, luego el estator pasa a un proceso de vulcanizado donde se obtiene las propiedades finales. Por último se tornean las conexiones y se realizan los controles dimensionales y pruebas de calidad del componente elastomérico.

1.4.1.1.1 Elastómero

Son la base del sistema PCP, en el que está moldeado el perfil de doble hélice del estator. De su correcta determinación e interferencia con el rotor depende en gran medida de la vida útil de la PCP. Además es un elemento que espera ser estirado un mínimo de 2 veces su longitud y recuperar inmediatamente su dimensión original.

1.4.1.1.2 Condiciones para elastómeros para PCP

Resistencia a la fatiga: hasta 500000000 de ciclos acumulados de deformación cíclica

Elasticidad: Fuerza necesaria por unidad de superficie para estirar una longitud.

Dureza shore "A": Fuerza requerida para deformar la superficie del elastómero.

Resistencia al corte: Fuerza requerida para cortar la muestra en condiciones ASTM.

Resistencia al desgarramiento

Resistencia a la abrasión

Resiliencia: velocidad para volver a la forma original, para volver a sellar las cavidades.

Permeabilidad: Para evitar la descompresión explosiva en paros de producción de pozos con gas libre en la succión de la bomba.

Actualmente existen tres componentes en el mercado para Bombas de Cavidad Progresiva , todos estos componentes son fórmulados a partir de la goma de nitrilo. Los componentes y algunas de sus aplicaciones se muestran a continuación:

Nitrilo con concentración media de Acrilonitrilo: este tipo de elastómero puede ser aplicado en crudos de API menores a 28 grados, con altos cortes de agua. Así mismo, el material posee excelentes propiedades mecánicas, teniendo como límite de temperatura de aplicación 200 grados Fahrenheit.

Nitrilo de alta concentración de Acrilonitrilo: este material posee alta resistencia a la presencia de aromáticos. Puede ser aplicado en crudos entre 28 y 38 grados API. El material soporta temperaturas de hasta 225 grados Fahrenheit.

Nitrilo altamente saturado y de alta concentración de Acrilonitrilo: este tipo de material no aplica ante la presencia de aromáticos. Sus propiedades mecánicas son excelentes y soportan temperaturas hasta 275 grados Fahrenheit.

Características	Tipos de Elastómeros			
	Nitrilo Medio	Nitril o Alto	Nitrilo Hidrogenado	Fluor Elastómero
Propiedades Mecánicas	Excelente	Buena	Buena	Pobre
Resistencia a la Abrasión	Muy Buena	Buena	Buena	Pobre
Resistencia a Aromáticos	Buena	Muy Buena	Muy Buena	Excelente
Resistencia a H ₂ S	Buena	Buena	Buena	Excelente
Resistencia al Agua	Buena	Excelente	Excelente	Excelente
Límite de Temperatura	200 °F	220 °F	275 °F	300 °F

1.4.1.1.3 Agentes químicos y físicos agresivos

Disolventes aromáticos.

- Cadenas de carbono **C_{2n} h_{2n-6}** cerradas no saturadas, que producen reacciones químicas con el NBR, benceno, tolueno, Xileno, etc.
- petróleos con mas de 30 °API casi siempre contienen aromáticos
- Alta presión de vapor: evaporan fácilmente
- La agresividad de los aromáticos aumenta con la temperatura
- Efecto: reblandecimiento e hinchamiento de la goma

Acido sulfhídrico SH₂.

- ataca el enlace triple del ACN
- También ataca el enlace doble del butadieno
- Efecto: enlaces cruzados que estrechan el elastómero, lo ponen quebradizo y lo rompen.
- Efecto opuesto a los aromáticos.

Bióxido de carbono CO₂

- Se encuentra en muchos pozos en la fase gaseosa.
- Efecto: endurecimiento e hinchamiento de la goma.
- requiere concentraciones opuestas de ACN que el SH₂

Abrasión.

- el ACN aumenta la dureza del caucho y por consiguiente el desgaste del rotor
- Se realizan cauchos con bajo contenido de ACN (buna-n) para petróleos viscosos acompañados con arenas de formación.
- El carbono también aumenta la dureza pero es necesario para mantener las propiedades mecánicas.

Agua.

- Todos los cauchos absorben agua y se hinchan
- A < ACN y C₄ < hinchamiento por agua
- Todos los cauchos son óleo filis: al absorber petróleo los protege del agua. Se pueden bombear fluidos con el 99 % de agua.

Gas libre

- Todos los cauchos son permeables al gas
- En paros de producción produce descompresión explosiva a < permeabilidad del elastómero > efecto de descompresión.
- en cauchos NBR a > % de ACN < permeabilidad FKM y HNBR : alta permeabilidad pero poca resistencia al CO₂ libre.

Temperatura.

- Aumenta la susceptibilidad a los ataques químicos
- Disminuye en forma líneal las propiedades mecánicas

- Aumenta en forma líneal el hinchamiento por absorción de líquidos.
- Elastómeros especiales tienen mayor resistencia a la temperatura
- Elastómeros base NBR: dependen del % ACN y de los otros aditivos.

1.4.1.2 Rotor

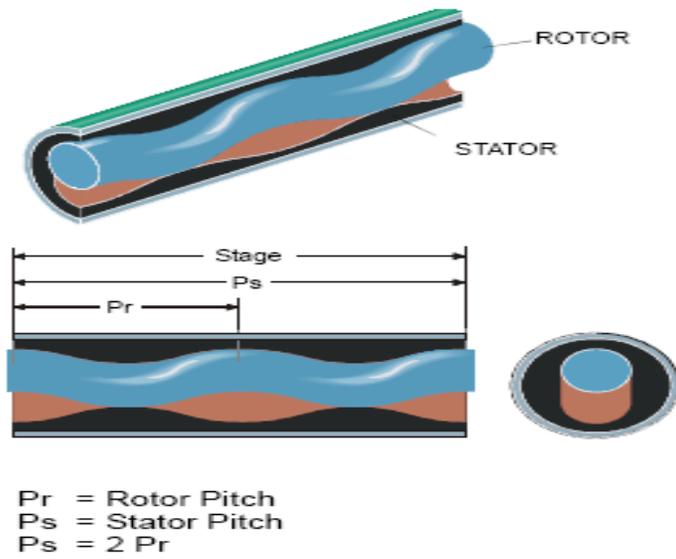
El rotor es de una hélice externa simple con una sección de corte transversal redonda, maquinada con precisión en un acero de alta resistencia.

Estando el estator y el rotor al mismo nivel sus extremos inferiores, el pin del rotor sobresale del estator aproximadamente unos 460mm a 520mm. Este dato permite verificar en muchos casos si el espaciamiento fue bien realizado. En caso de emergencia de arena, aunque sea escasa, esta deja muchas veces marcada la hélice del rotor. De este modo, al retirar el rotor por cualquier motivo, se puede observar en que punto estuvo trabajando dentro del estator, partiendo del extremo del rotor.

El rotor es minuciosamente torneado con acero de alta resistencia externamente en forma helicoidal. Para la resistencia a la abrasión es recubierto con una capa de cromo endurecido. Cuando la concentración de sólidos es alta se ha estado evaluando a posibilidad de recubrimientos con boro.

Generalmente se utilizan aceros al carbón de alta resistencia como 1040, 4130, 4140 y acero inoxidable en ambientes corrosivos.

El diámetro final del rotor dependerá del posible hinchamiento del elastómero del estator por efectos de reacción química ante los fluidos y la temperatura.



Sección de un estator y la etapa de la bomba



Sección transversal de un estator y un motor



Vista interna de un rotor dentro de un estator (con su elastómero)

1.4.1.3 Componentes mecánicos de la bomba

Lo llamaremos componentes mecánicos de la bomba ya que cada uno de estas partes forman parte del juego mecánico de la bomba.

1.4.1.3.1 Niple de Pare

Es parte componente de la bomba y va roscado al extremo inferior del estator y tiene como principales funciones:

- Hacer tope al rotor al momento del espaciamiento
- Servir de pulmón al estiramiento de las varillas con la unidad funcionando
- Como succión de la bomba

Los mas usuales son de rosca doble, con rosca macho en sus extremos, uno de los cuales esta vinculado al estator y el otro a cualquier otro elemento(ancla dinámica, tubing etc).



Pin de pare del niple de pare

1.4.1.3.2 Tubo de extensión o niple intermedio

Su función es la de permitir el movimiento excéntrico de la cabeza del rotor con su cupla o reducción de conexión a la última varilla, cuando el diámetro del tubing no lo permite. En estos casos es imprescindible su instalación



Vista del niple de extensión



Bomba armada para ser conectada a la tubería de producción

1.4.1.3.3 Ancla de torque

Como el estator se baja en conjunto de Varillas, la finalidad del ancla es fijar el mismo a la columna de la tubería, logrando de esta manera mantener el estator fijo respecto al rotor y producir en forma continua.

Al girar la sarta en el sentido de las agujas del reloj (vista de arriba), se realiza la acción de girar la columna también a la derecha, es decir hacia el sentido del desenrosque de la tubería. A esto se suman las vibraciones producidas en la columna por las ondas armónicas ocasionadas por el giro de la hélice del rotor dentro del estator, vibraciones que son tanto mayores cuanto mas profundas es la instalación de la bomba. La combinación de ambos efectos puede producir el desprendimiento de la tubería. El ancla de torque evita este problema. cuanto mas

la columna tiende al desenrosque, más se ajusta el ancla. debe ir siempre instalada debajo del estator, elemento de la columna donde el esfuerzo de torque es mayor. No siempre es necesaria su instalación, ya que en bombas de menor caudal a bajas velocidades o bajas profundidades, no se tienen torques importantes y/o se producen grandes vibraciones. No obstante es recomendable en todos los casos.



Ancla de torque instalada en el extremo de la bomba

1.4.1.3.4 Varillas de bombeo API

Son varillas de acero enroscadas unas con otras por medio de coples, formando la mencionada sarta, que va desde la bomba hasta la superficie. Los diámetros máximos utilizados están limitados por el diámetro interior de los tubings, utilizándose por ejemplo de 7/8" o 1" (coples slip hole) en tubings de 2 7/8". Su longitud puede ser de 25' o 30'



Vista del rotor con el pony rod y el centralizador de varilla respectivo

1.4.1.3.4.1 Esfuerzo en varillas PCP

Los esfuerzos en la varillas que trabajan en el sistema PCP son del tipo: Axiales, flexión y de tensión, a continuación detallaremos un poco cada una de estos esfuerzos.

1.4.1.3.4.2 Esfuerzo axiales

La bomba al operar genera una presión de descarga que aplicada en el área diferencial existente entre la varilla y el área del rotor produce un esfuerzo axial que tiende a estirar la varilla.

Esta presión de descarga es función del nivel y características del fluido y fricción en la tubería. Todas variables que pueden experimentar grandes variaciones.

1.4.1.3.4.3 Esfuerzos de flexión

Los pozos normalmente no son rectos, tienen desviaciones, patas de perro, irregularidades. Estas desviaciones de la vertical con mayor o menor grado de severidad tienen influencia en la magnitud del momento flector que actúa en la sarta. Es una función directa de la magnitud del esfuerzo y sobre todo del radio de curvatura. La magnitud es muy difícil de predecir ya que normalmente la existencia de estas irregularidades se desconoce al menos en su real magnitud.

1.4.1.3.4.4 Esfuerzos de tensión

El torque es el esfuerzo de mayor magnitud entre los que actúan en la PCP. Lo podemos definir como la energía requerida para rotar el rotor dentro del estator y desplazar un fluido contra una presión existente. Consta de 2 conceptos, un torque de fricción y un torque hidráulico. El torque de fricción es debido a la interferencia del rotor girando dentro de la goma del estator, tiene un valor muy pequeño – alrededor de 80-90 N-m, valor que se determina en el ensayo de la bomba, el hidráulico tiene que ver con los HP hidráulicos que dependen del caudal a extraer y de las presiones requeridas. Este es el mayor.

1.4.1.3.5 Centralizadores de Varilla

Sirve para mantener centrada el sistema de varillas dentro de la bomba y proteger la tubería de producción de colapso, originado por el rose interno de los coples de varilla.

1.4.1.3.6 Vástago o Varillón pulido

El extremo superior de la sarta se completa con un vástago cromado enroscado a las varillas, el cual va empaquetado en superficie, por medio de un dispositivo “prensa”. Todo esto se conecta al puente de producción.



Vista de las conexiones de varillas con el rotor de la bomba

1.4.1.3.7 Tubería de producción

Estas constituyen arreglos de tubulares y equipos de fondo; pueden ir desde arreglos sencillos hasta arreglos muy complicados. Su objetivo primordial es conducir los fluidos desde la boca de las perforaciones hasta la superficie. Los Grados API para tubería mayormente empleados son: J-55, C-75, C-95 y P-105. Los grados C-75 y C-95 son diseñados para soportar ambientes ácidos, son más resistentes y costosos que el J-55, este último presenta un buen comportamiento en ambientes básicos. Existen dos tipos de conexiones, para tuberías de producción, abaladas por la American Petroleum Institute (API). La conexión API "NU" (NOT-UPSET), que consta de una rosca de 10 vueltas, siendo la conexión menos fuerte que la tubería. La conexión de tubería "EUE" (EXTERNAL UPSET), dicha conexión posee mayor resistencia que el cuerpo de la tubería y es ideal para los servicios de alta presión.

1.4.1.3.8 Zapato Probador de Hermeticidad o Niple de Asiento

En caso de ser instalado (altamente recomendado), se debe colocar siempre arriba del niple intermedio, para poder probar toda la tubería y además como su diámetro interno es menor que el de la tubería no permite el paso de centralizadores a través de él. Para algunas medidas de bomba no se puede utilizar, porque el pasaje interior del mismo es inferior al diámetro del rotor, impidiendo su paso en la bajada.

La interferencia entre el rotor y el estator es suficiente sello para probar la hermeticidad, aunque siempre existe escurrimiento, tanto cuanto mayor sea la presión total resultante sobre la bomba.

La suma de la presión de prueba mas la altura de la columna debe ser tal que no supere la altura manométrica de la bomba, para evitar dañarla.

1.5 Funcionamiento de la Bomba

Aunque la geometría de sus elementos de bombeo puede parecer bastante compleja, el principio de funcionamiento de la bomba de cavidad progresiva es extremada y engañosamente sencilla. El estator y el rotor no son concéntricos y el movimiento del rotor es combinado, uno rotacional sobre su propio eje y otro rotacional (en dirección opuesta a su propio eje) alrededor el eje del estator.

1.5.1 Desplazamiento de la Bomba

El desplazamiento de la bomba, es el volumen producido por cada vuelta del rotor (es función del área y de la long del rotor)

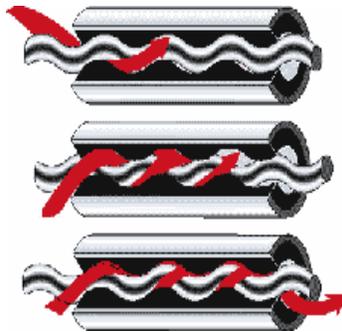
En tanto, el caudal es directamente proporcional al desplazamiento y a la velocidad de rotación.

La capacidad de la bomba PCP para vencer una determinada presión está dada por las líneas de sello hidráulico formados entre **ROTOR-ESTATOR**. Para obtener

esas líneas de sello se requiere una interferencia entre rotor/estator, es decir una compresión entre rotor y estator.

1.5.1.1 Desplazamiento Positivo

Cuando el rotor gira en el interior del estator estas cavidades se desplazan axialmente desde el fondo del estator (succión) hasta la descarga, generando de esta manera el bombeo por cavidades progresivas. Debido a que las cavidades están hidráulicamente selladas entre si, el tipo de bombeo, es de desplazamiento positivo.

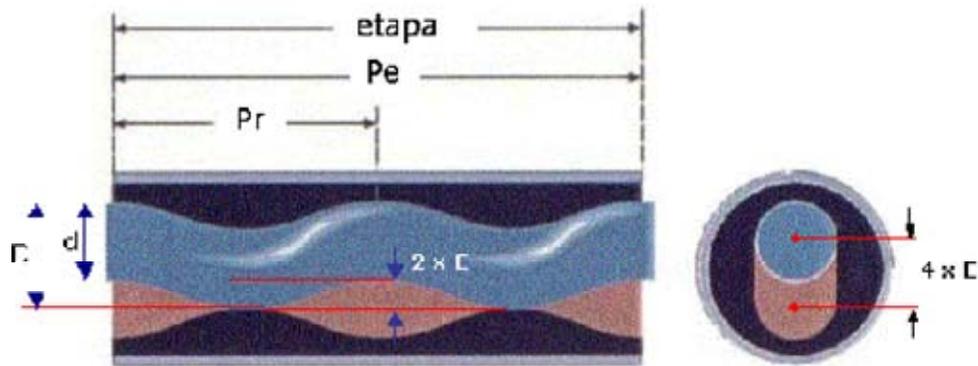


Distribución del flujo a través del elastómero y el rotor

1.5.1.2 Geometría de la Bomba

La geometría del conjunto es tal, que forma una serie de cavidades idénticas y separadas entre si.

La geometría del sello helicoidal formado por el rotor y el estator están definidos por los siguientes parámetros:



D: diámetro mayor del del rotor(diámetro nominal)

d: diámetro de la sección transversal del rotor

E : excentricidad del rotor

Pe: paso del estator (long de la cavidad = long de la etapa)

Pr: paso del rotor

Cada ciclo de rotación del rotor produce dos cavidades de fluido . La sección de esta cavidad es:

$$A = 4 \cdot d \cdot E.$$

El área es constante, y a velocidad de rotación constante, el caudal es uniforme.

Esta es una importante característica del sistema que lo diferencia del bombeo alternativo con descarga pulsante. Esta acción de bombeo puede asemejarse a la de un pistón moviéndose a través de un cilindro de longitud infinita.

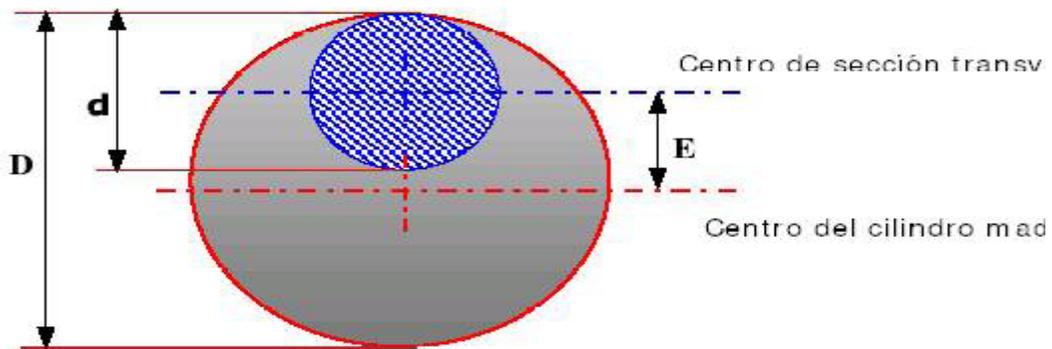
La mínima longitud requerida por la bomba para crear un efecto de acción de bombeo es un paso, ésta es entonces una bomba de un etapa. Cada longitud adicional de paso da por resultado un etapa más.

1.5.1.3 Formación de la Cavidad

Una cavidad equivale a un paso del estator (lóbulo a lóbulo). Una cavidad comienza donde la otra termina. En cualquier corte seccional el número de cavidades separadas es uno mas que el número de lóbulos en el rotor.

1.5.1.4 Offset o Excentricidad

Es la diferencia entre el diámetro mayor y menor del rotor. La geometría de la bomba rige el movimiento excéntrico del rotor alrededor de la línea de centro del estator.



- D:** diámetro mayor del del rotor(diámetro nominal)
- d:** diámetro de la sección transversal del rotor
- E:** excentricidad del rotor

$$E = (D - d) / 2$$

1.5.1.5 Movimiento del Rotor

El rotor girar alrededor de su propio eje en dirección horaria a la velocidad de la bomba. El rotor gira excéntricamente alrededor del eje del estator en sentido antihorario a la velocidad de la bomba multiplicada por el número de lóbulos.

1.5.1.6 Deslizamiento (slippage)

La presión diferencial a través de la bomba causa el deslizamiento del fluido a través de las líneas de sello entre el rotor y el estator desde las cavidades de mayor a menor presión. El deslizamiento del fluido, el cual genera un gradiente de presión a través de la bomba, el cual dependerá básicamente de la naturaleza y composición del fluido. Los fluidos incompresibles (como el agua) tienen un comportamiento lineal, mientras que los compresibles (hidrocarburos con gas) tendrán un comportamiento exponencial desde la entrada hasta la descarga de la bomba.

La operación de PCP a presiones que excedan las especificaciones del fabricante tendrán alta tasa de deslizamiento, lo que a su vez genera alta deformación sobre los lóbulos del estator. Esto ocasionara un deterioro acelerado del elastómero.

1.6. Diseño de la Bomba PCP

Al seleccionar una bomba los 02 parámetros críticos son:

- La Bomba tiene suficiente capacidad de desplazamiento.
- La Bomba tiene suficiente capacidad de elevación para lo requerido por el pozo.

1.6.1 Presión de Diseño

La presión en la admisión de la bomba es una función de la presión del casing más las presiones debidas al gas y a la columna líquida en el espacio anular.

$$-P_{adm} = P_{csg} + P_{gas} + P_{liq}$$

- P_{adm} (Kpa o Psi)

- P_{csg} (Kpa o Psi)

- P_{gas} (Kpa o Psi)

- P_{liq} (Kpa o Psi)

1.6.2. Presión de Diseño del Sistema

La presión de descarga es la suma de la presión en la boca de pozo, las pérdidas de carga en el tubing y la altura de elevación por nivel.

$$-P_{desc} = P_b / \rho + \text{Nivel} + \text{Fricción}$$

- P_{desc} (Kpa o Psi)

- P_b / ρ (Kpa o Psi)

- P_{nivel} (Kpa o Psi)

- $P_{fricción}$ (Kpa o Psi)

1.6.2.1 Pérdidas de carga: Dependen de la viscosidad del fluido, flujo de fluido a lo largo de la tubería, flujo de fluido a lo largo de cuplas, guías y centralizadores, caudales elevados, esfuerzos de corte superficiales en la interfaz metal/fluido crean fuerzas de fricción.

1.6.2.2 Consideraciones para el diseño

- Limitaciones en el diámetro del casing
- Capacidad de elevación de la bomba.
- Desplazamiento de la bomba.

1.6.3. Requerimiento de Torque y Potencia

El torque se define como la energía requerida para girar el rotor y mover el fluido a la presión necesaria. El torque de la bomba resta compuesta por una parte hidráulica y otra de fricción, el torque de fricción es la energía requerida para vencer el ajuste de interferencia entre el estator y rotor, este torque depende del ajuste de interferencia revestimiento del rotor, del elastómero del estator, de las propiedades lubricantes del fluido y de la longitud de la bomba.

1.6.3.1 Torque

El torque hidráulico es proporcional al Lift y al desplazamiento de la bomba.

$T_{hid} = CVPlift$

T_{hid} = Torque hidráulico de la bomba (N.m o Ft.Lbs)

V = Desplazamiento de la bomba (m³/dia/rpm o Bls/dia/rpm)

$Plift$ = Presión de elevación (Kpa o Psi)

C = Constante (SI: 0.111 Imperial: 8.97 E-2)

$T_{total} = T_{hidr} + T_{friccion}$

Total = Torque total de la bomba (N.m o Ft.Lbs)

$T_{friccion}$ = Torque de fricción (N.m o Ft.Lbs)

1.6.3.2 Potencia

La potencia total requerida para el accionamiento de una bomba PCP es una función del torque total.

$P_{bomba} = CT_{total} N$

P_{bomba} = Potencia de la bomba (Kw o Hp)

Total = Torque total total de la bomba (N.m o Ft.Lbs)

N = velocidad de la bomba (rpm)

C = Constante (SI: 1.05E-4 Imperial: 1.91E-4)

1.6.4 Desarrollo de la Presión

La presión desarrollada en la bomba depende de:

1. Cantidad de líneas de sello o número de etapas.
2. Ajuste de interferencia entre rotor y estator
 - Expansión térmica del elastómero.
 - Hinchamiento químico del elastómero

1.6.5 Nomenclatura del Rotor y Estator.

AAA BBB CCC DD E

Donde:

E: Caudal (m³ x día @ 100RPM)

D: Tubular (T) , sumergida (S), hidráulica sumergida (H), Insertable (IT), sumergida acople directo (DS).

CCC: Presión (Kgf/cm² o bar)

BBB : Diámetro nominal de estator en Pulg.

AAA: NTZ O NTU

1.6.6 Nomenclatura del cabezal

Donde:

NDH AAA BC DD EE

EE: Freno hidráulico (HB), Freno mecánico (MB), Freno viscoso (VB).

DD: Carga axial (miles de libras).

C: Eje hueco (H), Eje solido (S).

B: Directo (D), con reduccion interna(G), Angular (R).

AAA: Potencia (horse power).

NDH: Netzsch (cabezal)

1.7. Espaciamiento

Es importante esta variable en la operación, e instalar finalmente el rotor dentro del estator así que no permita que este cerca del niple de paro, ni tampoco que el extremo inferior del rotor trabaje dentro del estator en plena carga de la bomba ya que como maximo la tolerancia que nos da el diseño del equipo es de 20”

1.7.1 Cálculo para el Espaciamiento

Para determinar el espaciamiento se deben considerar 03 parametros de longitud.

- Estiramiento por presión= EP(cm)
- Estiramiento por temperatura= ET (cm)
- Distancia cuceta-estator= DCE (cm)

Estiramiento por presión

$$EP(\text{cm}) = \frac{Adif \times Lx Pmax}{Av \times E}$$

El resultado de la fórmula multiplicado por los metros de varilla bajados al pozo es igual al estiramiento por presión.

$A_{dif} =$ Área entre rotor y varilla (cm²)

$L =$ longitud de varilla en metros

$A_v =$ Área de varilla (cm²)

$P_{max} =$ Máxima presión de la bomba (kg/cm²)

$E =$ Modulo de elasticidad de acero 2.1×10^6 Kg/cm²

Estiramiento por temperatura= ET

Para determinar el salto térmico se debe hallar una temperatura promedio para el momento de instalar (T1) y otra para el pozo en regimen (T2)

$D_t = T_1 - T_2$

$T_1 = (T_s + T_f) / 2$

$T_2 = (T_f + T_{ps}) / 2$

$T_f =$ Temperatura de fondo

$T_s =$ Temperatura de superficie ambiente.

$T_{ps} =$ Temperatura de la producción en superficie.

$D_t =$ Salto Térmico

$\alpha =$ Coeficiente de dilatación de acero 1.2×10^{-5}

ET= Dt x alfa

El resultado de la fórmula multiplicado por los metros de varilla bajados al pozo es igual al estiramiento por Temperatura.

Distancia Cruceta-Estator = DCE

Esta distancia se obtiene midiendo directamente en el nicle de paro o en la bomba según el modelo normalmente es de 50 a 55cm

Importante:

El estiramiento por temperatura ET solo se considera cuando el tubing esta anclado con ancla de tensión. En caso de estar sin ancla de torque no se considera, ya que la dilatación del tubing y de las varillas tiene un mismo coeficiente que es el que corresponde al cero. Esto es 0,000012

$$\text{ESPACIAMIENTO TOTAL} = \text{EP} + \text{ET} + \text{DCE}$$

1.7.1.1 Espaciado de rotores simple lóbulo

Para alcanzar el espaciado para cualquier bomba NETZSCH PCP con ancla de la tubería de producción, la sarta de varillas debe ser alzada la longitud "Y":

Y [cm] - Distancia de alzamiento

ΔP [bar] - La actual presión diferencial (determinando la perdida de presión por medio de la bomba)

L0 [m] - La longitud de la sarta de tubería de producción

k [-] - El factor de espaciado

d [cm] - Distancia hasta el perno de paro debajo de la carga de presión de acuerdo con la capacidad de presión de la bomba (espaciado recomendado)

d = 30 cm, si la capacidad de presión de la bomba **hasta 120 bar**

d = 50 cm, si la capacidad de la bomba es **mayor que 120 bar**

Lstatic [m] - nivel estático del fluido

Tfluid [°C] - temperatura del fluido

Tair [°C] - temperatura media del aire dentro de la tubería de producción vacía

Y [cm = (ΔP [bar] x L0 [m] x k)/1000 + d [cm]

1.8. Instalación del sistema PCP

Todas las mediciones que se realicen son pocas para asegurar que la ubicación del rotor es correcta dentro del estator. Recordemos que la tolerancia que nos da el diseño del equipo es de 50cm como máximo. Es tan importante que el rotor quede bien posicionado dentro del estator que no permite que este cerca del niple de paro, ni tampoco que el extremo inferior del rotor trabaje dentro del estator en plena carga de la bomba.

1.8.1 Procedimiento para instalación de bombas tubulares.

- Medir la longitud del estator desde la parte superior al perno de paro y registrar este dato.
- Medir la longitud del rotor y registrar este valor que será sumado a la longitud de la sarta, registrar los valores del rotor y estator.
- Unir la extensión, si la hay, con el estator y el primer tubo. Si la extensión no es necesaria unir el estator al primer tubo de la columna. Verificar que este perno de paro en su posición.
- Bajar la tubería hasta la profundidad deseada.
- Unir el rotor a la primera varilla, bajar las varillas necesarias hasta tocar el pin de paro (chequear el peso en el Martin Deker del equipo).

- Alzar la tubería lentamente hasta alcanzar la carga máxima y permitir el estiramiento total.
- Marcar esta posición para espaciar, según lo calculado (considera medidas del cuadro de producción para sentar las bridas).
- Instalar el cabezal.

1.8.2 Procedimiento de instalación del cabezal.

- Conectar el vástago a la sarta de varillas con el anillo de la brida “T” de producción.
- Colocar una grampa auxiliar en el vástago por encima de la brida de la “T” de flujo y el anillo de forma tal que aproximadamente 6 pies del vástago queden por encima de la “T” de flujo, tratando de no dañar el anillo al librar el peso del sistema sobre el.
- Alzar el cabezal por los puntos provistos tratando de que la brida inferior este lo mas horizontal posible durante todo el proceso de instalación.
- Introducir el vástago en el eje del hueco del cabezal con cuidado y luego bajar el cabezal. Conectar un trozo de varilla de bombeo en la parte superior del vástago.
- Levantar la sarta de varillas y el cabezal juntos..
- Remover la grampa auxiliar, bajar el cabezal hasta que se junten mabas bridas con el anillo entre ambas. Montar los espárragos y ajustar las tuercas de forma tal que la luz entre las bridas se igualen todo el perímetro de las bridas.

- Limpiar el vástago en la zona donde será fijada la grampa (grasa), lubricar los espárragos de la grampa y colocarla en su posición.
- Bajar la columna de las varillas a la posición final de espaciado y ajustar la grampa con 400Nm (300 Lb-pie) de torque en los espárragos, transferir el peso del cabezal, luego retirar la varilla corta de maniobra colocando un acople de seguridad.
- Dependiendo de la medida del cabezal, instalar soportes para aliviara la carga.

1.9 Acciones recomendadas frente a problemas operativos en el sistema PCP

- Se detallara las acciones recomendaciones para los diferentes casos de Problemas de operación en PCP

Bajo caudal y baja eficiencia volumétrica. Cuando la velocidad es la prefijada y el rango de corriente es normal

Causa probable	Acción recomendada
Rotor no esta totalmente insertado	Verifique el espaciado y corríjalo
Presión de descarga de la bomba inferior a la necesaria	Verifique la altura de elevación necesaria por cálculo. Cambie la bomba si es necesario.
Rotor bajo medida para la temperatura del pozo	Cheque la temperatura y el tipo de rotor usado. Cambie el rotor si es necesario
Perdida en la temperatura.	Busque el tubing roto y cambie la unión.

Productividad del pozo es inferior a la esperada	Verifique el nivel de fluido. Reduzca la velocidad de la bomba. Monitoree los cambios en la eficiencia volumétrica. Compare con las curvas recomportamiento de la bomba..
Altas pérdidas por fricción por el uso de centralizadores.	Replantee la necesidad de centralizadores, si hay disponibles use otro tipo de centralizador. Reemplace la bomba por otra que permita girar mas lento sin centralizadores. Cambiar la tubería si es posible.
Estator esta gastado	Saque la bomba. Llévela a un banco de ensayos y si es necesario cámbiela.
Admisión de la bomba tapada.	Levante el rotor fuera de estator, desplace fluido por el tubing para limpiar el estator, respacie, ponga en producción y cheque la producción

Caudal intermitente. Baja eficiencia volumétrica.

Cuando la velocidad es normal y el consumo esta dentro del limite esperado.

Causa probable	Acción recomendada
Condición de falta de nivel	Verifique el nivel. Baje la velocidad de la bomba. Asegure que la velocidad no pase de

	200rpm. Si es necesario cambie la bomba para cumplir con los requisitos de producción.
Bomba dañada o sub-diseñada	Saque la bomba. Cheque en el banco para poder usarla en otra aplicación..Verifique los requerimientos hidráulicos de la instalación. Reemplace la bomba por otra de mayor capacidad de presión y caudal para poder bajar las RPM

Caudal intermitente. Pobre eficiencia volumétrica. Velocidad mas baja que la normal, consumo mas alto que el esperado.

Causa probable	Acción recomendada
Mal espaciado el rotor tocando el niple de paro.	Levante el rotor reespacée, re-arranque. Cheque todos los parámetros
Rotor aprisionado por exceso de temperatura o ataque químico	Saque la bomba. Cheque la temperatura de fondo. Seleccione rotor undersize. Verifique el análisis químico del fluido. Si es necesario cambie la fórmula del elastómero.
Rotor aprisionado por sólidos.	Levante el rotor y lave el estator.

Sin producción. Perdida de velocidad gradual. Consumo mas alto que el esperado.

Causa probable	Acción recomendada
Mal espaciado. Rotor en contacto con el niple de paro.	Levante el rotor, re-arranque. Cheque todos los parámetros. Cambie la bomba si es necesario.
Elastómero hinchado aumenta la fricción con el rotor.	Saque la bomba, verifique la temperatura de fondo. Seleccione rotor Undersize si es necesario. Analice el fluido, cambie la composición del elastómero para cumplir con las condiciones de fondo.
Alta interferencia entre el rotor y estator.	Reemplace la bomba para otra capacidad de presión y caudal con distinto ajuste de compresión, seleccione rotor undersize, monitoreo el consumo.

Sin producción. Velocidad normal. Consumo bajado.

Causa probable	Acción recomendada
Rotación contraria	Verifique el giro. Verifique si no hay pesca. Re-arranque
Rotor no esta insertado en el estator	Verifique las medidas de la instalación (re-espacie, re-arranque y monitoree caudal)

Estator y rotor dañado	Cheque la profundidad de bomba y compare con la longitud de barras. Cheque la presión. Cambie partes si es necesario.
Rotor o barras de pesca	Profundice la instalación. Re-espacie, saque y repare, cambie la bomba.
Tubing sin hermeticidad	Verifique el nivel y la presión, saque la columna de producción repare la pesca.
Tubing desenroscado o cortado	Verifique espaciado. Saque la sarta de barras y tubing. Repare.

Primo motor (eléctrico) se para. La corriente es mas alta que lo esperado.

Causa probable	Acción recomendada
Potencia del motor es baja para la aplicación	Verifique la potencia a partir de la hidráulica de la instalación, compare con la corriente de la instalación, cambie a otro motor mas adecuado.
Falla en la línea de alimentación	Verifique las fases en la línea , re-arranque el sistema.
Rotor bloqueado dentro del estator debido a arena o incrustaciones	Flush-By / circulate, trate de limpiar circulando el pozo.
Hinchamiento del estator debido a ataque químico o temperatura	Verifique la elección del elastómero

Perdidas a través del sistema de sello permanecen altas a pesar de haber ajustado el sello

Causa probable	Acción recomendada
Las empaquetaduras están gastadas	Verifique el estado de las empaquetaduras. Reemplácelas
Camisa de sacrificio esta gastada	Verifique la camisa y reemplázala si esta dañada. Cambie también las empaquetaduras.

Correas cortadas frecuentemente velocidad bien. Corriente dentro de lo esperado.

Causa probable	Acción recomendada
Mal alineamiento entre correas y fajas	Verifíquelo y corríjalo si es necesario
Poleas gastadas y/o rotas	Verifíquelo y cambie si es necesario
Las correas no son las adecuadas para la aplicación	Verifique si el perfil es el correcto para la polea, reemplace, por el adecuado juego de correas o poleas., Solicite soporte técnico.

Nivel de aceite baja un periodo de tiempo corto

Causa probable	Acción recomendada
Sistema de sello esta dañado, gastado o mal ajustado.	Verifique el sello, reemplácelo si es necesario

Tapón de drenaje esta suelto	Reapriete el tapón
------------------------------	--------------------

Perdida a través del sistema de sellado del vástago

Causa probable	Acción recomendada
El sistema de sellado esta dañado o mal armado	Cheque los elementos de empaque. Reemplácelos si es necesario.
Sistema de empaquetado suelto	Verifique el ajuste. Reajuste
El vástago usado tiene zona de empaque gastada o dañada.	Cheque el vástago en la zona de sello, cámbielo si no fuera posible cambiar su posición sin variar el espaciado

Temperatura del aceite del cabezal es alta.

Causa probable	Acción recomendada
Cabezal girando a mayor velocidad que la recomendada para este modelo	Verifique la velocidad, cambie la relación de poleas para alcanzar la velocidad deseada de acuerdo al desplazamiento de la bomba., cambie el tipo de cabezal por una elección mas adecuada a la aplicación, solicite el soporte técnico
La especificación del aceite no es la recomendada	Verifique el aceite. Reemplace si fuera necesario
Nivel de aceite mas alto que el recomendado	Verifique el nivel del aceite y corríjalo si es necesario

OBJETIVO

OBJETIVO

El objetivo de cambiar el sistema de levantamiento artificial PCP por Bombeo Mecánico sería optimizar e incrementar la reserva del campo Pacaya

HIPOTESIS

“Con el cambio del sistema de levantamiento artificial de PCP por Bombeo Mecánico optimizaremos el sistema de producción e incrementaríamos las reservas del campo Pacaya.”.

CAPÍTULO II

DESARROLLO DEL TEMA

El desarrollo del tema se basara en los datos extraidos del pozo PA-31X en los periodos 1982-1988 y 2008 respectivamente.

Los capitulos II, III, IV mostrarán los resultados de los indicadores a saber .

- El cálculo de las reservas remanentes extraídas
- Costos de instalación del sistema de levantamiento artificial
- Las facilidades para su implementación
- Costos de Mantenimiento de equipo de superficie y subsuelo.
- Los costos operativos
- El consumo de energía utilizado
- Costos por servicios de pozos

PRODUCCIÓN DEL POZO PA-31X

2.1 Histórico Productivo y producción en el periodo 1982-1988

En la producción del pozo en el periodo 1982-1988 se han presentado inconvenientes logísticos, mecánicos y de facilidades tales como capacidad de tanques para almacenar fluido total, cambio de arenas por aumento de corte de agua, falta de combustible y finalmente averías en la unidad de bombeo.

El pozo trabajó con una Unidad Modelo Salgiter 5/180 con carrera de: 53-67-81 con motor a combustión Deutz 2L514, 1800RPM, 27HP, 2Cilindros / 3Gln/Hr.

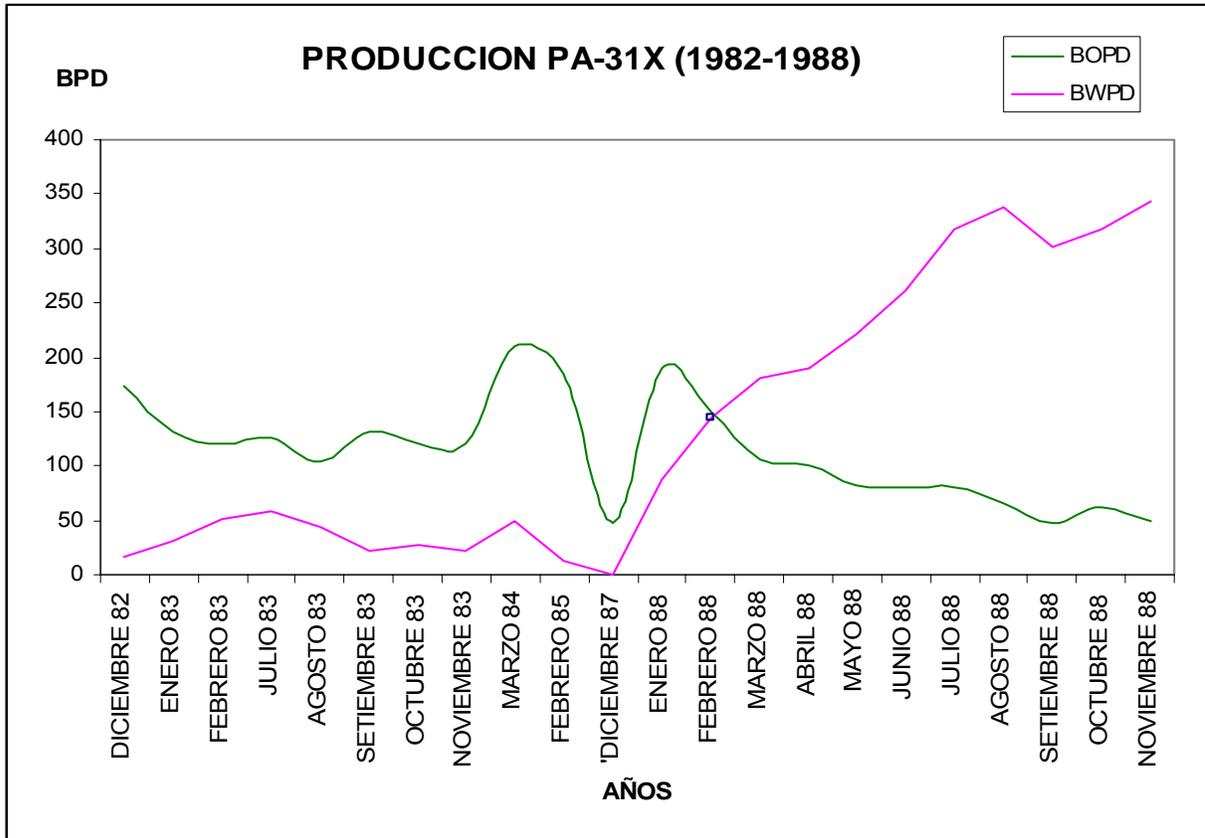
A continuación se muestra el histórico productivo

FECHA PERIODOS DE TRABAJO	DIAS DE PRODUCCIÓN		OBSERVACIONES
	Días Produce	Días No Produce	
20-12-82 al 02-01-83	14		Inicia Producción.
03-01-83 al 11-01-83		9	Cerró por no tener tanques y por emergencia.
12-01-83 al 19-01-83	8		Entra en producción.
20-01-83 al 07-02-83		19	Cerró pozo por falta de capacidad en los tanques.
08-02-83 al 28-02-83	21		Entra en producción.
01-03-83 al 18-07-83		140	Pozo no produce por falta de tanques.
19-07-83 al 02-08-83	15		Pozo produce arena Beta.
03-ago-83	1		Finaliza producción de arena Beta por exceso de agua.
04-ago-83	1		Entra en producción arena Gamma.
05-08-83 al 11-08-83	7		Produce arena Gamma.
12-08-83 al 18-09-83		38	Cerró por falta de tanques.
19-09-83 al 09-10-83	21		Reinicia producción.
10-10-83 al 26-10-83		17	Deja de producir por falta de tanques.
27-10-83 al 06-11-83	13		Reinicia producción.

07-11-83 al 28-02-84		114	Deja de producir por falta de capacidad de tanques.
01-03-84 al 08-03-84	8		Produce pozo.
09-03-84 al 19-02-85		11 meses	Cerrado por falta de tanques.
20-02-85 al 25-02-85	6		Reinicia Producción.
26-02-85 al Dic-87		33 meses	Deja de producir por falta de capacidad de tanques.
dic-87		44 Hrs.	Produce solo 44 hrs.
01-01-88 al 17-10-88	10 meses		Producción diaria.
18-10-88 al 23-10-88		6	No produce por falta de combustible.
24-10-88 al 09-11-88	17		Pozo produce.
09-nov-88			Pozo deja de producir por malograrse la unidad de Bombeo.

Producción del pozo PA-31X. Periodo 1982-1988 Bombeo Mecánico

FECHA	BLS ACUMULADO	BOPD	BLS ACUMULADO	BWPD	HORAS TRABAJADAS
DICIEMBRE 82	2089	174	194	16	288
ENERO 83	1323	132	306	31	240
FEBRERO 83	2543	121	1071	51	504
JULIO 83	1571	126	717	58	299
AGOSTO 83	1061	104	438	43	244
SETIEMBRE 83	1583	132	265	22	288
OCTUBRE 83	1695	121	376	27	336
NOVIEMBRE 83	715	121	135	23	142
MARZO 84	1684	211	396	50	192
FEBRERO 85	1106	184	80	13	144
DICIEMBRE 87	88	48	0	0	44
ENERO 88	5679	189	2609	87	720
FEBRERO 88	4321	149	4193	145	696
MARZO 88	3256	105	5578	180	744
ABRIL 88	3029	101	5701	190	720
MAYO 88	2549	82	6874	222	744
JUNIO 88	2391	81	7763	262	712
JULIO 88	2440	80	9648	318	729
AGOSTO 88	1907	67	9698	339	687
SETIEMBRE 88	1197	48	7554	302	600
OCTUBRE 88	1500	61	7797	318	588
NOVIEMBRE 88	399	50	2750	344	192



Gráfica 01

2.2. Data de reservorios del pozo PA-31X

Pacaya Field
Block 31-E
Reservoir Analysis

Pacaya 31X
226,10
210,65
517106,38
9176195,55

Formacion	Casa Blanca	Huchpayacu	Cashiyacu			Vivian
Reservorio	---	Epsilon	Delta	Gamma	Beta	---

Top - Base (MD) (Subsea - SS)	861,2 - 923	933 - 938	943 - 950	956 - 966	966 - 972,6	972,6
Porosity (Φ),%	---	25	18	27	26	24
Rt, Ohms	50	35	50	25	60	150
Sw, %		29	39	35	16	87

2.3 Aplicacion PCP del pozo PA-31X

Pozo	PA-31X
Fecha de instalacion	11 de marzo de 2008
Datos del pozo	
Profundidad total	3223.6'
Casing	7", 29 lbs/ft, N-80
Formacion productiva	Formación Cashiyacu: Beta, Gamma, Epsilon
Intervalos	3169'-3173'; 3150'-3161'; 3062'-3066';
Tuberia de produccion	2 7/8" EUE, J-55 6.5 lb/ft
Cantidad	99 tubos 2 7/8" x 30'
Pup Joint	1
Cantidad	6.09'
Equipo de superficie	
Cabezal	NETZSCH
Modelo	NDH 040 DH 020 HB
Motor	WEG
Potencia	40 HP, 60 Hz
RPM	1175
Amperaje nominal	102Amp (220V) / 51Amp (440V)
Polea del cabezal	800 mm OD
Polea del motor electrico	175 mm OD
Equipo de subsuelo	
Estator	NETZSCH
Modelo	NTZ 400/150ST62
Rotor	NETZSCH
Modelo	NTZ 62
Tipo Varillas	7/8"
Cantidad	124
Lonjitud	3097.99'
Pony rod	7/8"
cantidad	2
Lonjitud	10,17'
Condiciones de operación	
Fecha	13 Mayo del 2008
RPM	256
Amperaje nominal	20 amp
Presion en cabeza	20 Psi
Datos de los fluidos	
API (OIL)	29,4
Azufre total	0,55
Viscosidad Cinematica @ 30°C	25,09 cSt
Viscosidad Cinematica @ 40°C	16,86 cSt
Agua y sedimentos	1,20%
Salinidad del agua de produccion	86,8 ppm
Temperatura de superficie	120
Temperatura de reservorio	220

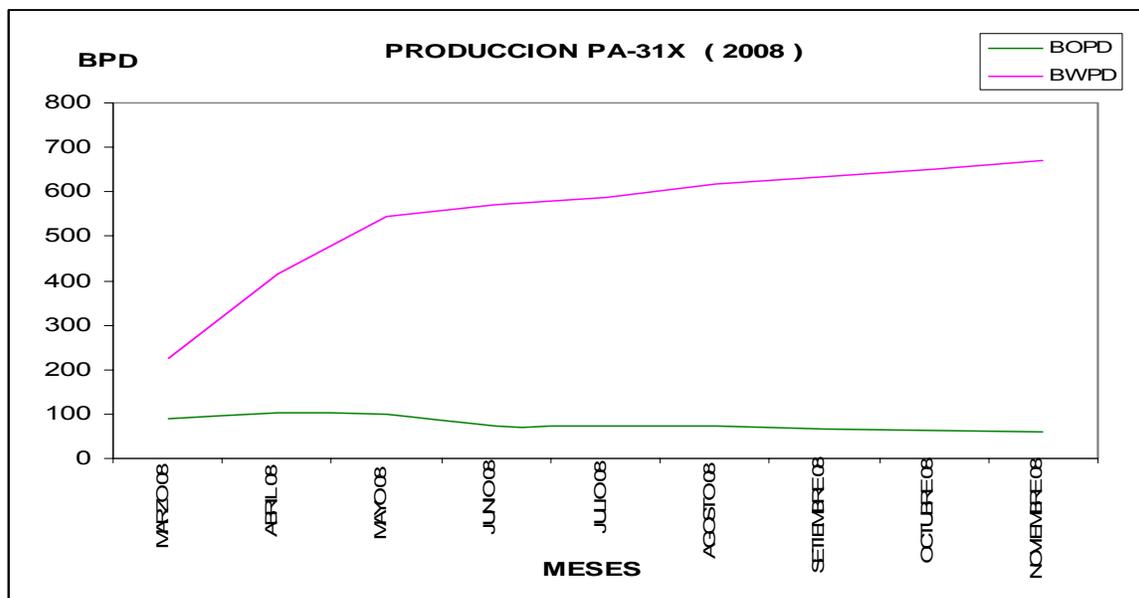
2.4 Producción en el periodo 2008

El pozo inició su producción el 11 de marzo del 2008, con una producción de 4Bls incrementándose rápidamente hasta un máximo de 138 BIS. Empezó a normalizarse en Setiembre del mismo año en un promedio de 60 BOPD.

El pozo no ha mostrado ningún problema mecánico, sin embargo si ha presentado problemas de transporte de inventarios de crudo, debido a que el oleoducto fue instalado a finales del 2008 .

A continuación mostraremos la producción del pozo PA-31X con el sistema PCP

FECHA	BLS ACUMULADO	BOPD	BLS ACUMULADO	BWPD	HORAS TRABAJADAS
MARZO 08	1785	88	4596	226	487
ABRIL 08	2346	102	9585	415	554
MAYO 08	2970	99	16337	545	720
JUNIO 08	1751	71	14031	572	588,5
JULIO 08	2292	74	18168	586	744
AGOSTO 08	2313	75	19164	618	744
SEPTIEMBRE 08	1973	66	18994	633	720
OCTUBRE 08	1915	62	20209	652	744
NOVIEMBRE 08	1808	60	20095	670	720



Gráfica 02

CAPÍTULO III

RECUPERACIÓN DE RESERVAS REMANENTES DEL POZO PA-31X

Fueron introducidos al Software Shahara los datos de Producción (promedia diaria por mes en los periodos 1982-1988 y 2008 respectivamente) con el objetivo de simular el comportamiento declinatorio de la producción y de la recuperación de las reservas remanentes del pozo en los periodos ya anteriormente mencionados y compararlos mutuamente.

Cabe recordar que:

En el periodo 1982-1988. El pozo Trabajo con el sistema de Bombeo Mecánico a motor a combustión.

En el periodo 2008. El pozo Trabajo con el sistema de Bombeo por Cavidades progresivas (PCP) a motor a eléctrico.

Segun la curvas de producción que arrojó el Software Shahara se muestra que:

En el Gráfico N° 01: Se aprecia la curva de producción de petróleo con el sistema de bombeo mecánico ,con data inicial de 1982 al 1988.

La curva se mantiene constante salvo algunas pendientes y decrecientes debido a paradas por capacidad de tanques 2003-2005 y por evaluación de 4hrs en 1987, luego aumenta su producción 1988 y declina con normalidad hasta que para por problemas mecánico en la unidad de bombeo.

En el Gráfico N° 02: Se aprecia la curva de producción de petróleo del pozo PA-31X con sistema PCP ,con data inicial de Marzo a finales de Noviembre 2008.

La curva se mantiene constante salvo ligeras pendientes y decrecientes debido a paradas por capacidad de tanques y declina con normalidad a la fecha.

En el Gráfico N° 03: El Software Sahara simula la producción que hubiese mostrado si hubiera continuado con el sistema de bombeo mecánico desde 1988 hasta 2050 ,mostrando una recuperación de reservas remanentes de:

9.54 MSTB con un limite productivo de 10 Bls

32.98 MSTB con un limite productivo de 2 Bls.

En el Gráfico N° 04: el Software Shahara simula la producción que mostraria con bombeo PCP desde 2008 hasta 2050 ,mostrando una recuperación de reservas remanentes de.

55.25 MSTB con un limite productivo de 10 Bls

105.28 MSTB con un limite productivo de 2 Bls

En el Gráfico N° 05: Aparecen los Gráficos 03 y 04 transpuestos conjuntamente donde se aprecia una ganancia en la recuperación de reservas remanentes para limites productivos con el sistema PCP vs el sistema de Bombeo mecánico

45.71 MSTB con un limite productivo de 10 Bls.

72.3 MSTB con un limite productivo de 2 Bls.

En la tabla N°01: Aparecen los datos de la recuperación de las reservas para los dos sistemas BM y PCP, segun la depletacion de la producción del pozo PA-31X desde el 2008 hasta el 2050 con una producción de 60 Bls hacia los limites productivos de 10 Bls y 2 Bls respectivamente, ademas el aumento del factor de recuperación por cambio de sistema a PCP hacia los mismos limites productivos es un promedio de 300%

En el Gráfico N° 06: Es la representación gráfica de la tabla N°01

3.1. Curva de declinación con sistema EBM en los periodos: 1982-2050

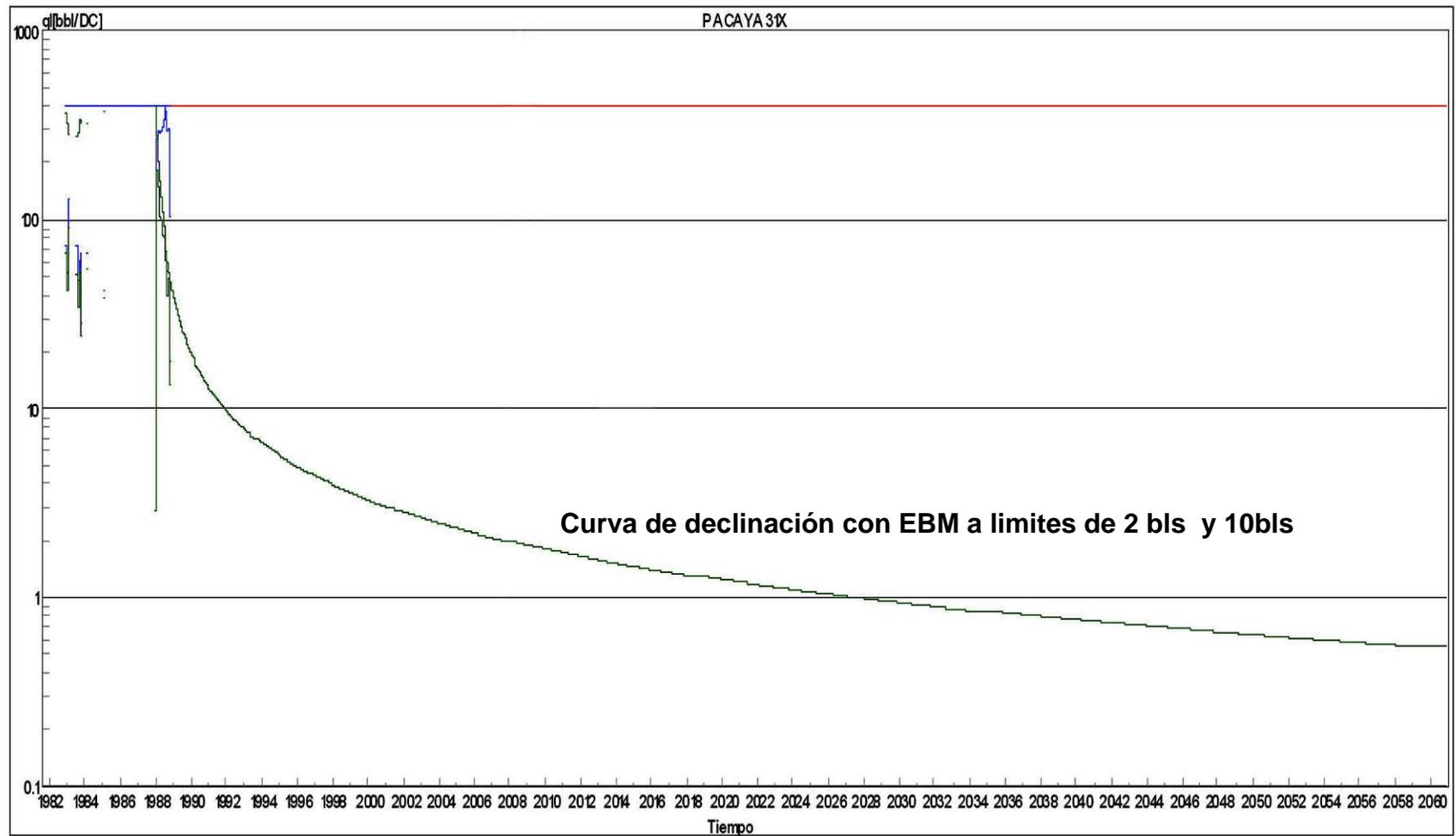


Grafico N° 03

3.2. Curva de declinación de la producción PCP en los periodos: 2008 -2050

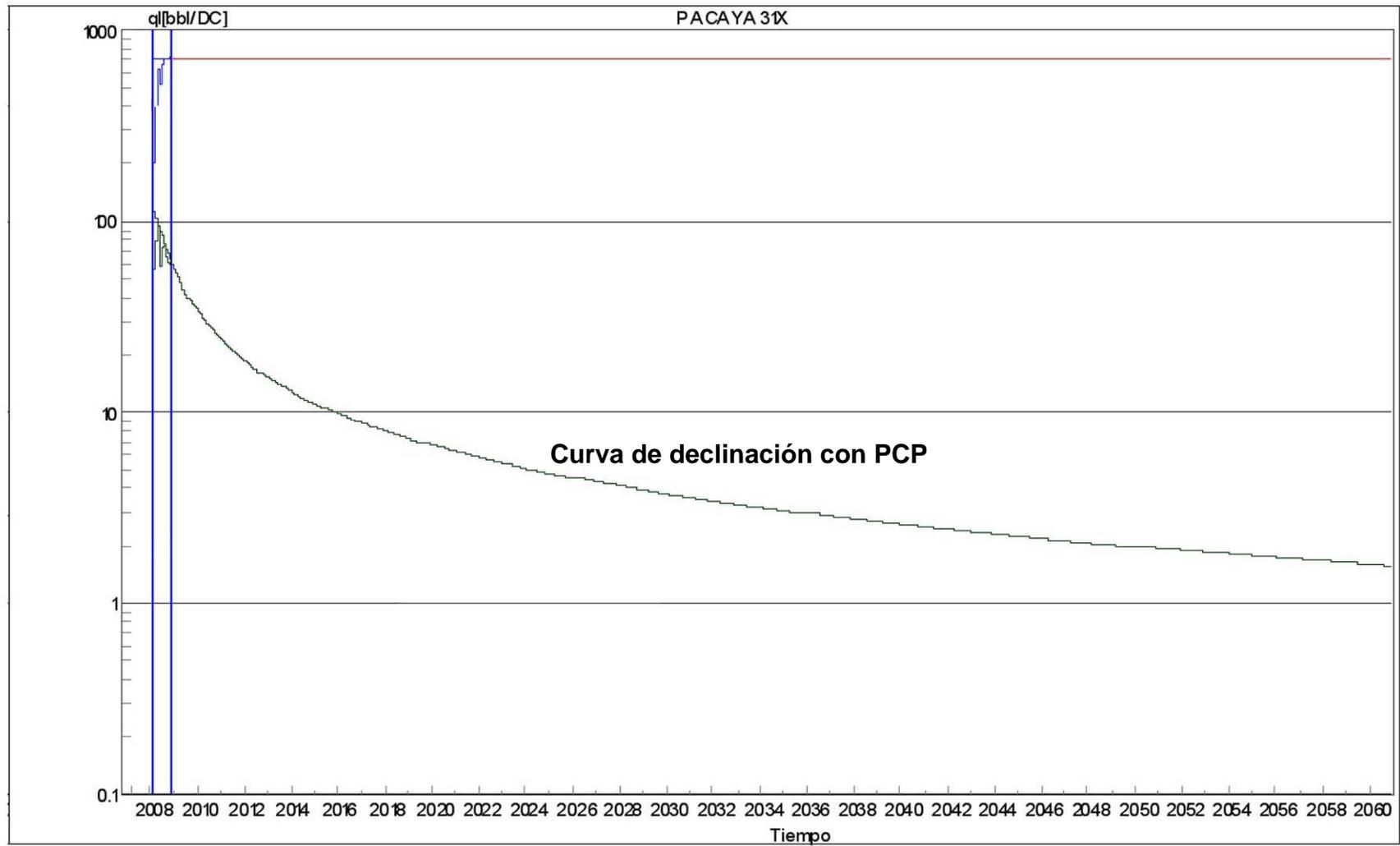


Gráfico N° 04

3.3 Curva comparada de declinación de la producción EBM Y PCP N°1

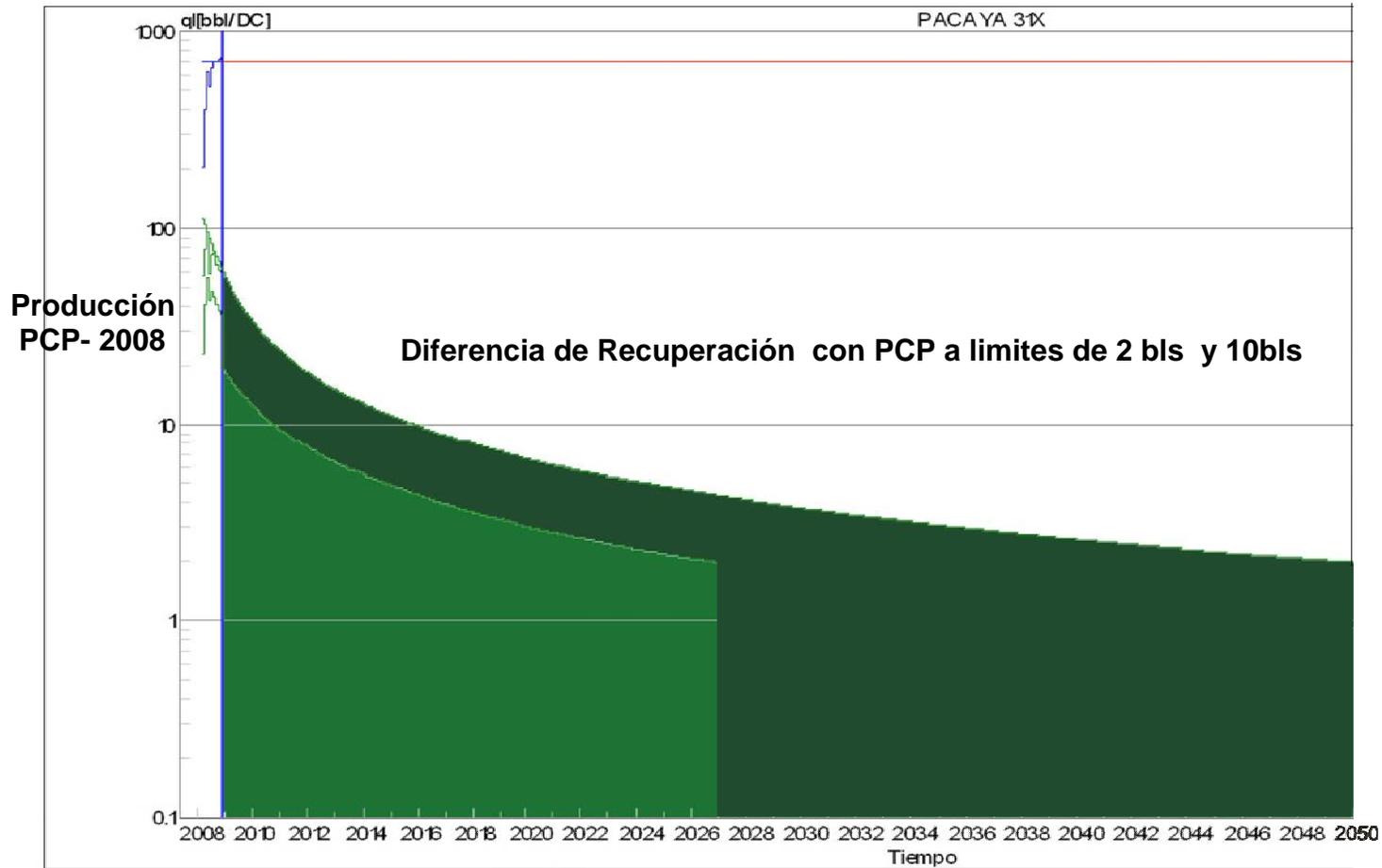
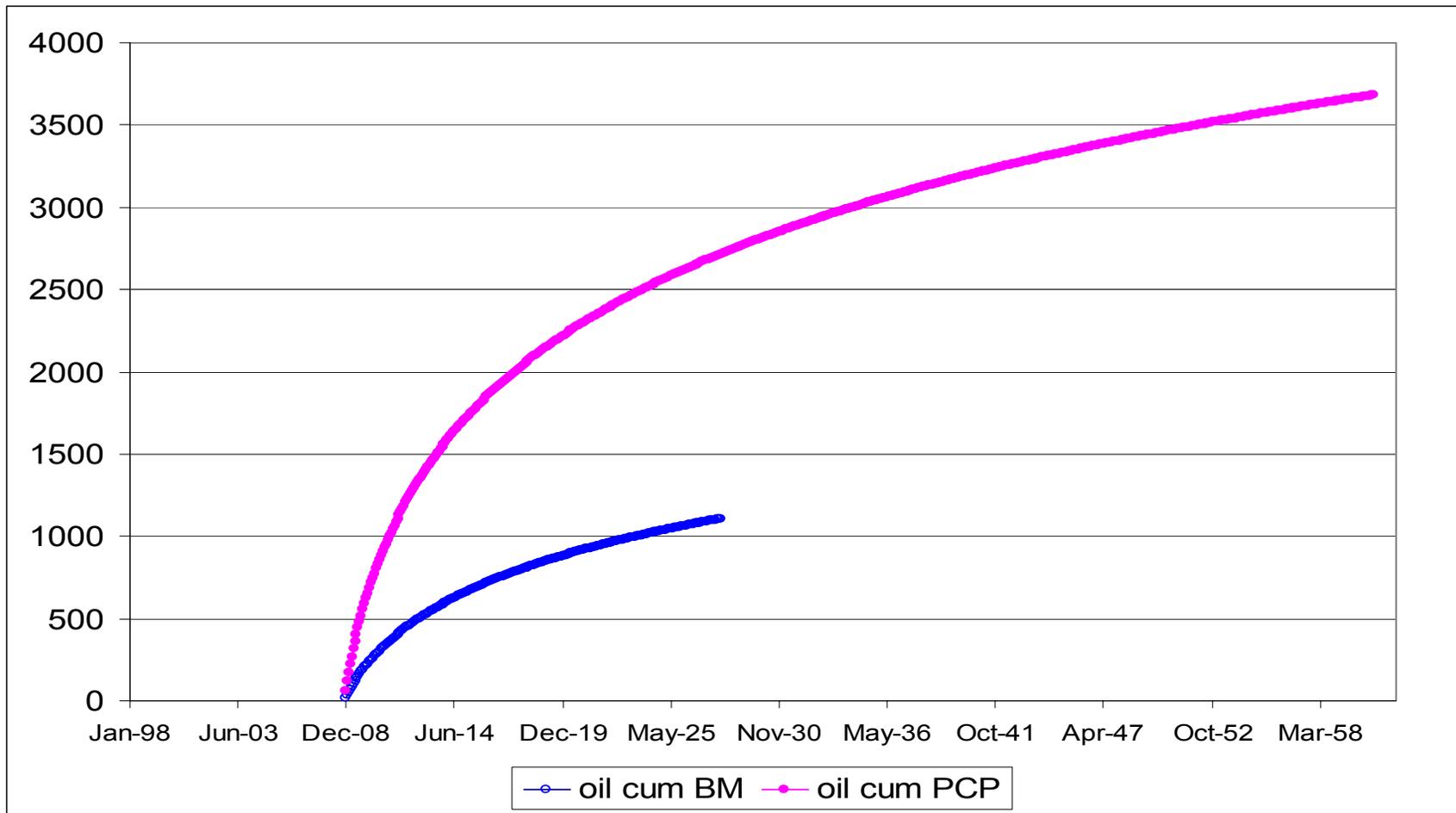


Gráfico N° 05

3.4 Curva comparada de declinación en los periodos: 1982 y 2008 N°2

acum. Oil. Bls



Tiempo de depletación

3.5 Tabla de reservas remanentes recuperables 2008-2050

LIMITE PRODUCTIVO (BLS)	AÑO DE DEPLETACION EBM	AÑO DE DEPLETACION PCP	RESERVAS RECUPERABLES BOMBEO MECÁNICO (MSTB)	RESERVAS RECUPERABLES SISTEMA PCP (MSTB)	GANANCIA POR OPTIMIZACION DE LA PRODUCCIÓN POR PCP (MSTB)	AUMENTO DEL FACTOR DE RECUPERACIÓN %
10	2010	2015	9,54	55,25	45,71	479
9	2011	2016	10,97	58,69	47,72	435
8	2011	2018	12,77	62,27	49,5	388
7	2012	2019	14,59	66,32	51,73	355
6	2013	2021	16,94	71,02	54,08	319
5	2014	2024	19,57	76,78	57,21	292
4	2016	2028	22,79	83,62	60,83	267
3	2020	2035	27,04	92,61	65,57	242
2	2027	2050	32,98	105,28	72,3	219

Tabla N° 01

CAPÍTULO IV

SISTEMA PCP VS BOMBEO MECÁNICO

A continuación se esboza una tabla comparativa que describe las diferencias existentes para mismas necesidades y/o servicios brindados en su operatividad

4.1 Tabla comparativa

Bombeo Mecánico (BM)	Bombeo por sistema PCP
El equipo de superficie; consta del clásico caballito, que se compone de una serie de partes mecánicas que hace necesario de una serie de facilidades para su instalación como por ejemplo de una base monolítica y Cerco perimétrico apropiado. Etc.	El equipos de superficie es simple: solo se compone de un cabezal PCP y en cuanto a las facilidades de instalación, no necesita base monolítica, solo 3 0 4 parantes de acero como soporte y un pequeño cerco perimétrico.
El equipo de Fondo contiene una bomba que posee una serie de válvulas (la válvula viajera y estacionaria), las cuales pueden presentar atascamiento por producción de arena, finos o carbonatos en el fluido total.	En caso del equipo de fondo solo se compone de dos partes: Rotor- Estator, La bomba no poseen válvulas, evitándo así los posibles problemas de atascamiento de la bomba por arena. Maneja hasta un 70% de arena. Sin embargo es necesario que la bomba siempre opere con fluido líquido para lubricación del elastómero y evitar su daño por trabajar en seco.
Según el principio de funcionamiento de la bomba mantiene un flujo intermitente.	Según el principio de funcionamiento de la bomba Tiene un flujo continuo

Debido a una inspección rutinaria de la unidades de superficie y mantenimiento preventivo programados, La cantidad de horas hombre para operadores de producción es mayor .	Se optimiza la cantidad de horas hombre en el mantenimiento del equipo de superficie, ya que se remite cambio de aceite del cabezal cada 6 meses y ciertas piezas al año.
El consumo de potencia en el motor es mayor.	Consume la mitad de la potencia de una bomba mecánica (la potencia representa 2/3 de los gastos operacionales de un pozo de alto porcentaje de agua)
El sistema completo necesita mayor apoyo logístico y de transporte para enviarlo al pozo donde operara	El sistema completo se puede transportar en una camioneta de 3/4 Ton) hacia el lugar donde operara el sistema.
Para poder aumentar la producción se necesita cambiar polea en el motor y aumentar la carrera en la unidad	Para poder aumentar la producción se necesita solamente cambiar polea en el motor
Debido a su configuración en superficie operativamente es mas riesgosa.	Debido a su simple configuración en superficie es mas segura y menos riesgosa.
Mayor cantidad de servicios al año en promedio 2-4 veces	La cantidad de servicios es de 01 vez cada 1.5 años
No tiene problemas con el torque de varillas por el principio de operatividad en subsuelo.	El torque de trabajo es bajo debido a la poca profundidad de los pozos, razón por la cual se han utilizado varillas de 3/4" y 7/8"

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se baso en el cálculo de los costos por indicador, Adicionalmente se contrastaron estos costos por sistema de Bombeo Mecánico con motor combustión y/o motor eléctrico vs el sistema de cavidades progresivas PCP.

5.1 Costos en recuperación de reservas remanentes

La ganancia por recuperación de reservas remanentes por cambio de sistema a PCP para una producción actual de 60 Bls hasta limites productivos de 10 a 2Bls , para el precio de \$ 45 por barril de petróleo producido ,segun el cuadro son:

LIMITE PRODUCTIVO (BLS)	RESERVAS RECUPERABLES BOMBEO MECÁNICO (MSTB)	RESERVAS RECUPERABLES SISTEMA PCP (MSTB)	GANANCIA POR OPTIMIZACION DE LA PRODUCCIÓN POR PCP (MSTB)	GANANCIA BRUTA POR RECUPERACIÓN DE RESERVAS REMANENTES POR PCP (Millon \$)
10	9,54	55,25	45,71	2,05695
9	10,97	58,69	47,72	2,1474
8	12,77	62,27	49,5	2,2275
7	14,59	66,32	51,73	2,32785
6	16,94	71,02	54,08	2,4336
5	19,57	76,78	57,21	2,57445
4	22,79	83,62	60,83	2,73735
3	27,04	92,61	65,57	2,95065
2	32,98	105,28	72,3	3,2535

5.2 Costos de equipos e instalación de sistema de levantamiento

Se aprecia un Ahorro anual en costos e instalación por cambio a sistema a PCP
de \$ 13,129

ITEM	DESCRIPCIÓN DE COSTOS DE INSTALACIÓN - PA 31X POR SISTEMA BOMBEO MECÁNICO	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Pump Jack 160D	1	\$ 32.276,00	\$ 32.276,00
2	Motor eléctrico 40HP Marca WEG 6 poleas ,1175rpm a 60Hz,	1	\$ 4.890,00	\$ 4.890,00
3	"T" de bombeo Ring Joint R-31, esparragos y tuercas	1	\$ 35,00	\$ 35,00
4	Bomba 25-250-THM-9-3-4 con pared gruesa, niple de asiento mecánico con barril cromado con piston pulido ranurado	1	\$ 2.510,00	\$ 2.510,00
4	Varillon pulido 1 1/4" x 7/8"	1	\$ 250,00	\$ 250,00
5	Suck rod 7/8" X 25' grado High strength	128	\$ 110,00	\$ 14.080,00
6	Coupling 7/8" Slim hole	256	\$ 12,00	\$ 3.072,00
7	Pony rod 7/8" x 2' grado High strength	3	\$ 55,29	\$ 165,87
8	Pony rod 7/8" x 4' grado High strength	3	\$ 68,06	\$ 204,18
9	Pony rod 7/8" x 6' grado High strength	3	\$ 81,00	\$ 243,00
10	Pony rod 7/8" x 8' grado High strength	3	\$ 93,00	\$ 279,00
11	Pup joint de 2 7/8" x 2'	1	\$ 75,47	\$ 75,47
12	Pup joint de 2 7/8" x 4'	1	\$ 95,00	\$ 95,00
13	Pup joint de 2 7/8" x 6'	1	\$ 113,00	\$ 113,00
14	Pup joint de 2 7/8" x 8'	1	\$ 132,00	\$ 132,00
15	Centralizadores (Rod guides) para sucker rods de 7/8"X 2 7/8"	320	\$ 19,50	\$ 6.240,00
16	Tubería de 2 7/8"EUE	95	\$ 150,00	\$ 14.250,00
17	Costo horario de equipo Workover		\$ 276,85	\$ 830,55
18	Mano de obra: Cuadrilla de equipo Workover (11 obreros + 01 supervisor)			
19	Combustible: D2 :144 Gal /dia + GAS 84: 10 Gal/dia		\$ 185,00	\$ 555,00
20	Mantenimiento		\$ 100,00	\$ 300,00
21	Alimentacion		\$ 160,50	\$ 481,50
22	Costos facilidades (Transporte de materiales y Construcción de base monolítica e instalación de equipo de superficie)			\$5500
	Costo Total por instalación bombeo mecánico			\$ 86577.57

ITEM	DESCRIPCIÓN DE COSTOS DE INSTALACIÓN - PA 31X POR SISTEMA PCP	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Cabezal de rotacion modelo NDH 040 DH20HB	1	\$ 8.776,00	\$ 8.776,00
	Carga axial máxima de 20000lbs, potencia máxima de 50HP, Freno hidraulico,poleamotora,movida y correa			
2	Motor eléctrico 40HP Marca WEG 6 poleas ,1175rpm a 60Hz,	1	\$ 4.890,00	\$ 4.890,00
3	"T" de bombeo Ring Joint R-31,esparragos y tuercas	1	\$ 960,00	\$ 960,00
4	Bomba modelo NTZ 400* 150 ST 62 (Rotor+estator+niple de paro) Capacidad volumetrica 62m3 @100RPM, capacidad de levantamiento150 bar. Estator NTZ NTZ 400*150 ST 62 Conexión superior de la bomba 4"EU pin,conexión inferior 4"EU pin,elastomero viton 451.Rotor NTZ NTZ 400*150 ST 62 Conexión del rotor 1.9/16" para varilla de 1 1/8".Niple de paro: conexión inferior 2 7/8" EU Pin		\$ 15.235,00	\$ 15.235,00
5	Tubo de extension con coupling : Lonjitud 6pies, diametro 4" , conexión superior 4" EU Pin, conexión inferior 4"EU Box	1	\$ 617,00	\$ 617,00
	con crossover 4" EU Box x 2 7/8"EU Box			\$ 0,00
6	Ancla antitorque para casing de 7" x 2 7/8" EU	1	\$ 1.714,00	\$ 1.714,00
7	Varillon pulido 1 1/4" x 7/8"	1	\$ 140,00	\$ 140,00
8	Suck rod 7/8" X 25' grado High strength	128	\$ 110,00	\$ 14.080,00
9	Coupling 7/8" Slim hole	256	\$ 12,00	\$ 3.072,00
10	Pony rod 7/8" x 2' grado High strength	3	\$ 55,29	\$ 165,87
11	Pony rod 7/8" x 4' grado High strength	3	\$ 68,06	\$ 204,18
12	Pony rod 7/8" x 6' grado High strength	3	\$ 81,00	\$ 243,00
13	Pony rod 7/8" x 8' grado High strength	3	\$ 93,00	\$ 279,00
14	Centralizadores (Rod guides) para sucker rods de 7/8"X 2 7/8"	320	\$ 19,50	\$ 6.240,00
15	Tubería de 2 7/8"EUE	95	\$ 150,00	\$ 14.250,00
16	Pup joint de 2 7/8" x 2'	1	\$ 75,47	\$ 75,47
17	Pup joint de 2 7/8" x 4'	1	\$ 95,00	\$ 95,00
18	Pup joint de 2 7/8" x 6'	1	\$ 113,00	\$ 113,00
19	Pup joint de 2 7/8" x 8'	1	\$ 132,00	\$ 132,00
16	Costo horario de equipo Workover		\$ 276,85	\$ 830,55
17	Mano de obra: Cuadrilla de equipo Workover (11 obreros + 01 supervisor)			
18	Combustible: D2 :144 Gal /dia + GAS 84: 10 Gal/dia		\$ 185,00	\$ 555,00
19	Mantenimiento		\$ 100,00	\$ 300,00
20	Alimentacion		\$ 160,50	\$ 481,50
	Costo por instalación bombeo PCP		SUB-TOTAL	\$ 73.448,57

5.3 Costos de mantenimiento de Unidad en superficie

Se aprecia un Ahorro anual en costos de mantenimiento en unidades de superficie por cambio de sistema a PCP de **\$ 3,971**

	COSTOS DE MANTENIMIENTO UNIDAD DE BOMBEO (SUPERFICIE) SISTEMA BOMBEO MECÁNICO	COSTO DE REPUESTOS	MANO DE OBRA	COSTO TOTAL
1	Mantenimiento de unidades de bombeo mecánico			
1,1	Mantenimiento rutinaria mensual			
	Alinamiento, pernos, fajas, freno, cable de acero, reductor, cojinetes estructurales	\$ 1671		
	Hora hombre (Electricista, ayudante) Hora hombre (Electricista, ayudante)		\$ 99	\$ 1770
1,2	Mantenimiento rutinaria cada 3000 hrs			
	Alinamiento, pernos, fajas, freno, cable de acero, reductor, cojinetes estructurales, sistema de balanceo neumático, otros	\$ 159		
	Hora hombre (Electricista, ayudante) Hora hombre (Electricista, ayudante)		\$ 74	\$ 233
1,3	Mantenimiento rutinaria cada 6000 hrs			
	Alinamiento, ase de acero y cimentación, estructura de acero, cojinetes estructurales, reductor de velocidad, cranks, freno, sistema de balanceo neumático	\$ 100		
	Hora hombre (Electricista, ayudante) Hora hombre (Electricista, ayudante)		\$ 231	\$ 331
1,4	Mantenimiento rutinaria cada 12000 hrs			
	reductor de velocidad, cranks, cojinetes estructurales, sistema de balanceo neumático, trabajos adicionales	\$ 1068		
	Hora hombre (Electricista, ayudante) Hora hombre (Electricista, ayudante)		\$ 58	\$ 1126
	Costo Total de mantenimiento de unidad de superficie BM			\$ 3460

	COSTOS DE MANTENIMIENTO CABEZAL PCP (SUPERFICIE) SISTEMA PCP	COSTO DE REPUESTOS	MANO DE OBRA	COSTO TOTAL
1	Mantenimiento al cabezal PCP			
1.1	Cambio de aceite de cabezal HOMALA 55 Gln al año	\$ 500		\$ 500
	Repuestos para mantenimiento de cabezal a un año			
	Visor, Filtro de aire, retenedor de viton, oring viton, empaquetadura, palletas celeron temp, Resorte	\$ 400		\$ 400
	Costo Total de mantenimiento de unidad de superficie PCP			\$ 900

	COSTOS DE MANTENIMIENTO CON MOTOR A COMBUSTIÓN SISTEMA BOMBEO MECÁNICO	COSTO DE REPUESTOS	MANO DE OBRA	COSTO TOTAL
2	Mantenimiento del motor a combustión			
2,1	Mantenimiento de 250 hrs			
	Filtro para aceite del motor EP-78, Filtro para combustibe TP-553, PR-151-6,			
	Revisar faja del alternador,.Revisar faja del alternador, limpieza de filtro de admision	\$ 1525		
	Hora hombre (Electricista, ayudante)Hora hombre (Electricista, ayudante)		\$ 198	\$ 1723
2,2	Mantenimiento de 2000 hrs			
	Calibracion de valvulas de admision y escape.			
	Cambio de filtro admision, sondeo de radiador, Revisar faja del alternador, engrasar rodaje del ventilador.			
	Reajustar perneria, Probar inyectoros.Probar inyectoros,	\$ 165		
	Hora hombre (Electricista, ayudante)Hora hombre (Electricista, ayudante)		\$ 99	\$ 264
2,3	Mantenimiento de 5000 hrs			
	Chequeo de toberas y precamaras, Revision metales de biela y bancada, Revision presión de aceite			
	Chequear bomba de circulacion del aceite,Desacarbonizar y asentar valvulas de culata.			
	Revisar los accesorios del arrancador y alternador.Revisar encroche del embrague.	\$ 100		
	Hora hombre (Electricista, ayudante)Hora hombre (Electricista, ayudante)		\$ 66	\$ 166
2,4	Mantenimiento de 10000 hrs			
	Mantenimiento Overhole.			
	Cambio de repuestos:			
	Pistones , anillos,metales de bancada y biela			
	Calibracion de cigueñal			
	Cambio de guias de valvulas, valvulas de escape y admision,			
	bomba de circulacion de agua, bomba de circulacion de aceite.			
	Inspeccionar Culata, cambi de manguera de radiador, inspeccionar Bloder			
	Sondear radiador, cambiar toberas o inyectoros, calibrar resortes de valvulas			
	Inspeccionar Bomba de inyeccion de combustibles.			
	Hora hombre (Electricista, ayudante)Hora hombre (Electricista, ayudante)	\$ 500	\$ 58	\$ 558
	CostoTotal de mantenimiento de Motor a combustión BM			\$ 2711

	COSTOS DE MANTENIMIENTO CON MOTOR ELÉCTRICO SISTEMA PCP	COSTO DE REPUESTOS	MANO DE OBRA	COSTO TOTAL
2	Mantenimiento del motor eléctrico			
2,1	Mantenimiento rutinaria cada 06 meses			
	Inspeccion exterior en cojinetes y carcaza. Verificar las condiciones de operación : voltaje, amperaje, ruidos y zumbidos, movimientos axiales del acoplamiento, ajuste de pernos, niveles de vibracion en cojinetes y puntos de anclajes. Efectuar limpieza extertna del motor, Verificar el aislamiento del motor y de la línea de alimentación, revisar las conexiones de entrada al motor, estado del aislamiento y signos de deterioro en los empalmes, Reemplazar el aceite o grasa de los cojinetes o chumaceras, Verificar los lubricantes, estado de las conexiones de las botoneras , inspeccionar e interruptor principla, Efectuar prueba del motor : amperaje de arranque,temperaturas de operación de cojinetes y carcaza, ruisos y sumbidos	\$ 600		
2.2	Hora hombre (Electricista, ayudante)Hora hombre (Electricista, ayudante)		\$ 50	
	CostoTotal de mantenimiento con motor eléctrico			\$ 1300

5.4 Costos por consumo de energia

Se aprecia un Ahorro anual en costos por consumo de energia por cambio de sistema a PCP de **\$ 19,489.5**

ITEM	DESCRIPCIÓN DE COSTOS DE DIESEL 2 CON BOMBEO MECÁNICO CON MOTOR A COMBUSTIÓN	CANTIDAD (Gln)	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Galones usados por Pozo PA-31X por día	72	\$ 3,55	\$ 255,60
2	Galones usados por mes	2196	\$ 3,55	\$ 7.795,80
	Costo anual de diesel por unidades BM			\$ 93.549,60
ITEM	DESCRIPCIÓN DE COSTOS DE DIESEL 2 POR SISTEMA PCP CON MOTOR ELÉCTRICO	CANTIDAD (Gln)	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Galones usados por Pozo PA-31X por día	57	\$ 3,55	\$ 202,35
2	Galones usados por mes	1738,5	\$ 3,55	\$ 6.171,68
	Costo anual de diesel por unidades PCP			\$ 74.060,10

5.5 Costos por servicio de pozos

Se aprecia un Ahorro en costos por servicio de pozos por cambio de sistema a

PCP de **\$ 2889.40**

ITEM	DESCRIPCIÓN DE COSTOS POR SERVICIO DE POZOS SISTEMA BOMBEO MECÁNICO	COSTO POR DIA	PROMEDIO DE SERVICIO DE POZOS AL AÑO	NÚMERO DE DIAS POR SERVICIO DE POZO	PRECIO TOTAL
1	Costo horario de equipo Workover	\$ 276,85	3	6	\$ 1.661,10
2	Mano de obra: Cuadrilla de equipo Workover (11 obreros + 01 supervisor)				\$ 0,00
3	Combustible: D2 :144 Gal /dia + GAS 84: 10 Gal/dia	\$ 185,00	3	6	\$ 1.110,00
4	Mantenimiento	\$ 100,00	3	6	\$ 600,00
5	Alimentacion	\$ 160,50	3	6	\$ 963,00
Costo total por servicio de pozos					\$ 4.334,10

ITEM	DESCRIPCIÓN DE COSTOS POR SERVICIO DE POZOS SISTEMA PCP	COSTO POR DIA	PROMEDIO DE SERVICIO DE POZOS AL AÑO	NÚMERO DE DIAS POR SERVICIO DE POZO	PRECIO TOTAL
1	Costo horario de equipo Workover	\$ 276,85	1	2	\$ 553,70
2	Mano de obra: Cuadrilla de equipo Workover (11 obreros + 01 supervisor)				\$ 0,00
3	Combustible: D2 :144 Gal /dia + GAS 84: 10 Gal/dia	\$ 185,00	1	2	\$ 370,00
4	Mantenimiento	\$ 100,00	1	2	\$ 200,00
5	Alimentacion	\$ 160,50	1	2	\$ 321,00
Costo total por servicio de pozos					\$ 1.444,70

5.6 Tabla de costos operativos de los sistemas PCP vs Bombeo mecánico

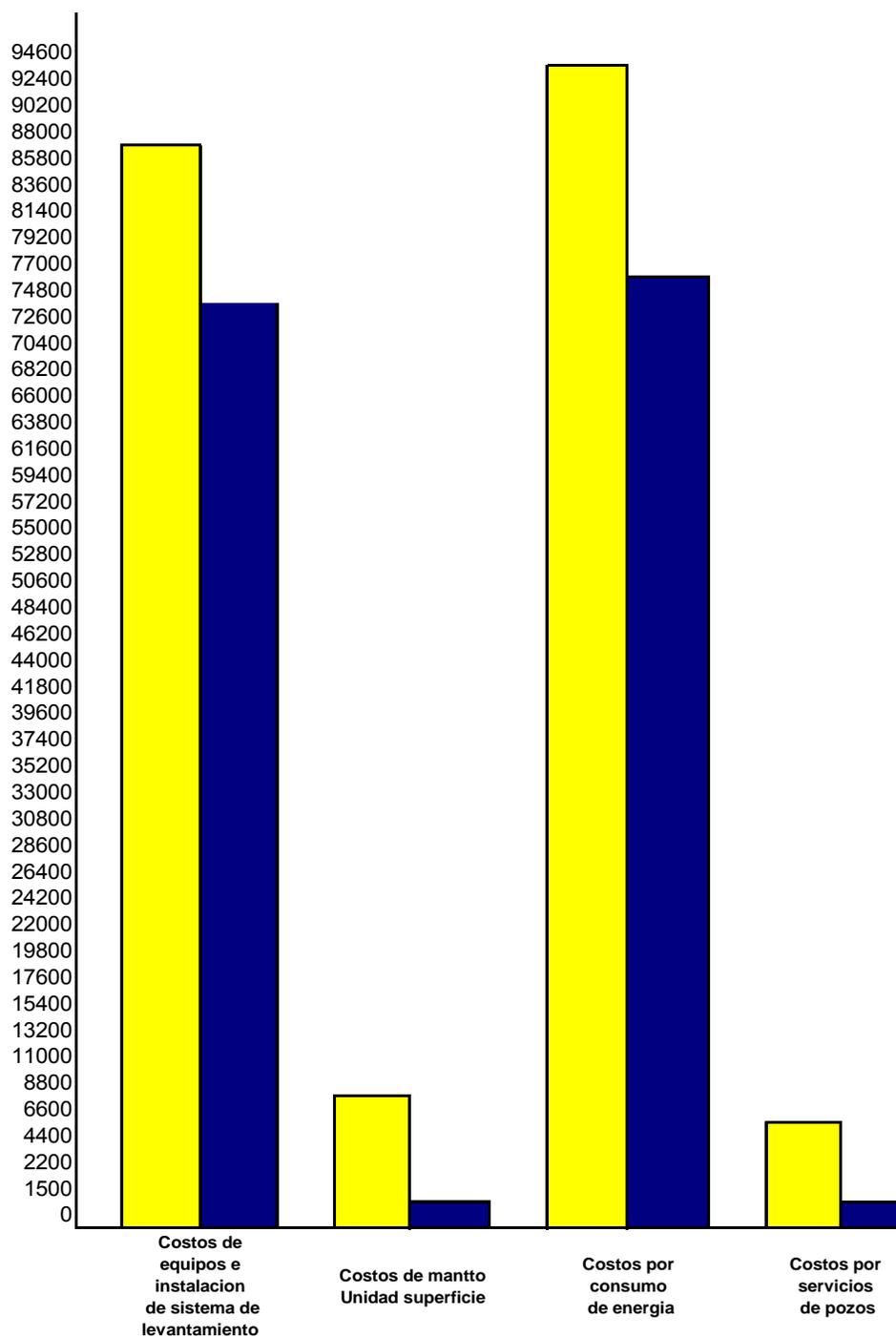
Indicadores de costos		Bombeo mecánico (\$)	sistema PCP (\$)	Ahorro por cambio de Sistema (\$)	Ahorro por cambio de Sistema
Costos de equipos e instalación de sistema de levantamiento		86578	73449	13129	15%
Costos de mantenimiento de Unidad en superficie	Costos unidad de superficie	3460	900	2560	64%
	Costos de mantenimiento de motor a combustión	2711	0	1411	
	Costos de mantenimiento de motor eléctrico	0	1300		
Costos por consumo de energía		93550	74060	19490	21%
Costos por servicios de pozos		4334	1445	2889	67%
Costos totales		190632	151153	39479	21%
Ahorro en costos a 01 año de operación por cambio de sistema levantamiento a PCP (\$)		39479			

El ahorro anual para operar el pozo PA-31X Vs. al sistema de bombeo mecánico

Ahorro en PCP vs BM con motor a combustión : \$ 39479 (21%)

5.7 Diagrama de costos Totales sistemas PCP Y Bombeo mecánico

COSTO \$



LEYENDA

- Bombeo Mecanico
- PCP

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- La curva de declinación de la producción de petróleo del pozo PA-31X (empleando el software SHAHARA) entre los periodos 1982-1988 y 2008 mostraron un incremento de las reservas de 9.54 MSTB a 55.25 MSTB, considerando un limite económico de 10bls y un incremento de reservas de 32.98 MSTB a 72.3 MSTB considerando un limite económico de 2bls.
- El ahorro anual por costos operativos en el Campo Pacaya por el cambio de sistema de levantamiento artificial es de \$ 39,479.00 que representa 21%.
- Con el cambio de sistema de levantamiento se logró un ahorro de energía de 50% , debido que el consumo de energía con sistema PCP es menor.
- Como consecuencia del ahorro de consumo de energía también tenemos un ahorro de combustible (diesel).
- Con el cambio de sistema de levantamiento se logró una disminución del 70% en los costos de transporte , debido que los componentes del sistema PCP son mas pequeñas.
- Con el cambio de sistema se logró una reducción de costos por gasto de mantenimiento comparada con el sistema EBM en un 65%.
- Actualmente el sistema PCP no requiere de un servicio de pozo por lo que está demostrando que el sistema tiene mayor tiempo de vida comparado con el sistema EBM.

- Con el sistema PCP se logró un mejor control del pozo para optimizar la producción, debido que es mas sencillo tomar niveles de fluido , presiones de cabeza , etc).
- El sistema PCP produce menos impacto ambiental por ruido comparado con sistema EBM , por lo tanto el sistema PCP es mas amigable ambientalmente y es mas seguro para el personal.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo al incremento de las reservas se recomienda continuar con el cambio del sistema PCP a todos los pozos del campo (PA-35, PA-37, PA-38).
- Se recomienda hacer los mantenimientos preventivos de los sistemas eléctricos para lograr un ahorro del 50% en energía y por lo tanto ahorrar el consumo de diesel.
- Se recomienda hacer el cambio de sistema de EBM por PCP por el ahorro significativo que representa el transporte de los equipos de superficie.
- Se recomienda usar varillas de 7/8” en el sistema PCP para evitar problemas en la capacidad de transmisión de torque requerido por la bomba, asi como los espaciados del rotor y ubicar bien los centralizadores para evitar colapsos al casing.
- Para los pozos de Pacaya se recomienda trabajar con sumergencia entre 50 a 100 pies debido a que los pozos son estables y con bajo GOR menor de 5%.

NOMENCLATURA

PCP: Pumping Cavity Progressive (Bombeo de cavidad progresiva)

BCP: Bombas de cavidad progresiva

EBM: Bombeo mecánico.

Swab: Operación preliminar de extracción de fluido en un pozo completado

Cabezal : Es un sistema en superficie que sirve para controlar el pozo

Vástago: Es el Varillón que se conecta al sistema de varillas

Sumergencia: Es el nivel de fluido sobre la bomba

RPM: Revoluciones por minuto.

Workover: Operación de reacondicionamiento realizados en pozos de petróleo

STB: Stock Tank Barrel (Barriles a condiciones de presión y temperatura en superficie)

BPD: Barriles por día.

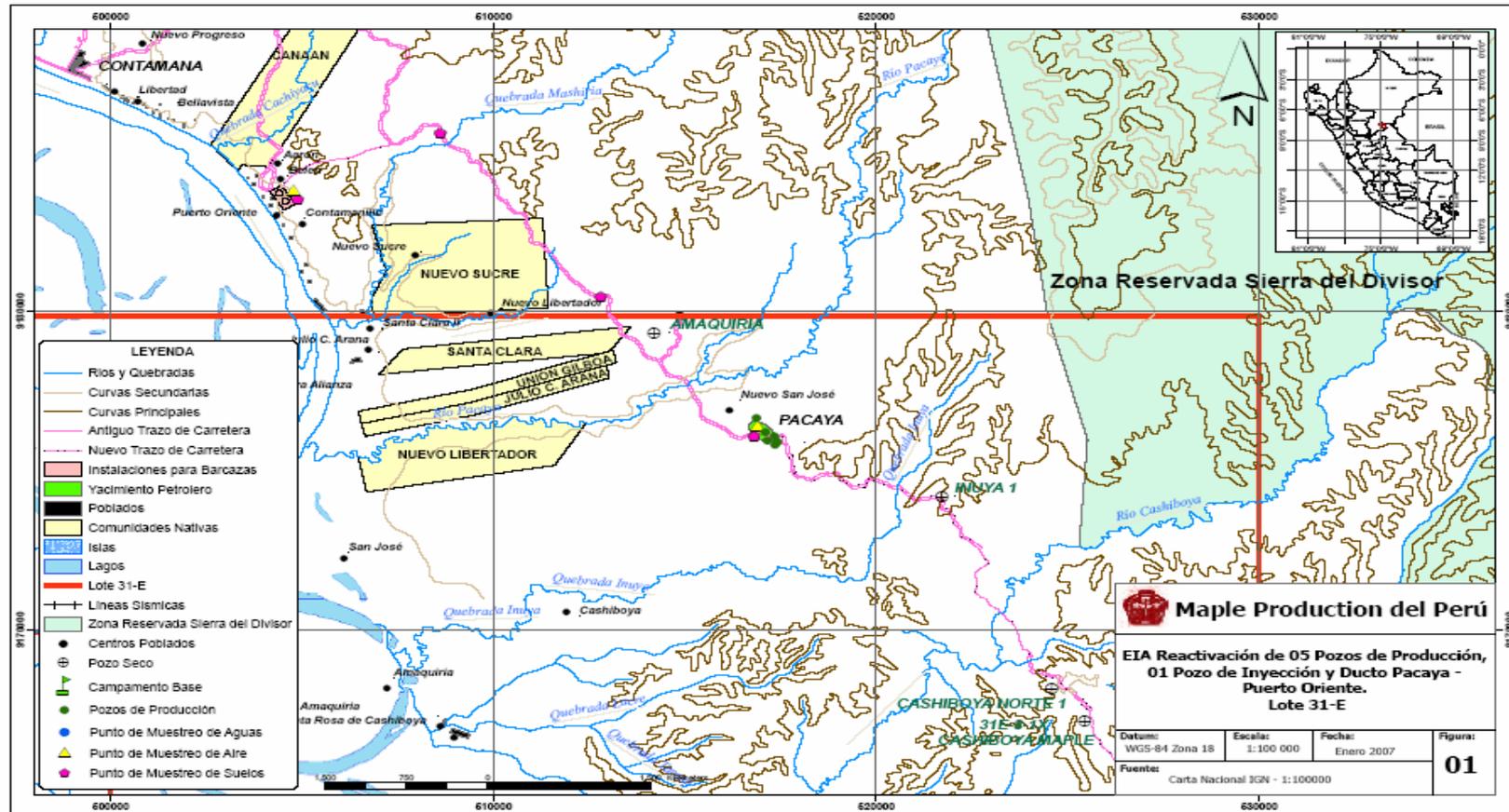
BOPD: Barriles de petróleo por día

BWPD: Barriles de agua por día

Zapato Probador: Niple de asiento

ANEXOS

01 Plano de la zona de Pacaya.



03. Tablas PCP Bombas NETZSCH- Simple Lóbulo

Bombas PCP NETZSCH - Singlelobe					
Modelo da Bomba	Modelo - Tipo Even Wall	Estator D.E.	Presion max. Diferencial	Caudal Nominal	Velocidad Maxima
		Medida Nominal [pulgadas]	[kgf/cm ²] - [psi]	[m ³ /d] - [bbl/d] en 100 rpm	[rpm]
ST0.2		1.66"	240 - 3413	0.2 - 1.3	500
ST0.8			240 - 3413	0.8 - 5	
ST1.1			240 - 3413	1.1 - 7	
ST1.6		2 3/8"	240 - 3413	1.6 - 10	500
ST3.2			240 - 3413	3.2 - 20	
ST4.0			240 - 3413	4.0 - 25	
ST6.2			240 - 3413	6.2 - 39	
ST6.4			240 - 3413	6.4 - 40	
ST4.0		2 7/8"	240 - 3413	4.0 - 25	500
ST7.0			240 - 3413	7.0 - 44	
ST10			240 - 3413	10 - 63	
	ST10		150 - 2134	10 - 63	
ST14			240 - 3413	14 - 88	500
ST16.4		3 1/2"	240 - 3413	16.4 - 103	
ST20			240 - 3413	20 - 126	
ST25			240 - 3413	25 - 157	
STS60			150 - 2134	60 - 377	500
ST33		4"	240 - 3413	33 - 208	
ST40			200 - 2845	40 - 252	
ST50			180 - 2560	50 - 314	
ST62			150 - 2134	62 - 390	
ST78			150 - 2134	78 - 491	
ST120				90 - 1280	120 - 755
ST40.2		4 1/2"	200 - 2845	40 - 252	
STS80			300 - 4267	80 - 504	
	ST98	5"	225 - 3200	98 - 617	350
ST98			210 - 2987	98 - 617	
ST145		5 1/2"	150 - 2134	145 - 912	
ST176			150 - 2134	176 - 1107	
ST330		6 5/8"	108 - 1566	330 - 2075	235

Bombas PCP NETZSCH - Multilobe					
Modelo da Bomba	Modelo - Tipo Even Wall	Estator D.E.	Presion max. Diferencial	Caudal Nominal	Velocidad Maxima
		Medida Nominal [pulgadas]	[kgf/cm ²] - [psi]	[m ³ /d] - [bbl/d] en 100 rpm	[rpm]
DT14		2 3/8"	200 - 2845	14 - 88	500
DIT14.6			200 - 2845	13 - 82	
DT16		2 7/8"	240 - 3413	16 - 101	500
DT20			240 - 3413	20 - 126	
DT25			240 - 3413	25 - 157	
DT32			200 - 2845	32 - 201	
DT33		3 1/2"	300 - 4267	33 - 208	400
DT40			200 - 2845	40 - 252	
	DT40		300 - 4267	40 - 252	
DT50		4"	240 - 3413	50 - 314	350
DT66			240 - 3413	66 - 415	
DT83			200 - 2845	83 - 522	
	DT83		200 - 2845	83 - 522	
DT110			150 - 2134	110 - 692	
DT142		4 1/2"	120 - 1707	142 - 893	260
DT74			240 - 3413	74 - 465	
DT150			150 - 2134	150 - 943	
DT138		5"	200 - 2845	138 - 868	215
DT170			180 - 2560	170 - 1069	
DT226			120 - 1707	226 - 1421	

04. Tabla PCP NETZSCH- de dimensiones simple Lóbulo

Diámetro Nominal	Modelo de la Bomba	Rotor					Estator						Tubing		Casing
		M [mm]	G [mm]	D [mm]	F [mm]	E Rosca API 11 B	L [mm]	B [mm]	A API 5 B	C [mm]	K [mm]	H [mm]	Min. Ø	Drift ø [mm]	Min. Ø Peso max.
166	NTZ 166*120ST0.2	1400	1285	25.0	27.7	3/4" para barra 1/2" o con cross over 15/16" para barra 5/8"	885	33.4	1.66" NUE	52.2 (3)	885	0	1.66" (3)	32.7	3.1/2" (2) 17.05 lb/ft
	NTZ 166*150ST0.2	1860	1745		1095		1095								
	NTZ 166*180ST0.2	2040	1925		1275		1275								
	NTZ 166*200ST0.2	2190	2075		1425		1425								
	NTZ 166*240ST0.2	2460	2345		1695		1695								
	NTZ 166*120ST0.8	1940	1825		1425		1855				350				
	NTZ 166*150ST0.8	2615	2500		1850		2530				600				
	NTZ 166*180ST0.8	2915	2800		2150		2830								
	NTZ 166*200ST0.8	3165	3050		2400		3080								
	NTZ 166*240ST0.8	3615	3500		2850		3530								
	NTZ 166*120ST1.1	2480	2365		1965		2395				350				
	NTZ 166*150ST1.1	3295	3180		2530		3210				600				
	NTZ 166*180ST1.1	3715	3600		2950		3630								
NTZ 166*200ST1.1	4135	4020	3370	4050											
NTZ 166*240ST1.1	4695	4580	3930	4610											
238	NTZ 238*120ST1.6	2220	2095	31.8	35.8	15/16" para barra 5/8"	1695	66.0	2.3/8" EUE o 2.3/8" NUE	77.8 (1) o 73 (2)	2161	350	1.9"	38.5	3.1/2" (2) 9.2 lb/ft
	NTZ 238*150ST1.6	3100	2975				2325				3041				
	NTZ 238*180ST1.6	3325	3200				2550				3266	600			
	NTZ 238*200ST1.6	3685	3560				2910				3626				
	NTZ 238*240ST1.6	4165	4040				3390				4106				
	NTZ 238*120ST3.2	2673	2548				2148				2614	350			
	NTZ 238*150ST3.2	3441	3316				2666				3382	600			
	NTZ 238*180ST3.2	3885	3760				3110				3826				
	NTZ 238*200ST3.2	4255	4130				3480				4196				
	NTZ 238*240ST3.2	4921	4796	4146	4862	350									
	NTZ 238*120ST4.0	3300	3175	2775	3241	600									
	NTZ 238*150ST4.0	4250	4125	3475	4191	600									
	NTZ 238*180ST4.0	4850	4725	4075	4791										
	NTZ 238*200ST4.0	5425	5300	4650	5366										
	NTZ 238*240ST4.0	6325	6200	5550	6266										
	NTZ 238*120ST6.2	4002	3877	3477	3943	350									
	NTZ 238*150ST6.2	5134	5009	4359	5075	600									
	NTZ 238*180ST6.2	5965	5840	5190	5906										
	NTZ 238*200ST6.2	6721	6596	5946	6662										
NTZ 238*240ST6.2	7729	7604	6954	7670											
278	NTZ 278*120ST4.0	3065	2905	38.1	44.2	1.1/16" para barra 3/4"	2505	78.6	2.7/8" EUE o 2.7/8" NUE	93 (1) o 88.9 (2)	2971	350	2.3/8"	45.0	4.1/2" (1) 11.6 lb/ft o 4.1/2" (2) 15.1 lb/ft
	NTZ 278*150ST4.0	3945	3785				3135				3851				
	NTZ 278*180ST4.0	4485	4325				3675				4391	600			
	NTZ 278*200ST4.0	4935	4775				4125				4841				
	NTZ 278*240ST4.0	5820	5660				5010				5726				
	NTZ 278*120ST7.0	3070	2910				2510				2976	350			
	NTZ 278*150ST7.0	3945	3785				3135				3851	600			
	NTZ 278*180ST7.0	4485	4325				3675				4391				
	NTZ 278*200ST7.0	4935	4775				4125				4841				
	NTZ 278*240ST7.0	5830	5670				5020				5736				
	NTZ 278*120ST10	3659	3499	3099	3565	350									
	NTU 278*150ST10	3909	3749	3099	3815	600									
	NTZ 278*150ST10	4693	4533	3883	4599										
	NTZ 278*180ST10	5365	5205	4555	5271										
	NTZ 278*200ST10	6112	5952	5302	6018										
	NTZ 278*240ST10	7008	6848	6198	6914										
	NTZ 278*120ST14	4685	4525	4125	4591		350								
	NTZ 278*150ST14	6060	5900	5250	5966		600								
	NTZ 278*180ST14	6960	6800	6150	6866										
	NTZ 278*200ST14	7860	7700	7050	7766										
NTZ 278*240ST14	9060	8900	8250	8966											

- (1) EU Estator
- (2) Slim Hole - NU Conexión
- (3) Primer tubing por encima de la bomba debe ser mínimo 1.9" si usa una barra de 5/8"
- (4) Primer tubing por encima de la bomba debe ser mínimo con el mismo diámetro nominal de la bomba (cuidar columna F)

05. Tabla PCP de espaciado de rotores de simple Lóbulo

Factor de Espaciado "k" - Simplelobulo Bombas											
NETZSCH Bombas PCF	Barras de Bombeo API										
	Modelos	5/8	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 1/2	PCPRod 1000	PCPRod 1500	PCPRod 2500
Factor Espaciado "k"											
NTZ 166*XX ST 0.2	0,000										
NTZ 166*XX ST 0.8	0,022										
NTZ 166*XX ST 1.1	0,021										
NTZ 238*XX ST 1.6	0,134	0,078	0,045								
NTZ 238*XX ST 3.2	0,101	0,055	0,028								
NTZ 238*XX ST 4.0	0,099	0,054	0,027								
NTZ 238*XX ST 6.2	0,154	0,092	0,055								
NTZ 278*XX ST 4.0	0,194	0,120	0,076								
NTZ 278*XX SIT 6.4	0,098	0,053	0,027								
NTZ 278*XX ST 7.0	0,217	0,136	0,088								
NTZ 278*XX ST 10	0,270	0,173	0,114								
NTU 278*XX ST 10	0,265	0,170	0,112								
NTZ 278*XX ST 14	0,278	0,178	0,118	0,079							
NTZ 350*XX ST 16.4	0,475	0,315	0,219	0,157	0,114	0,083	0,043	0,071	0,130	0,071	
NTZ 350*XX ST 20	0,491	0,327	0,227	0,163	0,119	0,087	0,046	0,075	0,136	0,075	
NTZ 350*XX ST 25	0,494	0,329	0,229	0,164	0,120	0,088	0,046	0,076	0,137	0,076	
NTZ 350*XX STS 60	0,580	0,388	0,273	0,198	0,146	0,109	0,061	0,095	0,166	0,095	
NTZ 400*XX ST 33		0,357	0,250	0,180	0,132	0,098	0,054	0,085	0,151	0,085	
NTZ 400*XX ST 40		0,385	0,270	0,196	0,145	0,108	0,060	0,094	0,164	0,094	
NTZ 400*XX ST 50		0,387	0,272	0,197	0,146	0,109	0,061	0,095	0,166	0,095	
NTZ 400*XX ST 62			0,272	0,197	0,146	0,109	0,061	0,095	0,166	0,095	
NTZ 400*XX ST 78			0,271	0,196	0,145	0,108	0,061	0,094	0,165	0,094	
NTZ 400*XX ST 120			0,266	0,193	0,142	0,106	0,059	0,092	0,162	0,092	
NTZ 450*XX STS 40.2			0,551	0,411	0,315	0,246	0,156	0,220	0,352	0,220	
NTZ 450*XX STS 80			0,431	0,319	0,242	0,187	0,115	0,166	0,272	0,166	
NTZ 500*XX STM 65			0,419	0,310	0,235	0,181	0,111	0,161	0,264	0,161	
NTU 500*XX ST 98			0,654	0,489	0,377	0,296	0,191	0,265	0,421	0,265	
NTZ 550*XX ST 98			0,670	0,501	0,386	0,304	0,196	0,272	0,431	0,272	
NTZ 500*XX STM 100			0,419	0,310	0,235	0,181	0,111	0,161	0,264	0,161	
NTZ 550*XX ST 145			0,651	0,488	0,375	0,295	0,190	0,264	0,419	0,264	
NTZ 550*XX ST 176			0,646	0,483	0,372	0,292	0,188	0,262	0,415	0,262	
NTZ 658*XX ST 330			1,162	0,878	0,684	0,545	0,364	0,492	0,760	0,492	

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Manual de bombeo de Cavidades progresivas por : Marcelo Hirschfeldt. Oil Production.net version 2008 VI.
- Manual de sistemas PCP de Netzsch Revision Octubre 2006.
- Progressing Cavity Pump Manual Weatherford general information Version 1.2.
- Manual del software de reservorios SHAHARA