

**FACTIBILIDAD DE USO DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE PARA
OPTIMIZAR LA PRODUCCION EN CAMPO VELASQUEZ.**

NELSON ALONSO PINTO VARGAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2011

**FACTIBILIDAD DE USO DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE PARA
OPTIMIZAR LA PRODUCCION EN CAMPO VELASQUEZ.**

NELSON ALONSO PINTO VARGAS

Trabajo para optar al título de Especialista en Producción de Hidrocarburos

Director

M.Sc. FERNANDO CALVETE

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2011

DEDICATORIA

A Martha, mi dedicada esposa e impulsadora en mi trabajo y a mis hijos Laura Margarita y Nelson David a quienes amo y con quienes construimos la felicidad.

A Georgina, mi bondadosa y hermosa madre, a las memorias de mí recordado padre Polidoro y de mi cálido hermano Jorge, a mis hermanos Jairo, Nohora, Alba luz y Marcela, los llevo en mi pensamiento y corazón.

Gracias a todos.

AGRADECIMIENTOS

El autor del presente trabajo se permite expresar sus agradecimientos a las siguientes personas:

Al equipo humano de la Escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander, pues su deseo de hacer crecer a la industria petrolera colombiana ha permitido la creación de grandes programas de posgrado que redundan en el bienestar del país.

A los docentes de la Especialización en Producción de Hidrocarburos por su esmero, dedicación y sapiencia, compartida con todo el cariño a sus estudiantes.

Al Ing. Fernando Calvete por su orientación en el planteamiento y la elaboración de este trabajo.

Al Ing. Luis José Abaunza por compartir su experiencia en la industria y aportar con sus recomendaciones a éste trabajo.

A Mónica, por su constante interés y paciencia para llevar feliz término el trabajo.

A mis amigos Carlos Alberto y Jairo Ernesto, colegas y testigos del trasegar diario.

Nelson Pinto Vargas

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	15
1. TEORIA DEL BOMBEO ELECTRO SUMERGIBLE	17
1.1 BOMBA ELECTROCENTRIFUGA MULTITETAPA	18
1.1.1 El Sello de Fondo	19
1.1.2 El Motor de Fondo	20
1.1.3 Cable del Sistema ESP.	22
1.1.4 Sensor de Fondo	22
1.2 EQUIPO DE SUPERFICIE	23
1.2.1 Variador de Superficie	23
1.2.2 Supresor de Picos –TVVS	24
1.2.3 Caja de Venteo en Superficie	25
1.2.4 Filtro Pasivo Tipo MATRIX.	26
2. DISEÑO DE EQUIPO ESP	28
2.1 PROPUESTA TECNICA	28
2.2 EQUIPO DE FONDO	28
2.2.1 Bomba	28
2.2.1.1 Tipo de Etapa	28
2.2.1.2 Housing de Bombas	29
2.2.1.3 Configuración de la Bomba.	29
2.2.1.4 Material de Ejes	29
2.2.2 Protectores	30
2.2.2.1 Configuración	30
2.2.2.2 Materiales	31

2.2.3 Intake	32
2.2.3.1 Materiales	33
2.2.4 Cabeza de Descarga	33
2.2.4.1 Construcción	34
2.2.5 Cable	34
2.2.5.1 Aislamiento	35
2.2.5.2 Size tamaño 06 / 5 KV	35
2.2.5.3 Barrera	35
2.2.6 Sensor	35
2.2.6.1 Equipo de Fondo	35
2.3 EQUIPO DE SUPERFICIE	37
2.3.1 Transformador Elevador SUT	37
2.3.2 Variador VSD	37
2.3.3 Sistema de Control Monitoreo	38
2.3.3.1 Datos del Sensor de Fondo	39
2.3.3.2 Datos Episódicos	39
3. DISEÑO EQUIPO DE FONDO	43
3.1 INDICE DE PRODUCTIVIDAD	43
3.1.1 Método de Vogel	44
3.1.2 Resultado de las simulaciones IP 0.91 bpd/psi.	46
3.1.2.1 Curvas de Desempeño de la Bomba IP 0.91 bpd/psi.	48
3.1.3 Resultado de las Simulaciones IP 1.13 bpd/psi.	50
3.1.3.1 Curvas de Desempeño de la Bomba IP 1.13 bpd/psi.	52
3.1.4 Resultado de las Simulaciones IP 0.68 bpd/psi.	54
3.1.4.1 Curvas de Desempeño de la Bomba IP .068 bpd/psi.	56
3.2 DESCRIPCION EQUIPO BES	58
4. PROPUESTA ECONOMICA PARA IMPLEMENTACION DEL BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE	60

4.1 PARAMETROS FINANCIEROS.	60
4.1.1 Valor Presente Neto, VPN.	60
4.1.2 Tasa Interna de Retorno, TIR.	61
4.1.3 Tiempo de recuperación de la Inversión o PAYBACK TIME.	62
4.1.3.1 Payback Simple	62
4.1.4 Flujo de Caja.	62
4.1.5 Inversión Neta o Inicial:	63
4.1.6 Costos:	63
4.1.7 Ingresos:	63
4.1.8 Depreciación:	63
4.1.9 Impuestos:	64
4.1.10 Amortización:	64
4.2 ANALISIS DE LA INVERSION	64
4.3 PROYECCION DE ESCENARIOS DE RENTABILIDAD PARA PILOTO BES.	67
4.4 TARIFA RENTA CON OPCION DE COMPRA	70
4.5 TARIFA VENTA CON PERIODO DE OPERACION	70
4.6 LEASING O COMPRA DIFERIDA	71
4.7 COMPRA DE EQUIPO	71
4.8 TARIFA DE SERVICIOS	72
4.8.1 Condiciones del Servicio	73
4.8.2 Precios de reparación de los Equipos y Componentes:	73
4.8.3 Tarifas de inspección y Pruebas de los Equipos y Componentes:	74
5. COMPARATIVO DEL BOMBEO POR CAVIDADES PROGRESIVAS CON EL BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE.	76
5.1 COMPLETAMIENTO ACTUAL DE UN POZO PCP CON SUS COSTOS.	77
5.2 COMPARATIVO ENTRE PCP Y BES	79
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema Bombeo Electro Sumergible	17
Figura 2. Bomba Electro Sumergible	18
Figura 3. Sello de fondo	19
Figura 4. Motor de Fondo	21
Figura 5. Diagrama unifilar de configuración de supresores de transientes	24
Figura 6. Impeler de flujo mixto	29
Figura 7. Zirconia Bushing	30
Figura 8. Laberinto Bolsa	31
Figura 9. Bronze Bearing (Upthrust Bearing)	32
Figura 10. Barrera del Cable	35
Figura 11. Presentación del Choke	36
Figura 12. Diagrama de transmisión de datos	39
Figura 13. Curva IPR	45
Figura 14. Curva de Inflow/Outflow: PI 0.91 bpd/psi	46
Figura 15. Curva multifrecuencia 30 Hz, 700 bpd, PIP 1670 psi.	49
Figura 16. Curva multifrecuencia 60 Hz, 175 bpd, PIP 196 psi	49
Figura 17. Curva de Inflow/Outflow: IP 1.13 bpd/psi	50
Figura 18. Curva multifrecuencia a 30 Hz, 800 bpd, PIP 1660 psi	53
Figura 19. Curva multifrecuencia a 60 Hz, 200bpd, PIP 533 psi	53
Figura 20. Curva de Inflow/Outflow: PI 0.68 bpd/psi	54
Figura 21. Curva Multifrecuencia a 30 Hz, 560bpd, PIP 1538 psi	57
Figura 22. Curva Multifrecuencia a 57 Hz, 1300 bpd, PIP 106 psi	57
Figura 23. Gráfico de Escenarios BFPD vs US\$	69

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros del Protector	31
Tabla 2. Parámetros del Down Thrust Bearing	32
Tabla 3. Parámetros del Intake	33
Tabla 4. Parámetros del Motor	34
Tabla 5. Comparativo de IP 0,91bpd/psi.	47
Tabla 6. Resultado de las simulaciones IP 1.13 bpd/psi.	51
Tabla 7. Resultado de las simulaciones IP 0.68 bpd/psi.	55
Tabla 8. Resultado Equipo BES propuesto para piloto.	58
Tabla 9. Resumen de equipo seleccionado	59
Tabla 10. Parámetros de diseño definitivos para el equipo propuesto	59
Tabla 11. Inversión inicial para piloto BES.	65
Tabla 12. Comparativo de índices financieros para proyecto piloto.	66
Tabla 13. Flujo de caja del piloto con cálculo de 2700 bls mensuales. BES	67
Tabla 14. Resultado análisis de costos por producción incremental del piloto BES	68
Tabla 15. Resumen de los escenarios económicos.	69
Tabla 16. Tarifa Renta	70
Tabla 17 Tarifa Venta con Periodo de Operación	70
Tabla 18. Tarifa Leasing o compra diferida	71
Tabla 19. Tarifa Compra de equipo	71
Tabla 20. Tarifa de Servicios	72
Tabla 21. Tarifas Inspección y equipos	75
Tabla 22. Resultado Completamiento y costos de sistema actual PCP	78
Tabla 23. Comparación General entre sistemas PCP y BES	80
Tabla 24. Comparación parámetros de operación entre sistemas PCP y BES.	80

RESUMEN

Título: “FACTIBILIDAD DE USO DE BOMBEO ELECTRO SUMERGIBLE PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCION EN CAMPO VELASQUEZ”

Autor: NELSON ALONSO PINTO VARGAS**

Palabras claves: Bombeo Electro sumergible, crudo, diseño bomba, índice de productividad, Valor presente Neto

Descripción:

El campo Velásquez dentro de las diferentes etapas de su vida productiva por más de 50 años, ha disminuido su potencial de producción por pérdida de energía del yacimiento, su tasa histórica de declinación es del 7.4% anual. Hasta hace cinco años el tipo de bombeo que había predominado fue Bombeo Mecánico, luego se inicio la instalación de Bombeo PCP a la fecha. Dado que la producción diferida por servicios de varillero en pozos de alto potencial ha venido creciendo en uso de PCP y como alternativa paralela a las soluciones que se den para PCP, se ha formulado la propuesta de realizar un piloto con Bombeo Electro Sumergible (BES) de un pozo con alto corte de agua, alto nivel de fluido dinámico y producciones superiores a 500 Bfpd que existen en Campo. Además de que cumpla adecuadamente para manejo de producción de arena y haciendo un pronóstico de Producción deseada de Qt: >900 Bfpd y Qoil: >540 bls, lo cual no se está obteniendo actualmente con ningún pozo.

Este estudio busca determinar la viabilidad de realizar un piloto de Bombeo Electro Sumergible para el Campo Velásquez, basado en el índice de productividad a través de una propuesta técnica, para el análisis económico se determinó por los indicadores financieros de Valor Presente Neto VPN y la Tasa Interna de retorno TIR, que determine la posibilidad de instalar el primer equipo BES en un pozo seleccionado y así poder tener la posibilidad de implementarlo según su viabilidad de costos y requerimientos, comparándolo con el Bombeo por Cavidades Progresivas ya existente.

* Monografía de Especialización

** Ingeniero de Petróleos. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Especialización en Producción de Hidrocarburos. Director: Ing. Fernando Calvete, M.Sc.

SUMMARY

Title: "FEASIBILITY OF USE OF PUMP SUBMERSIBLE TO OPTIMIZE PRODUCTION THE FIELD VELASQUEZ"^{*}

Author: NELSON ALONSO PINTO VARGAS^{**}

Special Words: Pumping Submersible, oil, design pump, index production, and internal rate of return.

Description:

Velasquez field within the different stages of their productive life for over 50 years, has reduced its production capacity, loss of energy of the field, its historical rate for decline is 4.7% year. Until five years ago pumping rate that had prevailed was mechanical pumping, and then starts the installation of pumping PCP do date. Since production rod sucker deferred service in high potential wells has been increasing use of PCP and a parallel alternative to the solutions are given for PCP, has made a proposal to conduct a pilot with Electrical Submersible Pump, ESP, a well with water cut, high dynamic fluid level and fluid exceeding 500 BFPD there Field. In addition to properly fulfill handling sand and making a forecast of production desired production more 900 BFPD and oil production more 540 BOPD, which is not currently any are getting well.

This study seeks to determine the feasibility of conducting a pilot electrical submersible pump for the field, based on the rate productivity through a technical proposal for the economic analysis was determined by the financial indicators of the Net Present Value NVP and the Internal Rate of Return, determine by the ability to install the BES first equipment in a well selected and well to be able to implement it according to feasibility and cost requirements as technical's and cost compared to the Progressive Pump existing right now.

^{*} Monograph

^{**} Petroleum Engineer. Physiochemical Engineering Faculty. Hydrocarbon Production Specialization. Director: Eng. Fernando Calvete, M.Sc.

INTRODUCCION

En Campo Velásquez dado que existen pozos con condiciones para implementar el sistema de levantamiento de Bombeo Electro sumergible (BES), se ha considerado la factibilidad para realizar un pozo piloto, con lo que se busca realizar su implementación para evaluar el incremento de producción, así generar resultados operativos que puedan optimizar la producción, y comparar con los costos que se dan con respecto al bombeo por Cavidades Progresivas utilizadas actualmente.

Para el primer capítulo se hace una descripción técnica del funcionamiento de los sistemas BES para determinar cuáles son las condiciones de pozo que requiere para ser usada. El método de levantamiento artificial por Bombeo Electro Sumergible (BES) tiene como principio fundamental levantar el fluido del reservorio hasta la superficie, mediante la rotación centrífuga de la bomba electro sumergible. La potencia requerida por dicha bomba es suministrada por un motor eléctrico que se encuentra ubicado en el fondo del pozo; la corriente eléctrica, necesaria para el funcionamiento de dicho motor, es suministrada desde la superficie, y conducida a través del cable de potencia hasta el motor. El Sistema BES representa uno de los métodos de levantamiento artificial más automatizables y fácil de mejorar, y está constituido por equipos complejos y de alto costo, por lo que se requiere, para el buen funcionamiento de los mismos, de la aplicación de herramientas efectivas para su supervisión, análisis y control.

En el capítulo dos se realiza la propuesta técnica dada la selección del equipo tanto de fondo como de superficie, determinando de manera minuciosa la conformación del equipo requerido por materiales, cantidades y especificaciones que ofrecen las empresas especializadas en el tema.

En el capítulo tres para el diseño se determina un Índice de Productividad (IP) que es un indicador de la capacidad o habilidad para producir fluido de un pozo y relaciona el caudal con la caída de presión. Para nuestro caso como la P_{wf} es menor que la presión de burbuja P_b , entonces se utiliza la definición de Inflow Performance Relationship (IPR) desarrollada por Vogel. Se realizan unas corridas para determinar con cual curva de diseño de bomba se comporta mejor según el IP determinado.

En el capítulo cuatro se hace el análisis económico para un equipo BES, teniendo en cuenta elementos financieros como VPN y el TIR con respecto a la producción esperada con el pozo piloto. Se realiza una proyección de escenarios económicos para la viabilidad del piloto, se muestran las diferentes opciones comerciales para escoger cual se ajusta en costos para la toma de decisión.

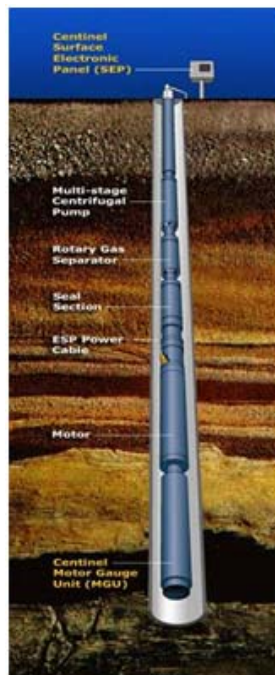
En el capítulo cinco se realiza una presentación operativa y de costos del actual sistema de cavidades progresivas PCP y se realiza una comparación con el nuevo sistema BES que es el fin último del presente trabajo para su factibilidad de implementación como el primer piloto de este tipo en Campo Velásquez.

1. TEORIA DEL BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE¹

El Bombeo Electro Sumergible es un sistema integrado de levantamiento artificial, considerado como un medio económico y efectivo para producir altos volúmenes de fluido desde grandes profundidades en una variedad de condiciones de pozo.

Es muy aplicable en yacimientos con altos volúmenes de fluido, altos porcentajes de agua y baja relación gas - petróleo; sin embargo, en la actualidad estos equipos han obtenido excelentes resultados en la producción de fluidos de alta viscosidad, en pozos gasíferos, en pozos con fluidos abrasivos, en pozos de altas temperaturas y de diámetro reducido.

Figura 1. Sistema Bombeo Electro sumergible



Fuente: Tomada de Internet, www.centrliftpump.com

¹ SUBMERSIBLE PUMP HANDBOOK, Centrlift, eighth edition, Oklahoma, 2008.

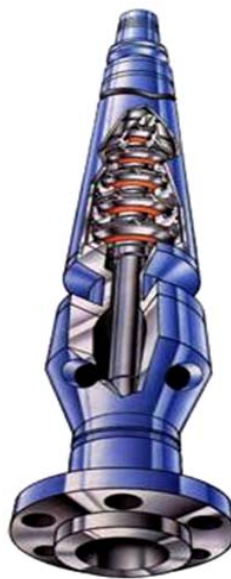
Los componentes del sistema de bombeo electro sumergible pueden ser clasificados en dos partes, el equipo de fondo y el equipo de superficie. El equipo de fondo, cuelga de la tubería de producción y cumple la función de levantar la columna de fluido necesaria para que el pozo produzca, consiste principalmente de un motor eléctrico, un sello, un separador de gas y una bomba electro centrífuga.

Un cable de potencia transmite la energía eléctrica desde la boca de pozo hasta el motor. El tablero o variador de frecuencia de superficie provee de energía eléctrica al motor electro sumergible y controla su funcionamiento.

1.1 BOMBA ELECTROCENTRIFUGA MULTITETAPA

La bomba Centrifuga ver fig. 2 está diseñada para producir un amplio rango de volúmenes de fluido con un bajo costo operativo y baja inversión inicial.

Figura 2. Bomba Electro Sumergible



Fuente: Tomada de Internet, www.centrlift pump.com.co

La bomba centrífuga trabaja por medio de la transferencia de energía del impulsor al fluido, desplazándolo como si fuera un acelerador de partículas, usando para ello la fuerza centrífuga.

La misma esta compuesta por etapas, el número de etapas de la bomba depende de la cantidad de columna que hay que vencer para colocar la producción en el tanque de superficie. Cada etapa consiste de un impulsor conectado al eje y su difusor correspondiente, el cual dirige el fluido a la siguiente etapa. Los impulsores pueden desplazarse por el eje (tipo flotante) o estar soportados axialmente al eje (bomba de impulsor fijo, a veces llamado “de compresión”). Los difusores se colocan a presión (para evitar su giro) en el alojamiento de la bomba y son comprimidos entre la base y el cabezal.

1.1.1 El Sello de Fondo

La sección sellante está ubicada entre la parte inferior de la bomba y la superior del motor, puede ser instalado como una unidad simple o como una unidad en tandem.

Figura 3. Sello de fondo



Fuente: Tomada de Internet, www.centrilift-pump.com.co

El sello está diseñando para proteger al motor por medio de cuatro funciones básicas, las cuales son:

- Formar una barrera que aísla físicamente el aceite del motor del fluido de pozo.
- Proveer el volumen necesario para permitir la expansión del aceite dieléctrico contenido en el motor.
- Ecuilizar la presión externa del fondo de pozo con el fluido dieléctrico interno del motor.
- Absorber el empuje axial descendente de la bomba.

Adicionalmente, para proteger aún más al motor de la contaminación por los fluidos del pozo se utiliza un Sello Mecánico Premium (PFS) en la parte superior de cada uno de los cuerpos, el cual evitará al máximo el paso de los fluidos abrasivos del pozo a través del eje.

1.1.2 El Motor de Fondo

Las características más destacadas y del motor, son las siguientes:

Al alambre magnético del devanado lleva un recubrimiento doble de Kapton, el cual está protegido por una cubierta de un tipo de Teflón que tiene capacidad para soportar temperaturas de hasta 350°F.

El encapsulamiento epóxico utilizado para recubrir el devanado se mezcla con un material no-metálico para incrementar su conductividad térmica (aprox. 4 veces la conductividad térmica del aceite y 300 veces la conductividad térmica de la combinación barniz - aceite tradicional). Su límite de temperatura de uso es de 350°F, para ello se aplica por un procedimiento combinado de vacío y presión lográndose un encapsulamiento totalmente homogéneo.

Cojinetes individuales de los rotores de diseño patentado (en combinación con los anillos tipo “T”). Cada cojinete de aleación Nitralloy gira sobre un buje de bronce SAE 660 fijado al eje del motor por medio de una chaveta especial. Además de los cojinetes de cada rotor, el motor posee dos cojinetes adicionales, uno en cada extremo.

Los anillos de perfil “T”, que evitan que giren los cojinetes de soporte de los rotores, sin que se restrinja el movimiento axial requerido por la expansión térmica del eje y el conjunto de rotores dentro de la carcasa, están hechos de EPDM, material que tiene una temperatura límite de utilización que se halla por encima de 350°F en estas funciones.

El cojinete de empuje empleado en el motor (cada cuerpo) y que está diseñado para soportar el peso del tren de rotores, es también especificado para soportar altas temperaturas y opera en un baño del mismo tipo de aceite del motor.

Figura 4. Motor de Fondo



Fuente: Tomada de Internet, www.centrlift pump.com.co

1.1.3 Cable del Sistema ESP.

El cable del sistema de bombeo eléctrico sumergible es el estándar de la industria por confiabilidad y durabilidad en condiciones muy complejas de fondo de pozo.

El cable es la mejor opción para condiciones extremas en fondo de pozo, caracterizado por un aislante especial de goma EPDM resistente al crudo para mayor fuerza dieléctrica y excelente resistencia a la descompresión.

El cable de extensión del motor es tipo estándar, para altas temperaturas y máxima protección química (recubrimiento de plomo).

Este tipo de cable de extensión del motor o (MLE) fue desarrollado para soportar más temperatura y mayor voltaje que el tipo moldeado. El MLE fue diseñado para sellar y proteger el motor del fluido del pozo durante la vida operativa de la unidad.

1.1.4 Sensor de Fondo

Los servicios de monitoreo y automatización tienen un propósito: brindar a los operadores una visión de la información requerida para optimizar la producción y extender la vida útil del equipo. El sistema de sensor de fondo de pozo provee datos críticos sobre la presión de entrada de la bomba, presión de descarga de la bomba, temperatura de entrada de los fluidos, temperatura de bobinado del rotor y vibración, todos éstos dirigidos a incrementar la vida útil y mejorar el desempeño del sistema ESP.

La temperatura del motor afecta la operación ya que es un elemento crítico en el funcionamiento y vida útil óptima. Condiciones de pozo tales como baja producción, alto contenido de gas, alta viscosidad; acumulación de escala, y el uso de chaquetas, puede reducir el enfriamiento del motor lo cual deteriora su

funcionamiento y su vida útil, permite conocer el comportamiento del equipo en TIEMPO REAL.

1.2 EQUIPO DE SUPERFICIE

1.2.1 Variador de Superficie

El variador de frecuencia está clasificado como un inversor de voltaje variable (VVI en inglés), y con onda de salida sinusoidal PWM filtrada.

Usa un rectificador controlado por silicio (SCR en inglés) de seis pulsos para convertir energía de CA en energía de CC de voltaje variable o fijo. Se pueden configurar “drives” o impulsores con convertidores de mayor número de pulsos (identificados como impulsores de 12 o 18 pulsos) donde se requiera reducción armónica con transformadores desfasadores y/o filtros para armónicos, siendo la última configuración la que proponemos para la presente oferta.

El convertor o convertidores pueden operar por medio de control de fase para controlar el voltaje del Bus DC, (VVI), o disparando los SCR's en el punto máximo de la onda para operar como diodo y voltaje fijo en el Bus DC, (modo FPWM); el variador GCS es el único variador en el mercado que opera en cualquiera de las dos formas (VVI o FPWM) y puede cambiar de modo, en caso de que el filtro deje de operar, sin apagar el variador reduciendo pérdidas.

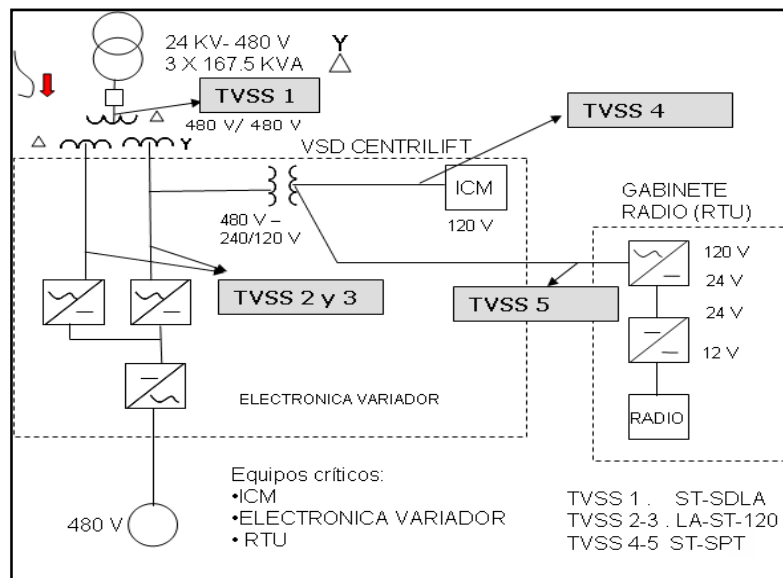
Se usan inductores y capacitores en serie a través del Bus de DC para filtrar la fluctuación de CA. El inversor usa seis transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) de energía para sintetizar un voltaje de salida trifásico cuasi sinusoidal usando el algoritmo de inversión Select Wave™ de Centrilift o tecnología PWM para la fabricación de una onda sinusoidal la cual es corregida por un filtro FPWM

para entregar al equipo de fondo una onda de voltaje completamente limpia. Este moderno inversor de voltaje variable de CA está diseñado para satisfacer todos los requerimientos de instalaciones que precisen una fuente de frecuencia variable. Opera directamente a partir de energía trifásica de 50/60 Hertz de 380 a 480 VCA.

1.2.2 Supresor de Picos –TVSS

Como protección contra sobre voltajes y sobre corrientes, se propone instalar el siguiente sistema de protección eléctrico compuesto por TVSS conexión tipo cascada.

Figura 5. Diagrama unifilar de configuración de supresores de transientes



Fuente: Tomada de FLOREZ.²

² FLOREZ, Camilo. Diseño y configuración de equipos BES. Backer Hughes. 2010

Descripción de componentes:

TVSS 1: (Supresor en Breaker principal) Supresor de transientes SineTamer Modelo ST-SDLA, unidad en paralelo, para 180KA de descarga. F-F-F-T 480 VAC
TVSS 2 y 3 (Supresor en entrada del variador) Supresor de transientes SineTamer Modelo LA-ST-120, unidad en paralelo, para 120KA de descarga. F-F-F-T 440 VAC

TVSS 4 y 5 (Supresor para picos de control) Supresor de transientes SineTamer Modelo ST-SPT-120-15, unidad en paralelo, para 20KA de descarga. F-N-T 110 VAC

1.2.3 Caja de Venteo en Superficie

La caja de conexiones, algunas veces llamado Caja de Venteo, realiza tres funciones:

- Proporcionar un punto para conectar el cable proveniente del controlador al cable del pozo.
- Proporcionar un desfogue a la atmósfera para el gas que pueda migrar por el cable de potencia desde el fondo.
- Proporcionar puntos de prueba fácilmente accesibles para la revisión eléctrica de los equipos de fondo.

La caja de venteo esta diseñada para un voltaje nominal de 5000 voltios y 3 fases. El gabinete esta catalogado como NEMA 3R. Los conectores podrán soportar dos cables cada uno 6 – 300 MCM. El voltaje de interrupción es de 55.2 KV. El esfuerzo máximo soportado es de 3000 lb, y el esfuerzo a la tensión es de 2500 lb. Se puede instalar un agujero respirador en el fondo y se puede proveer con chapas de aluminio o latón.

La distribución de la energía eléctrica en los campos petroleros se realiza generalmente a voltajes intermedios, tal como 6,000 voltios o más. Debido a que el equipo ESP funciona con voltajes entre 250 y 4000 voltios, es por ello que se requiere la transformación del voltaje de distribución.

Los transformadores se proveen generalmente en una configuración de tres máquinas monofásicas o en una máquina trifásica. Estos transformadores son unidades llenas de aceite, auto-refrigerables y son poco comunes del punto de vista de que contienen un número considerable de derivaciones en el secundario que permiten un amplio rango de voltajes de salida. Este amplio rango de voltajes es necesario para poder ajustar el voltaje requerido en la superficie para una variedad de posibilidades de caídas de voltaje en el cable que ocurren debido a las diferentes profundidades en las cuales se instala el sistema ESP.

El uso de este transformador también aplica en caso de que se utilice generador de energía en lugar de red de distribución eléctrica.

1.2.4 Filtro Pasivo Tipo MATRIX.

La teoría de funcionamiento está basada en tecnología pasiva de tipo pasa bajos, lo cual representa una alta confiabilidad. Su función es limitar al 8% como máximo a un 30% de carga y un 3% de desbalance de tensión en la red y 5% THD a plena carga la distorsión de corrientes armónicas.

Este tipo de filtro pasivo tipo Matrix no requiere un estudio de armónicos detallado para su instalación ya que su selección se realiza con base al porcentaje deseado de la unidad y corriente consumida y permite el trabajo como opcional con control de factor de potencia por baja carga.

Características:

- Estos filtros utilizan tecnología pasiva confiable para el filtrado

- Es un filtro de armónicas pasa bajas (filtra todas las frecuencias)
- Solución de bajo costo para las armónicas
- Tamaño compacto con relajación a otras alternativas
- Aseguran un desempeño garantizado.
- Eliminan la necesidad de largos análisis del sistema
- Va conectado en serie con las cargas no lineales
- No atrae las armónicas de otras fuentes que las generan
- Diseño modular
- Limita al 5% de THD modelo estándar
- Los paneles se pueden montar en gabinetes estándar y en CCM
- Por ser una impedancia protege el puente rectificador del Variador
- Construcción con sistema de aislamiento clase H.

2. DISEÑO DE EQUIPO ESP

2.1 PROPUESTA TECNICA

Dada la condición de ofertas de fabricantes se ha seleccionado para el diseño el equipo con mayor flexibilidad y disponibilidad ofrecido por la empresa Schlumberger Sureenco.

Se ha seleccionado tres pozos con cortes de agua por encima del 50 %, V-166, V-246 y V-266, la información se da para el pozo V-266, por ser el que ofrece las mejores condiciones necesarias para un sistema BES.

2.2 EQUIPO DE FONDO

2.2.1 Bomba

2.2.1.1 Tipo de Etapa: De acuerdo al volumen que se desea producir en el pozo se propone el siguiente tipo de etapa: D1750N y DN1800.

Este tipo de etapa fue elegido para que de acuerdo al caudal solicitado, se trabaja en su rango de aplicación recomendable, es decir en el rango de máxima eficiencia.

El diseño de esta etapa, etapa de flujo mixto entre el Mixed-FlowDiffuser y Mixed-Flow Impeller con material Ni-Resist, es la ideal para el manejo de sólidos y gas.

Figura 6. Impeler de flujo mixto



Fuente: Gómez, Álvaro, Proyectos pilotos esp. Reda production Systems, 2010. Pág. 4

2.2.1.2 Housing de Bombas La metalurgia utilizada en el housing de la bomba es del tipo CS (Carbon Steel).

2.2.1.3 Configuración de la Bomba. La bomba propuesta es del tipo compresora CR (Compression Ring) en esta bomba se transfiere el downthrust del contacto bearing/diffuser al bearing del protector, esta cualidad trae aparejado las siguientes ventajas:

- Operable para caudales menores a la tasa de flujo de operación recomendada.
- Operable en condiciones de pobre lubricación, como alto contenido de gas.
- Operable en presencia de abrasivos.

La construcción de la bomba es de tipo ARZ (Abrasives Resistant Zirconia), lo cual hace la bomba ideal para trabajar en ambientes con sólidos.

2.2.1.4 Material de Ejes Considerando la carga a la que será sometida esta bomba, se requiere un eje de material High Strength Monel.

2.2.1.4.1 Material del Bearing En los equipos propuestos la combinación del material del sleeve (buje dinámico) y el material del bushing (buje estático) para las bombas es ZZ (Zirconio/Zirconio) es decir tanto sleeve como bushing son de zirconio.

Figura 7. Zirconia Bushing



Fuente: Gómez, Álvaro, Proyectos pilotos esp. Reda production Systems, 2010. Pág. 5

2.2.2 Protectores

Se propone un protector LSBP.

2.2.2.1 Configuración La descripción del protector es la siguiente: o LSBPB (Laberinto --- Serie --- Bolsa ---Paralelo --- Bolsa). Este es un protector de cuatro cámaras y dos sellos mecánicos.

Figura 8. Laberinto Bolsa



Fuente: Gómez, Álvaro, Proyectos pilotos esp. Reda production Systems, 2010. Pag. 6

2.2.2.2 Materiales

- Metalurgia: Este material es el mismo que para la bomba, CS (Carbon Steel)
- Elastómeros: Las bolsas, orings y sellos son de material ALF (aflas)
- Eje, ver tabla 1

Tabla 1. Parámetros del Protector

Equipo	Diámetro de Eje (Pulg)	Material	Características	60 Hz Shaft Rating (Hp)
Protector	0.87	HS Monel	Standard	316

Fuente: WCP, Artificial Lift, REDA, Schlumberger

2.2.2.2.1 Down Thrust Bearing (HL) La principal función del protector es soportar la carga generada en downthrust por el equipo ESP por lo tanto es fundamental tener un Down Thrust Bearing de alta carga. HL High Load 10700 350

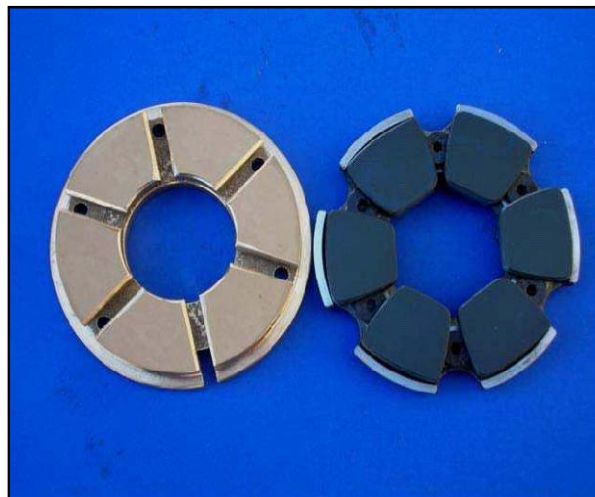
Tabla 2. Parámetros del Down Thrust Bearing

Dwon Thrust Bering	Característica	Max Carga (Lbs)	Max Temp (F)
HL	High Load	10700	350

Fuente: WCP, Artificial Lift, REDA, Schlumberger

2.2.2.2 Upthrust Bearing (NTB) Para absorber los esfuerzos en Upthrust como la expansión térmica.

Figura 9. Bronze Bearing (Upthrust Bearing)



Fuente: Gómez, Álvaro, Proyectos pilotos esp. Reda production Systems, 2010. Pag. 4

Bronze Bearing (Upthrust Bearing) - High-Load Thrust Bearing (Downthrust Bearing)

2.2.3 Intake

Selecciona el modelo DRS 400/400 como en el pozo presenta una alta entrada de gas a la bomba es necesario implementar un separador de gas dinámico, el cual imprime energía dinámica al fluido separando la fase líquida de la gaseosa.

2.2.3.1 Materiales

- Metalurgia: Al igual que la bomba el housing es Redalloy.
- Eje, ver tabla 3

Tabla 3. Parámetros del Intake

Equipo	Díámetro del Eje (in)	Material	Característica	60 Hz Shaft Rating (Hp)
Intake	0.87	HS Monel	Standar	316

Fuente: WCP, Artificial Lift, REDA, Schlumberger

2.2.3.1.1 Tipo de Etapa: Este tipo de equipos solo se maneja etapas axiales, las cuales son encargadas de imprimir energía cinética a la mezcla para realizar la separación de las dos fases.

2.2.3.1.2 Material del Bearing En el DRS propuesto la combinación del material del sleeve (bujes dinámico) y el material del bushing (bujes estático es ZZ (Zirconio/Zirconio)).

2.2.4 Cabeza de Descarga

Teniendo en cuenta la serie de la bomba propuesta se propone la siguiente cabeza de descarga SERIE 400/400.

La cabeza de descarga es CS (Carbon Steel) y la conexión es 3.50 OD 8RD EUE.

El motor propuesto en el diseño depende de la potencia requerida por la bomba, en este caso se utilizará el siguiente motor Motor 72 HP/1805V/25.5 A --- Serie 456

2.2.4.1 Construcción. El diseño de estos motores es de inducción, bipolar, trifásicos y jaula de ardilla.

2.2.4.1.1 Material o Metalurgia: Los motores propuestos son de material CS (Carbon Steel)

- Los motores utilizados en cada uno de los diseños son serie 562 del tipo DOMINATOR, ésta tecnología mejora el rendimiento eléctrico del motor para una carga mecánica solicitada. Cuando realizamos el de “rate” de un motor lo que básicamente se hace es ajustar el voltaje al punto de rendimiento eléctrico óptimo, reduciendo el consumo de potencia eléctrica Motor 1.12 4130 (Alloy Steel) High Strength
- Eje, ver tabla 4

Tabla 4. Parámetros del Motor

Equipo	Diametro del Eje (plug)	Material	Característica
Motor	1.12	4130 (alloy Steel)	High Strength

Fuente: WCP, Artificial Lift, REDA, Schlumberger

- Máxima Temperatura; La máxima temperatura interna del motor es de 400 °F, el material utilizado como aislante en el bobinado para alcanzar esta temperatura es un material sin barniz.

2.2.5 Cable

Las características del cable propuesto son las siguientes:

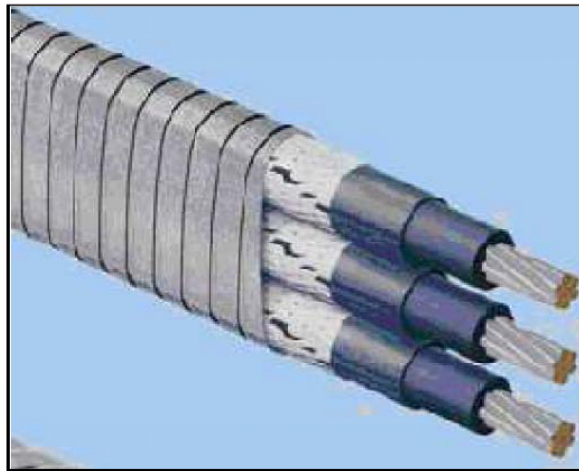
2.2.5.1 Aislamiento: El tipo de aislamiento de este cable es EL, este material se caracteriza por su alta resistencia a la temperatura.

2.2.5.2 Size: tamaño 06 / 5 KV

2.2.5.3 Barrera: Este cable tiene la ventaja de poseer una barrera de provee un muy buen aislamiento en condiciones donde el pozo presente presencia de gas.

El cable será entregado en carrete metálico con la capacidad requerida de acuerdo a la profundidad de cada pozo.

Figura 10. Barrera del Cable



Fuente: Gómez, Álvaro., Proyectos pilotos esp. Reda production Systems, 2010. Pág. 10

2.2.6 Sensor

2.2.6.1 Equipo de Fondo Para la corrida de estos pozos se propone el sensor “TIPO 1”, Phoenix XT-1 Sensor, este sensor tiene la virtud de registrar los siguientes parámetros:

- Presión de Intake

- Presión de Descarga
- Temperatura de Intake
- Temperatura de Motor
- Vibración
- Fugas de Corriente Activa y Pasiva

2.2.6.1.1 Equipo de Superficie o Lector de Datos UNICONN, la función del lector es comunicarse con el equipo de fondo, suministra la potencia de alimentación al Sensor y calcula los parámetros medidos a partir de un flujo continuo de datos basado en una señal de corriente modulada. Muestra, almacena y transmite información.

2.2.6.1.2 Choke El choke es usado para aislar al lector del alto voltaje AC utilizado en la alimentación del equipo a través del cable de potencia, y a su vez permite la alimentación del equipo enviando un voltaje de señal DC de 120V. El choke tiene integrado unos fusibles de protección que aíslan el sistema cuando se presenta una falla a tierra. A continuación se presenta una foto del choke

Figura 11. Presentación del Choke



Fuente: Gómez, Álvaro, Proyectos pilotos esp. Reda production Systems, 2010. Pág. 13

La adquisición de datos se realiza mediante la utilización del software StarView.

2.3 EQUIPO DE SUPERFICIE

2.3.1 Transformador Elevador SUT

Se propone transformador elevador de potencia ABB sumergido en aceite, con cambiador de tomas sin cargas, frecuencia variable entre 30 y 90 Hz, con todos los accesorios y elementos requeridos. Estos equipos son fabricados en la planta de ABB Colombia. TRANSFORMER STEP UP ABB, 100KVA, 480/600-2591 V 30-90HZ.

Los transformadores suministrados deben con las normas NEMA, ANSI, IEC e ICONTEC, ISO en las diferentes etapas de diseño, fabricación y pruebas.

2.3.2 Variador VSD

Modelo SPEEDSTAR SWD VSD:S7+, 200KVA, N3R, 6P, UNICONN

Variador de frecuencia VARISTAR SWD VSD, es un dispositivo completamente digital, con modulación PWM (Pulse With Modulated Flux Vector), diseñado especialmente para uso en bombeo electro sumergible, sistemas de bombeo horizontal y bombas de cavidad progresiva. Combinando la última tecnología de inversor a transistores IGBT, con un modelo matemático probado del sistema electro sumergible, el VARISTAR SWD VSD de 6 pulsos, produce una onda de salida de forma casi sinusoidal reduciendo los armónicos, lo cual asegura mejor desempeño y mayor confiabilidad en el equipo de fondo.

El VSD utiliza una interface (Uniconn), que permite una fácil configuración y operación. La pantalla muestra continuamente las condiciones de operación y los mensajes de error originados por el sistema, facilitando el diagnóstico.

La operación del equipo puede configurarse según tres parámetros: Frecuencia, corriente y presión, dependiendo de las necesidades específicas de cada aplicación. Además se almacena un registro histórico y de datos, permitiendo un seguimiento del desempeño del VSD y del equipo de fondo. El UniConn entrega al usuario mensajes específicos dependiendo del error generado, eliminando la necesidad de interpretar códigos de error.

2.3.3 Sistema de Control Monitoreo

El monitoreo y diagnóstico de los sistemas ESP, se ha desarrollado tradicionalmente utilizando los datos de corriente del motor graficados en cartas amperimétricas o se ha manejado reactivamente como parte de un sistema SCADA.

Una nueva y mejor alternativa, habilitada por avances en información tecnológica, se basa en el uso combinado de los parámetros del pozo y del equipo ESP: voltaje, corriente e instrumentación adicional (presión, temperatura, vibración) medidos en tiempo real y entregados "a tiempo" en forma de alarmas/alertas y reportes para supervisión y diagnóstico no solo del equipo de bombeo electro sumergible sino también del yacimiento.

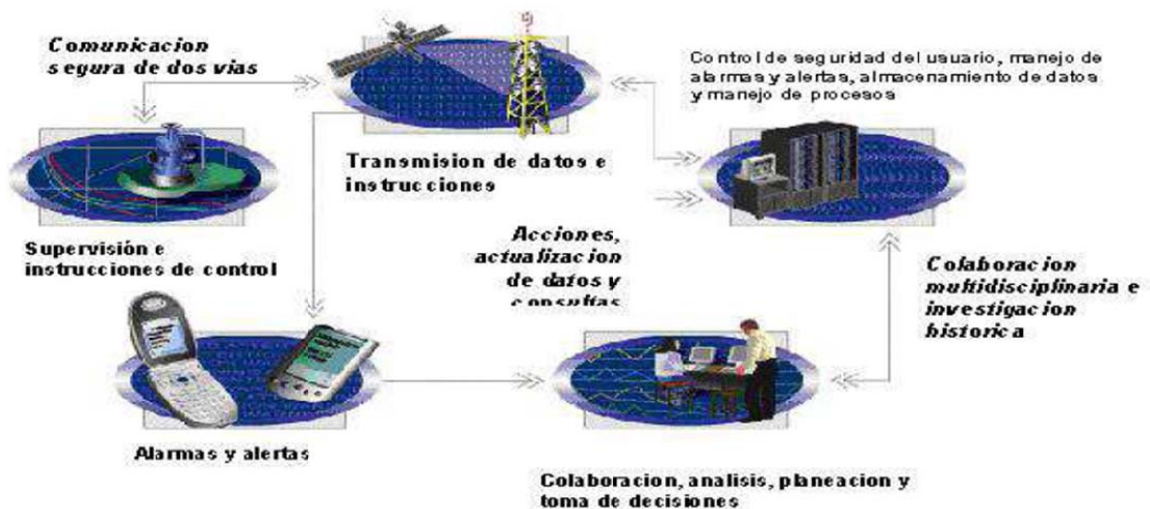
El Servicio Avanzado de Levantamiento (ALS) busca la optimización del Sistema de Levantamiento Artificial y del Yacimiento para obtener la mayor producción de aceite, basados en la siguiente información:

2.3.3.1 Datos del Sensor de Fondo: Presión de entrada a la bomba, Temperatura de motor, Temperatura de entrada a la bomba, Vibración, entre otros.

2.3.3.2 Datos Episódicos: como Caudal de fluido, Corte de agua, datos PVT. Datos del equipo de subsuelo, como tipo de motor, bomba, protectores y otros.

El medio de adquisición de datos, comunicaron y vigilancia es el Sistema LiftWatcher de Schlumberger. Una vez la información es recolectada en tiempo real por nuestro servicio de LiftWatcher, ésta es evaluada y analizada por el Production Center of Excellence para Sur América que es un Grupo Multidisciplinario de Expertos dedicados a la optimización de producción e Incremento del valor del reservorio mediante mediciones en Tiempo Real. LiftWatcher - Interface & Medio de Transmisión de Datos LiftWatcher es la plataforma que nos permite monitorear y vigilar sus pozos tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 12. Diagrama de transmisión de datos



Fuente: Gómez, Álvaro, Proyectos pilotos esp. Reda production Systems, 2010. Pág. 18

Las principales características de LiftWatcher son:

- Acceso a toda la información a través de Internet, utilizando un navegador
- Convencional.
- Instrucciones de supervisión y control a través de comunicación segura de dos vías.
- Alarmas y alertas, configuración, acceso de usuario y adquisición de datos.
- Control de seguridad de usuario, manejo de alarmas y alertas, almacenamiento de datos y manejo de procesos.
- Análisis, planeación y toma de decisiones a través de colaboración
- multidisciplinaria y evaluación histórico.

Esto se habilita a través de monitoreo en tiempo real y entrega de datos - InterACT- y asegura su óptimo desempeño con ESP Schlumberger variadores de velocidad y sistema de monitoreo Multisensor Phoenix.

LiftWatcher es un sistema de fin a fin, iniciando con la internase RTU en la locación del pozo, provee alertas y alarmas basados en las tendencias establecidas, entrega de datos, desarrollo de cálculos y actividades de soporte diagnóstico y finalmente permitiendo el control del usuario autorizado a través de la Internet. El sistema Schlumberger InterACT provee acceso seguro.

En la locación del pozo, el nuevo o existente controlador de la bomba y otras interfaces de sensores en superficie van a la caja de comunicaciones (SCB). La SCB contiene un radio satelital y un procesador de comunicaciones capaz de conectarse a varias RTU y controlar los variadores de frecuencia.

Los datos son transferidos por un sistema remoto dentro de Schlumberger, con Internet a través del sistema InterACT. El control remoto también está disponible.

La pantalla de LiftWatcher para el usuario final y la aplicación en Internet permite monitorear y controlar el pozo desde cualquier lugar en el mundo. Solo se requiere un buscador web y una conexión a Internet. Con un simple clic sobre los botones en pantalla y seleccionando del menú desplegado, se puede fácilmente tener acceso a los puntos de monitoreo y control.

Los niveles de acceso para operar y monitorear desde el sistema LiftWatcher dependen de los permisos del Usuario, que se establecen de acuerdo al cliente.

Beneficios:

- Incrementar vida de la bomba y el pozo
- Extender la vida de la bomba
- Reducir intervenciones a pozo
- Priorizar trabajos a pozo
- Mejorar operación de la bomba
- Optimizar producción
- Reducir las visitas al pozo

La Administración Costo-Efectiva de la Instalación y mantenimiento del equipo de Fondo Schlumberger cuenta con una Sala de Control donde todos los pozos con LiftWatcher son monitoreados y controlados siete días a la semana, 365 días al año.

Protocolo de Comunicación ModBus El protocolo de comunicación Modbus es la herramienta de comunicación más popular en la industria con una gran base de instalaciones, por años ha sido la selección número uno para los sistemas integradores y para los usuarios finales dado su confiabilidad y simplicidad. La comunicación en base al concepto Modbus continúa liderando el protocolo en la Industria de automatización e instrumentación.

Modbus es un protocolo de comunicación serial usado por controles programables de diferentes fabricantes en el mercado de automatización industrial. Schlumberger es una de las compañías que fabrica sus propias herramientas seriales que aplican Modbus.

El maestro puede direccionar de manera individual a los esclavos y los esclavos regresan el mensaje (llamado "respuesta") a las preguntas que son direccionadas a los esclavos individualmente.

La pregunta consta de la dirección de la herramienta, Código de Función, Dato del Campo.

3. DISEÑO EQUIPO DE FONDO

Cuando se decide cambiar un sistema de levantamiento, se debe realizar previamente los cálculos de cambio de tasa de producción a los que se espera llegar con el sistema BES, conocer características mecánicas del completamiento, presiones del yacimiento, corte de agua éste se ha diseñado para fluidos incompresibles, y como se sabe el petróleo sí es compresible, más aun cuando está acompañado de gas.

Respecto al equipo BES, se debe seleccionar tipo de bomba, protectores, motor, cable y los equipos de superficie.

3.1 INDICE DE PRODUCTIVIDAD

La relación entre la tasa de un pozo y el abatimiento o disminución de la presión para producir esta tasa en particular se denomina índice de productividad y se simboliza con la letra J. Si la producción q está en bl/ día de líquido a condiciones de almacenamiento y al abatimiento esta expresado en psi, el IP se define como:

$$J = \frac{q}{P_s - P_{wf}}, \left[\frac{\text{bl}}{\text{día}} \text{psi} \right]$$

Ecuación 1.

Donde:

q : producción del pozo

P_s : presión estática del pozo

P_{wf} : presión de fondo fluyendo

En un momento particular de la vida el yacimiento P_s tiene un valor específico, por lo que es constante, por lo tanto, al graficar P_{wf} contra q se obtiene una línea recta, este comportamiento de la formación, es decir a la reacción de la formación a un abatimiento de presión en el pozo, es lo que se llama IPR (Inflow Performance Relationship).³

En la Predicción del IPR en yacimientos con empuje de gas, la forma de la curva de presión contra la tasa de producción en un momento determinado, es decir, en cual etapa particular de la extracción y la manera en que el IPR decrece a medida que continúa la producción.

3.1.1 Método de Vogel

Vogel (1968) desarrolló una ecuación empírica para la forma de IPR de un pozo productor en un yacimiento con empuje por gas disuelto, en el cual la presión media del yacimiento es menor que la presión en el punto de burbuja⁴

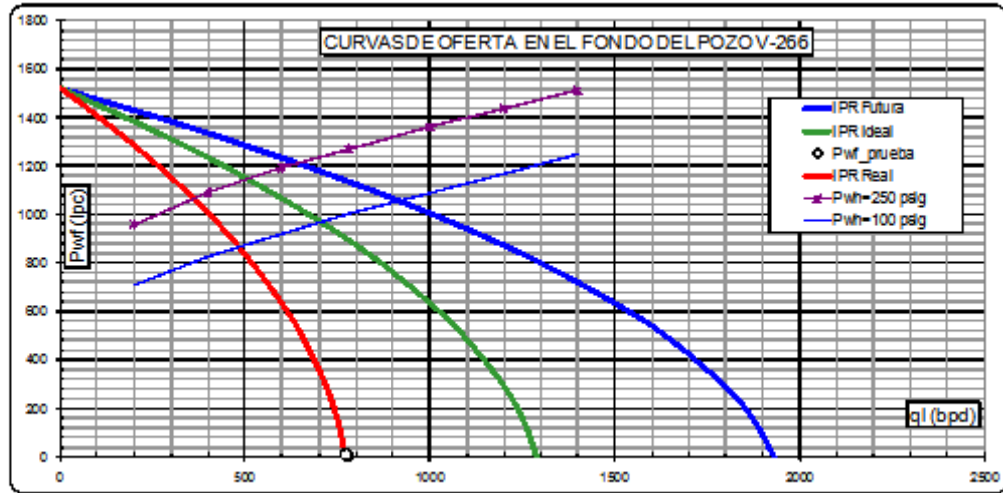
$$\frac{q}{q'} = 1 - 0,2 \left(\frac{P_{wf}}{P} \right) - \left(\frac{P_{wf}}{P} \right)^2 \quad \text{Ecuación 2.}$$

Siendo P , la presión media del yacimiento

³ SANTOS, Nicolás. Variables de producción. Notas de clase, Especialización en producción de hidrocarburos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2009

⁴ Ibid., pág. 48

Figura 13. Curva IPR



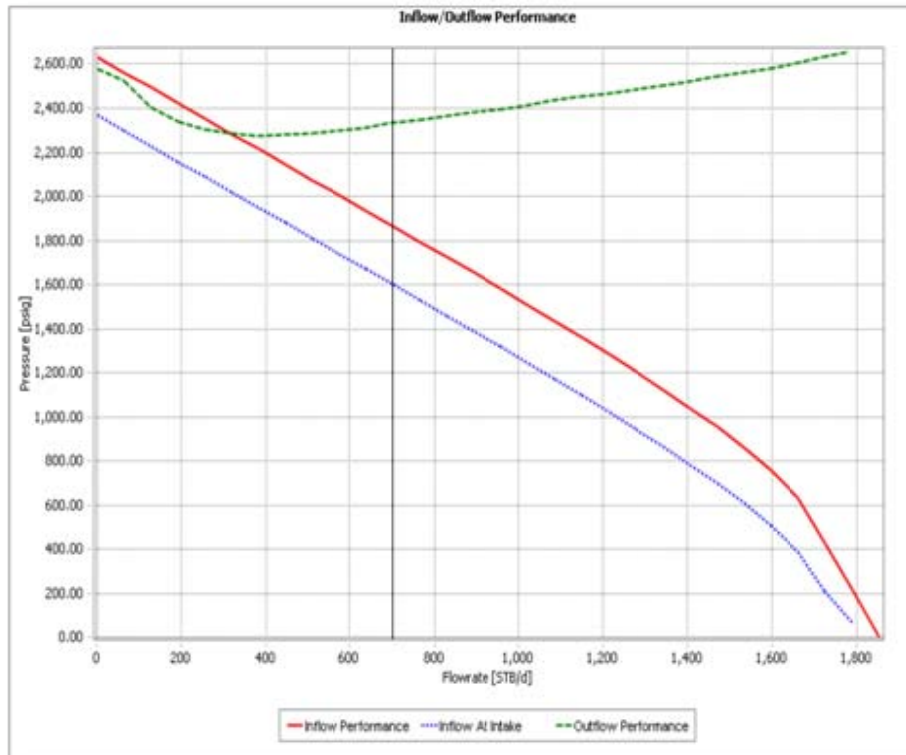
Fuente: Autor

Para efectos de la simulación se consideró variaciones de más o menos el veinticinco por ciento (25%) del valor base de la IP igual a 0.91 bpd/psi. Para efectos de generar un buen rango en las corridas, para poder determinar la escogencia del equipo, según los resultados.

La presión de burbuja es de 1800 psi, profundidad de asentamiento de la bomba 4500 ft, rango de producción deseado 666 bpd a 1000 bpd, presión estática 1520 psi, se usa Modelo IPR Vogel, GOR 203, % BSW. 83%, tubería de 2 7/8", en casing de 7".

3.1.2 Resultado de las simulaciones IP 0.91 bpd/psi.

Figura 14. Curva de Inflow/Outflow: PI 0.91 bpd/psi



Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

El pozo fluye naturalmente aportando en superficie aproximadamente 300 bpd.

Para obtener una producción de 700 bpd en superficie es necesario mantener la presión del Intake alrededor de 1670 psi.

Para una producción de 1950 bpd en superficie la presión del Intake debe de estar alrededor de 190 psi.

A continuación se presentan los resultados de las simulaciones para las dos condiciones de IP 0.91 bpd/psi:

Tabla 5. Comparativo de IP 0,91bpd/psi.

IP	IP 0.91 Máximo	IP 0.91 Mínimo
Wellbore	Wellbore	Wellbore
Tubing Bottom MD	4500 ft	4500 ft
Wellhead Pressure	50 psig	50 psig
Wellhead Temperature	90 °f	90 °F
Bottomhole Temperature	140 °F	140 °F
Fluids	Fluids	Fluids
Oil Gravity	20 °API	20 °API
Water Spec. Gravity	1,05	1,05
Water Cut	73 %	73%
GOR	226 SCF/STB	226 SCF/STB
GLR	61.02 SCF/STB	61.02 SCF/STB
Inflow	Inflow	Inflow
Method	Vogel Watercut	Vogel Watercut
PI	PI	PI
Static Bottomhole Pressure	2633 psig	2633 psig
Test Pressure	1832 psig	1832 psig
Test Flowrate	732 STB/d	732 STB/d
Pumping Condition	Pumping Condition	Pumping Condition
Intake Depth	4500 ft	4500 ft
Design Rate	1750 STB/d	700 STB/d
Operation Rate	1729.8 STB/d	700.5 STB/d
Total Rate	2158.2 bbl/d	729.52 bbl/d
Liquid Rate	1769.65 bbl/d	727.49 bbl/d
Gas Rate into Pump	137.92 bbl/d	0 bbl/d
Inlet Gas Volume Fraction	18%	0,28%
Gas Volume Fraction at Intake	42,26%	0,92%
Total Dynamic Head	5279.39 ft	1541.04 ft
Fluid Level over Pump	448.75 ft	3701.25 ft
Intake Pressure	196.1 psig	1602.5 psig
Discharge Pressure	2636.6 psig	2333.6 psig
Operating Frequency	60 Hz	30 Hz
Pump Information	Pump Information	Pump Information
Type REDA	400 DN1800	REDA 400 DN1800
Operation Speed	3421.4 RPM	1710.7 RPM
Required Power	92.3 hp	11.6 hp
Pump Efficiency	74,59%	70,68%
Number of Stages	297	297
Motor Information	Motor Information	Motor Information

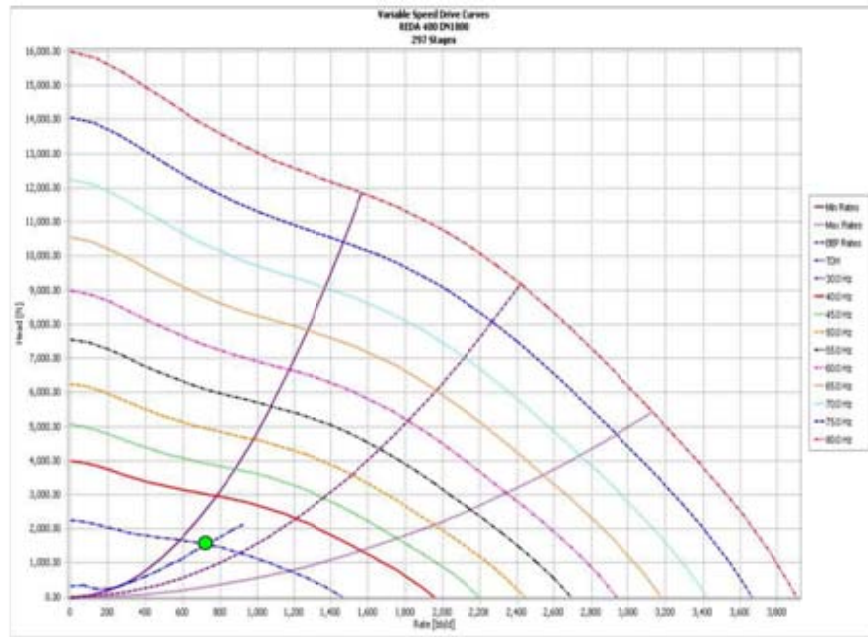
IP	IP 0.91 Máximo	IP 0.91 Mínimo
Type	<i>Dominator 456</i>	<i>Dominator 456</i>
Motor Horse Power	<i>168 hp</i>	<i>168 hp</i>
Motor Speed	<i>3421.4 RPM</i>	<i>1710.7 RPM</i>
Motor Amperage	<i>34.2 Amps</i>	<i>38 Amps</i>
Motor Voltage	<i>2228.4 Volts</i>	<i>1114.2 Volts</i>
Total Motor Load	<i>102.3 hp</i>	<i>12.9 hp</i>
Load Factor	<i>60,88%</i>	<i>15,41%</i>
Efficiency	<i>85,47%</i>	<i>58,83%</i>
Heat Rise	<i>Heat Rise</i>	<i>Heat Rise</i>
Fluid Temperature At Intake	<i>135.34 °F</i>	<i>135.35 °F</i>
Skin Temperature Rise	<i>27.06 °F</i>	<i>19.49 °F</i>
Average Winding Temperature	<i>32.79 °F</i>	<i>22.64 °F</i>
Rise over Skin		
Total Winding Temperature	<i>195.19 °F</i>	<i>177.48 °F</i>
VSD without Load Filter	<i>5.57 °F</i>	<i>3.85 °F</i>
Electrical Information		
Surface Voltage	<i>2390.3 Volts</i>	<i>1293.3 Volts</i>
Required kVA	<i>kVA 141.61</i>	<i>85,11</i>

Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

Los diseños se realizaron de acuerdo al índice de productividad 0,91 y presión estática, por tal motivo los caudales en superficie se diseñaron ajustados al AOF del pozo y después del punto de flujo natural.

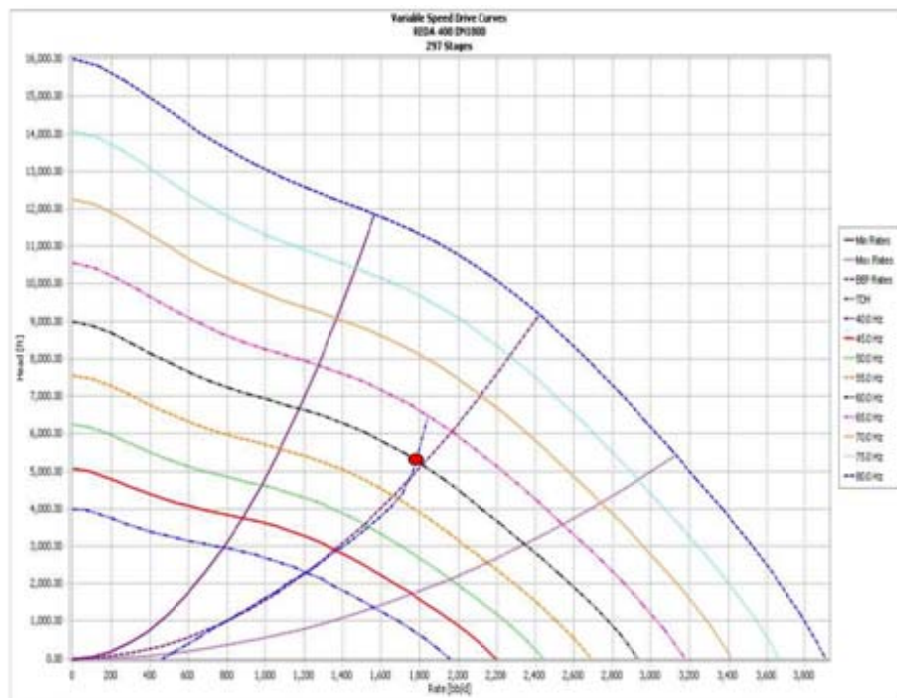
3.1.2.1 Curvas de Desempeño de la Bomba IP 0.91 bpd/psi. Resultados a frecuencia de operación de 30 Hz y 60 Hz con Índice de productividad de IP 0.91 bpd/psi, BS&W 73%.

Figura 15. Curva Multifrecuencia 30 Hz, 700 bpd, PIP 1670 psi.



Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

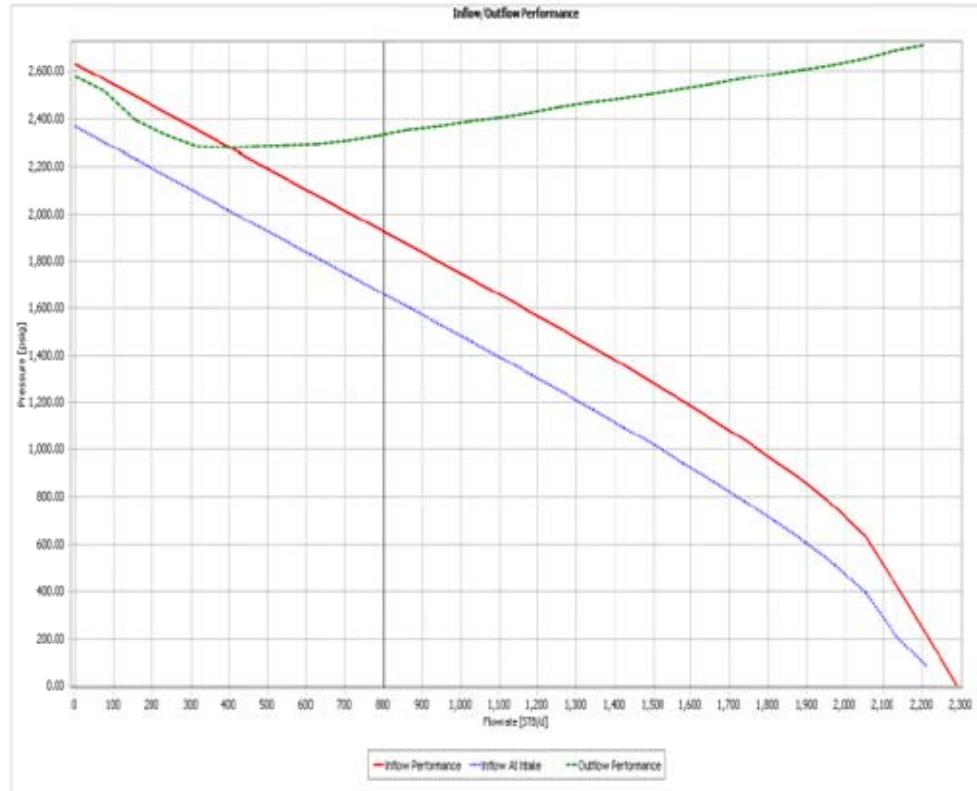
Figura 16. Curva Multifrecuencia 60 Hz, 175 bpd, PIP 196 psi



Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

3.1.3 Resultado de las Simulaciones IP 1.13 bpd/psi.

Figura 17. Curva de Inflow/Outflow: IP 1.13 bpd/psi



Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

El pozo fluye naturalmente aportando en superficie aproximadamente 400 bpd.

Para obtener una producción de 800 bpd en superficie es necesario mantener la presión del Intake alrededor de 1650 psi.

Para una producción de 1950 bpd en superficie la presión del Intake debe de estar alrededor de 533 psi.

A continuación se presentan los resultados de las simulaciones para las dos condiciones de IP 1.13 bpd/psi:

Tabla 6. Resultado de las Simulaciones IP 1.13 bpd/psi.

IP	IP 1.13 Máximo	IP 1.13 Mínimo
Wellbore	Wellbore	Wellbore
Tubing Bottom MD	4500 ft	4500 ft
Wellhead Pressure	50 psig	50 psig
Wellhead Temperature	90 °f	90 °F
Bottomhole Temperature	140 °F	140 °F
Fluids	Fluids	Fluids
Oil Gravity	20 °API	20 °API
Water Spec. Gravity	1,05	1,05
Water Cut	73 %	73%
GOR	226 SCF/STB	226 SCF/STB
GLR	61.02 SCF/STB	61.02 SCF/STB
Inflow	Inflow	Inflow
Method	Vogel Watercut	Vogel Watercut
PI	PI	PI
Static Bottomhole Pressure	2633 psig	2633 psig
Test Pressure	1985 psig	1985 psig
Test Flowrate	732 STB/d	732 STB/d
Pumping Condition	Pumping Condition	Pumping Condition
Intake Depth	4500 ft	4500 ft
Design Rate	1950 STB/d	800 STB/d
Operation Rate	1957.1 STB/d	800.8 STB/d
Total Rate	2136.42 bbl/d	833.66 bbl/d
Liquid Rate	2009.06 bbl/d	2009.06 bbl/d
Gas Rate into Pump	50.78 bbl/d	0 bbl/d
Inlet Gas Volume Fraction	5,96%	0,19%
Gas Volume Fraction at Intake	17,44%	0,62%
Total Dynamic Head	4443.49 ft	1410.71 ft
Fluid Level over Pump	1229.94 ft	3834.11 ft
Intake Pressure	533.9 psig	1659.9 psig
Discharge Pressure	2624.2 psig	2328.2 psig
Operating Frequency	60 Hz	30 Hz
Pump Information	Pump Information	Pump Information
Type REDA	REDA 400 DN1800	400 DN1800
Operation Speed	3421.4 RPM	1710.7 RPM

IP	IP 1.13 Máximo	IP 1.13 Mínimo
Required Power	89.7 hp	11.6 hp
Pump Efficiency	73,14%	73,87%
Number of Stages	297	297
Motor Information	Motor Information	Motor Information
Type	Dominator 456	Dominator 456
Motor Horse Power	168 hp	168 hp
Motor Speed	3421.4 RPM	3421.4 RPM
Motor Amperage	33.9 Amps	33.9 Amps
Motor Voltage	2228.4 Volts	1114.2 Volts
Total Motor Load	100.6 hp	13 hp
Load Factor	59,86%	15,47%
Efficiency	85,44%	58,97%
Heat Rise	Heat Rise	Heat Rise
Fluid Temperature At Intake	135.35 °F	135.35 °F
Skin Temperature Rise	23.61 °F	18.22 °F
Average Winding Temperature	32.79 °F	22.64 °F
Rise over Skin		
Total Winding Temperature	191.08 °F	176.21 °F
VSD without Load Filter	5.46 °F	3.85 °F
Electrical Information	Electrical Information	Electrical Information
Surface Voltage	2388.7 Volts	1292.4 Volts
Required kVA	kVA 140.22	kVA 84.67

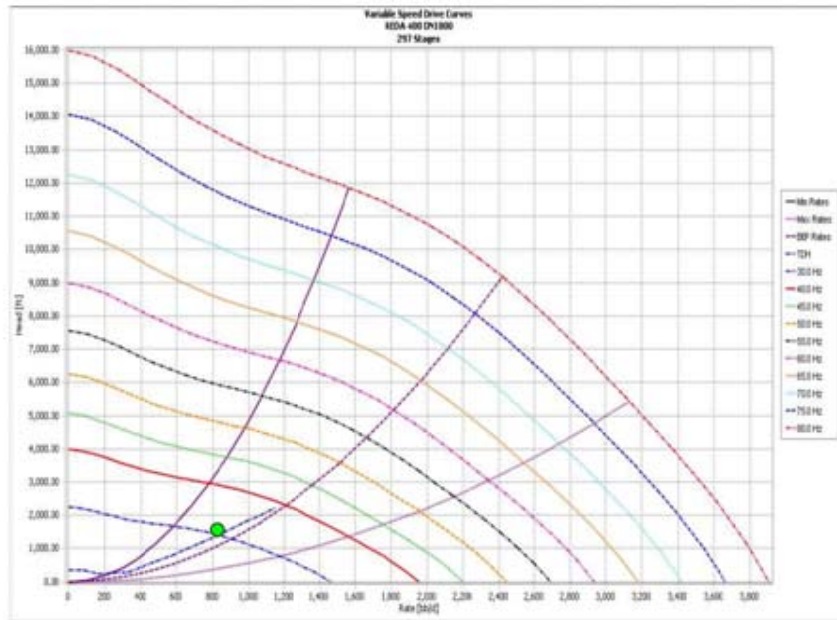
Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

3.1.3.1 Curvas de Desempeño de la Bomba IP 1.13 bpd/psi. Resultados a frecuencia de operación de 30 Hz y 60 Hz con Índice de productividad de IP 1.13 bpd/psi, BS&W 73%.

Se realiza corridas con un IP por encima del 25% para determinar el comportamiento del equipo a seleccionar.

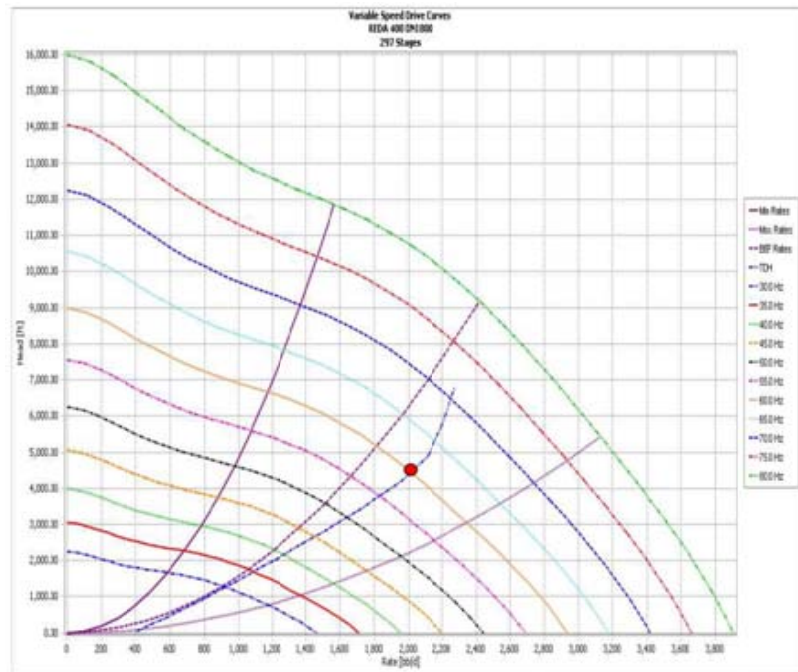
Curva de Multi-frecuencia a condiciones de fondo:

Figura 18. Curva Multifrecuencia a 30 Hz, 800 bpd, PIP 1660 psi



Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

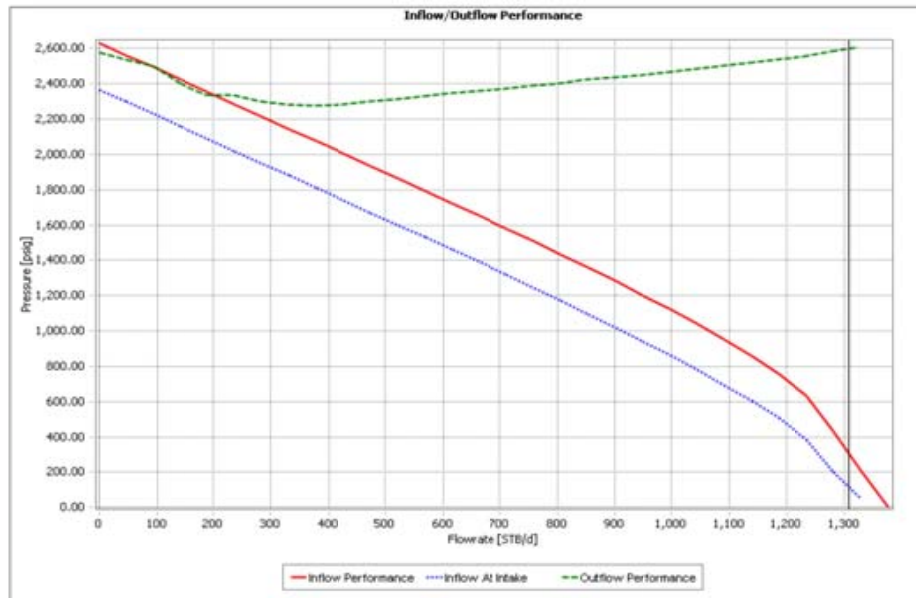
Figura 19: Curva Multifrecuencia a 60 Hz, 200bpd, PIP 533 psi



Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

3.1.4 Resultado de las Simulaciones IP 0.68 bpd/psi.

Figura 20. Curva de Inflow/Outflow: PI 0.68 bpd/psi



Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

El pozo fluye naturalmente aportando en superficie aproximadamente 200 bpd.

Para obtener una producción de 560 bpd en superficie es necesario mantener la presión del Intake alrededor de 1550 psi.

Para una producción de 1300 bpd en superficie la presión del Intake debe de estar alrededor de 100 psi.

A continuación se presentan los resultados de las simulaciones para las dos condiciones de IP 0.68 bpd/psi:

Tabla 7. Resultado de las Simulaciones IP 0.68 bpd/psi.

IP	IP 0.68 Máximo	0.68 Mínimo
Wellbore	Wellbore	Wellbore
Tubing Bottom MD	4500 ft	4500 ft
Wellhead Pressure	50 psig	50 psig
Wellhead Temperature	90 °f	90 °F
Bottomhole Temperature	140 °F	140 °F
Fluids	Fluids	Fluids
Oil Gravity	20 °API	20 °API
Water Spec. Gravity	1,05	1,05
Water Cut	73 %	73%
GOR	226 SCF/STB	226 SCF/STB
GLR	61.02 SCF/STB	61.02 SCF/STB
Inflow	Inflow	Inflow
Method	<i>Vogel Watercut</i>	<i>Vogel Watercut</i>
PI	PI	PI
Static Bottomhole Pressure	2633 psig	2633 psig
Test Pressure	1550 psig	1550 psig
Test Flowrate	732 STB/d	732 STB/d
Pumping Condition	Pumping Condition	Pumping Condition
Intake Depth	4500 ft	4500 ft
Design Rate	1300 STB/d	560 STB/d
Operation Rate	1307.6 STB/d	563.8 STB/d
Total Rate	1882.18 bbl/d	587.42 bbl/d
Liquid Rate	1336.49 bbl/d	585.12 bbl/d
Gas Rate into Pump	247.33 bbl/d	0 bbl/d
Inlet Gas Volume Fraction	28,99%	0,39%
Gas Volume Fraction at Intake	57,65%	1,29%
Total Dynamic Head	5601.96 ft	1668.02 ft
Fluid Level over Pump	241.34 ft	3552.18 ft
Intake Pressure	106.5 psig	1538 psig
Discharge Pressure	2598.7 psig	2331.6 psig
Operating Frequency	57 Hz	30 Hz
Pump Information	Pump Information	Pump Information
Type REDA	REDA 400 DN1800	REDA 400 DN1800
Operation Speed	3250.3 RPM	1710.7 RPM
Required Power	78.9 hp	11.2 hp
Pump Efficiency	69,93%	63,37%

IP	IP 0.68 Máximo	0.68 Mínimo
Number of Stages	297	297
Motor Information	Motor Information	Motor Information
Type	<i>Dominator 456</i>	<i>Dominator 456</i>
Motor Horse Power	<i>168 hp</i>	<i>168 hp</i>
Motor Speed	<i>3250.3 RPM</i>	<i>1710.7 RPM</i>
Motor Amperage	<i>32.2 Amps</i>	<i>39.6 Amps</i>
Motor Voltage	<i>2117 Volts</i>	<i>1114.2 Volts</i>
Total Motor Load	<i>86.5 hp</i>	<i>12.5 hp</i>
Load Factor	<i>54,17%</i>	<i>14,93%</i>
Efficiency	<i>85,09%</i>	<i>57,63%</i>
Heat Rise	Heat Rise	Heat Rise
Fluid Temperature At Intake	<i>135.34 °F</i>	<i>135.35 °F</i>
Skin Temperature Rise	<i>27.96 °F</i>	<i>21.68 °F</i>
Average Winding Temperature	<i>32.12 °F</i>	<i>22.64 °F</i>
Rise over Skin		
Total Winding Temperature	<i>190.82 °F</i>	<i>179.67 °F</i>
VSD without Load Filter	<i>4.68 °F</i>	<i>3.85 °F</i>
Electrical Information	Electrical Information	Electrical Information
Surface Voltage	<i>2268.6 Volts</i>	<i>1301 Volts</i>
Required kVA	<i>kVA 126.56</i>	<i>kVA 89.03</i>

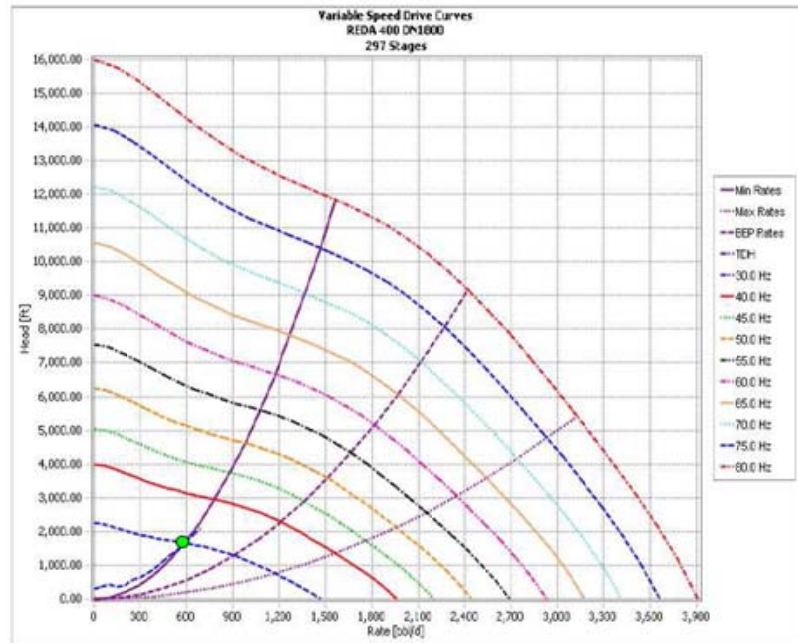
Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

Los diseños se realizaron de acuerdo al índice de productividad y presión estática suministrados, por tal motivo los caudales en superficie se diseñaron ajustados al AOF del pozo y después del punto de flujo natural.

3.1.4.1 Curvas de Desempeño de la Bomba IP .068 bpd/psi. Resultados a frecuencia de operación de 30 Hz y 5 7Hz con Índice de productividad de IP 0.68 bpd/psi, BS&W 73%.

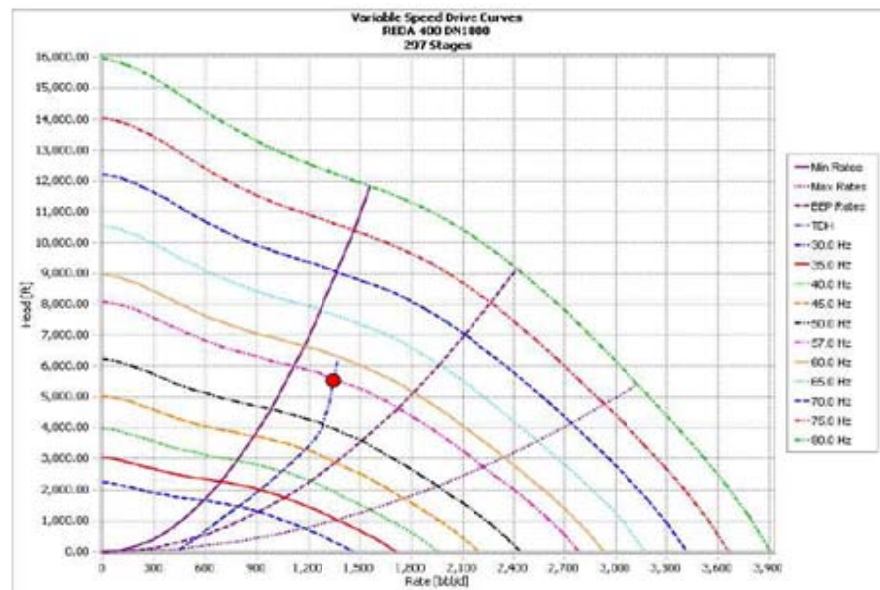
Curva de Multi-frecuencia a condiciones de fondo:

Figura 21. Curva Multifrecuencia a 30 Hz, 560 bpd, PIP 1538 psi



Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

Figura 22. Curva Multifrecuencia a 57 Hz, 1300 bpd, PIP 106 psi



Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

3.2 DESCRIPCION EQUIPO BES

Resumen para la configuración del equipo BES seleccionado según la IP suministrada y el caudal esperado para el pozo

Tabla 8. Resultado Equipo BES propuesto para piloto.

Cantidad	Descripción
1	EQUIPO DE FONDO
1	HEAD:BOLTON ON DISCHARGE PMP, 400 , CS, ,2.87 OD 8RD EUE
1	VALVE: TBG BLRD, S/A 2.87 OD 8RD EUE, CS
3	VALVE: TBG BLRD, S/A 2.87 OD 8RD EUE, CS
1	PUMP: DN 1800 ,CR-CT 99 STG 400/400 130 CS VTDH, .68 INC, M- TRM, HSN, ES-SS
1	INTAKE: DRS, 400/400 RLOY .87 HS MON, M-TRM ES
1	AGH: D5-21 CR-CT 400/400 CS VTHD, .68 INC, RLOY, AFL
1	PROTECTOR: LS8PBSL, 400/456, NTB/HL, .87 INC, RLOY, AFL
4500	MOTOR: 456, 14, 4140, DOMINATOR, RX-S, CS, MSB
1	CABLE: REDALEAD 6, 4KV (6/1 EHL G4F)
1	MLE: 456 120 FT, KELB M, 4KV, 6/1, T/I
1	DISCHARGE PRESSURE SUB ASSY REDA 400 AFL AISI 4140 (A149)
	SENSOR DE FONDO
1	PICV2 – PHOENIX INTERFACE CARD VERSION 2
1	BASE GAUGE: PHOENIX XT TYPE 1, VITON/AFLAS, 13 CR
1	BASIC ISU, ISP AND CHOKE CABLE PACKAGE
1	MULTISENSOR CHOKE PLATE WITH ENCLOSURE
	EQUIPO DE SUPERFICIE
1	SPEEDSTAR 2000 + VSD: S7+, 163 KVA, N3R, 6P UNICONN
1	WELLHEAD J. BOX, CSA TYPE 3R
1	TRANSFORMADOR 200 KVA 480 Volt primario a 1100 4100
1	SCB 220 USA / CAN SITE COMMUNICATION

Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

De las corridas realizadas, se determina el equipo con sus respectivas IP y caudales esperados.

Tabla 9. Resumen de Equipo Seleccionado

Well	Casing size in	Description	Depth ft	IP Bpd/psi	Qmax Bpd	PIP Psi	Qmin Bpd	PIP psi
V-266	7	Pump DN 1800 297 Stage	4500	0.68	1300	106	560	1538
		Motor a 68 Hp Dominador		0.91	1750	196	700	1602
		VSD 163 KVA		1.13	1950	533	800	1660

Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

En la siguiente tabla se presentan los parámetros de diseño definitivos para el equipo propuesto a condiciones de máximo caudal, resaltando el consumo de energía por hora (Kw/hr):

Tabla 10. Parámetros de Diseño definitivos para el Equipo Propuesto

Parámetro	Datos de diseño
Profundidad de la Bomba, Ft	4500
Tipo de Bomba	DN 1800
Numero de etapas	297
Rango de producción BFPD	560 - 1950
Cabeza Dinámica Total (TDH), ft	2317
Frecuencia de Operación, Hz	42.7
Carga Total del Motor, %	27.26
KVA en superficie	38.1
Eficiencia de la Bomba, %	58.64
Tamaño del Cable	# 4
Consumo en Kw / hr del equipo	28.1

Fuente: Generada con WCP Artificial Lift, Reda Production System

4. PROPUESTA ECONÓMICA PARA IMPLEMENTACION DEL BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE

4.1 PARAMETROS FINANCIEROS.

Se debe tener en cuenta los parámetros financieros para poder realizar una evaluación económica del proyecto piloto.

4.1.1 Valor Presente Neto, VPN.⁵

El Valor Presente Neto (NPV) cuantifica el valor actual de un Proyecto cuyo Flujo de Caja Neto es comparado con una inversión normal o de oportunidad comúnmente bancaria y descontado a un punto de referencia común. Normalmente un año.

El valor presente neto de un proyecto de inversión no es otra cosa que su valor medido en dinero de hoy, o expresando esta idea de otra manera, es el equivalente en \$ actuales de todos los ingresos y egresos, presentes y futuros, que constituyen el proyecto.

Cuando el VPN es menor que cero implica que hay una pérdida a una cierta tasa de interés o por el contrario si el VPN es mayor que cero se presenta una ganancia.

$$VPN = \sum_{n=0}^N \frac{FDC}{(1-i)^n} \quad \text{Ecuación 3.}$$

⁵ VANEGAS, Oscar. Modulo Ingeniería Económica. Esp. Producción de Hidrocarburos

De donde,

FDC = Ganancias netas – Impuestos.

En resumen, se puede afirmar lo siguiente respecto al valor presente neto, como Índice para evaluar la bondad económica de un proyecto de inversión: su valor depende de la tasa de interés que se emplea para computarlo y si i es la tasa de interés que se utiliza en el cálculo del valor presente, entonces:

$VPN(i^*) > 0$ indica que los dineros invertidos en el proyecto rinden mas del i^* .

$VPN(i^*) = 0$ señala que los dineros invertidos en el proyecto rinden exactamente del i^* .

$VPN(i^*) < 0$ muestra que los dineros invertidos en el proyecto rinden menos del i^* .

Por lo general, el VPN disminuye a medida que aumenta la tasa de interés.

4.1.2 Tasa Interna de Retorno, TIR.

Se llama así a la Tasa de Descuento necesaria para que los Valores Presente de Flujo de Caja saliente y entrante sean iguales. Es decir, es aquella Tasa de Descuento cuyo Valor Presente Neto es cero ($VNP = 0$).

También es conocida con la tasa de rentabilidad, producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del negocio o la tasa crítica de rentabilidad, cuando se compara con la tasa mínima de rendimiento requerida para un proyecto de inversión específico. Matemáticamente, el cálculo del TIR se representa en la siguiente ecuación:

$$VPN = 0 = \left[\frac{FDC1}{(1+i)^1} \right] + \left[\frac{FDC2}{(1+i)^2} \right] + \left[\frac{FDC3}{(1+i)^3} \right] + \dots + \left[\frac{FDCn}{(1+i)^n} \right] - Inv \quad \text{Ecuación 4.}$$

4.1.3 Tiempo de recuperación de la Inversión o PAYBACK TIME.

Es el tiempo en el cual se recupera el dinero que se invirtió inicialmente en un negocio o proyecto, es decir, para que los flujos de caja netos positivos sean iguales a la inversión inicial. Se puede calcular de dos maneras diferentes:

4.1.3.1 Payback Simple: Es el tiempo que se necesita para recuperar el dinero que se invirtió inicialmente, considerando los flujos de efectivo sin tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo. La ecuación que permite calcular el tiempo de recuperación de la inversión es la siguiente:

Es el tiempo en el cual se recupera el dinero que se invirtió inicialmente en un negocio o proyecto, es decir, para que los flujos de caja netos positivos sean iguales a la inversión inicial. Existe Payback Simple el cual considera los flujos de efectivo sin tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo, así:

$$\text{PaybackSimple} = \frac{\text{InversionInicial}}{\text{FlujoDeEfectivoAnual}} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Aunque no considera el valor del dinero en el tiempo es de gran utilidad al momento de evaluar proyectos, ya que proporciona una medida del riesgo del proyecto, así como que tanto será necesario para que la inversión sea recuperada.

4.1.4 Flujo de Caja.

El flujo de caja es la acumulación neta de activos líquidos en un periodo determinado y por lo tanto, constituye un indicador importante de la liquidez de una empresa o cualquier proyecto.

En la estimación del flujo de efectivo deben considerarse factores como los ingresos provenientes del ejercicio u operación del proyecto, los gastos generados

por la inversión, los costos de operación, el beneficio fiscal asociado a la depreciación y los impuestos en que se incurren por el desarrollo del proyecto. Los ingresos en un proyecto pueden generarse a partir de la venta de equipos o activos, o las ganancias obtenidas por la producción. Los costos pueden ser generados al comprar equipo, por impuestos o regalías, mantenimiento del equipo, etc.

4.1.5 Inversión Neta o Inicial:

La inversión es la etapa inicial de un proyecto, en ella están incluidos todos los costos en que se incurren por la construcción, promoción y desarrollo de un proyecto.

4.1.6 Costos:

Los costos son el gasto económico que representa la fabricación de un producto o la prestación de un servicio.

4.1.7 Ingresos:

Los ingresos hacen referencia a todas las entradas económicas que recibe un proyecto, organización, gobierno, etc. Cuando una empresa vende su producción o sus servicios a un cliente, el valor de la compra, pagada por el cliente, es el ingreso percibido por la empresa.

4.1.8 Depreciación:

La depreciación es un reconocimiento racional y sistemático del costo de los bienes, distribuido durante su vida útil estimada, con el fin de obtener los recursos

necesarios para la reposición de los bienes, de manera que se conserve la capacidad operativa o productiva del ente público.

4.1.9 Impuestos:

El impuesto es la prestación de dinero o especie que establece el Estado conforme a la ley, con carácter obligatorio, a cargo de personas físicas y morales para cubrir el gasto público. La industria petrolera, se ve afectada principalmente por dos impuestos directos que son las regalías y el impuesto sobre la renta.

4.1.10 Amortización:

Término económico y contable, referido al proceso de distribución en el tiempo de un valor duradero.

Un aspecto que se debe considerar es la identificación de riesgos⁶, que se debe realizar al interior de cada una de las áreas operativas y de soporte de la empresa, del equipo del proyecto, analizando aquellos eventos que podrían afectar el cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto piloto, sin embargo por no ser el alcance de este proyecto, es conveniente citarlo y tenerlo presente en todo piloto que se quiera abordar.

4.2 ANALISIS DE LA INVERSION

Los costos para la implementación del piloto con bombeo electrosumergible, se han contemplado inicialmente es para periodos de renta, puesto que la empresa que suministra los equipos asume unos costos propios de la operación y la

⁶ BRAVO MENDOZA, Oscar: "Gestión Integral de Riesgos". Tomo I. Bogotá, Julio 2009.

empresa contratante coloca a disposición la red eléctrica y el costo del tratamiento químico del agua.

Se tiene como primera opción el alquiler del equipo, tres meses se considera suficiente para la toma de decisión.

Para el caso se realizó un flujo de caja con el alquiler del equipo mensual, los gastos de equipo varilleo y se asumen otros gastos inherentes para generar el Capex, la proyección del costo de producción generada por el sistema BES serian los ingresos y para el Opex los gastos de mantenimiento, el valor de consumo de energía mensual, tratamiento de crudo incremental, así como las deducciones por pago de regalías.

Tabla 11. Inversión inicial para piloto BES.

INVERSION PILOTO BES		
Actividad	Subactividad	Costo (US\$)
1. OBRAS CIVILES	1.1. Adecuación vías de acceso (.5 Kms)	300
	1.2. Adecuación de la localización del pozo	300
Total Obras Civiles		800
2. REACONDICIONAMIENTO DEL POZO		7.000
3. BOMBA ELECTROSUMERGIBLE		33.000
	3.1 Cabezal BES	1230
	3.2 Sistema de inyección de químicos	20
	3.3 Sistema de tratamiento de aguas residuales	3.350
	3.4 Sistema eléctrico	4.000
	3.5 Servicio de instalación (incluye personal técnico por 4 personas, kit de instalación y consumibles)	5.000
INVERSIÓN		US\$ 55.000

Fuente: Autor

Se espera que la producción sea mensual con promedio de 29 días, tratamiento. El costo del y que el precio del crudo se mantenga constante de 60 US\$ / Bbl para el periodo de un año.

En el análisis económico, con una inversión el orden de US\$ 58.000, y una producción estimada con BES de 2700 bls con precio de 60 US\$/Bbl, el VPN proyectado fue de US\$ 120.415 con una TIR de 97%.

Así mismo se realizó la proyección variando la producción estimada a 1740 bls mensuales y aun así el VPN es positivo con US\$ 48.807.50 y una TIR del 50%, para el escenario de 750 bls mensuales de producción con BES, no es viable pues es negativo el TIR -9,04.

Se estima una producción incremental real que sea mayor a la estimada.

El Payback simple se aplicaría para cuando se realice la opción de compra del equipo BES, que está en el orden de recuperación de aproximadamente de 5 meses.

Cabe anotar que esta proyección es bastante conservadora y busca ser lo más real posible con las expectativas pues por el tipo de bomba y capacidad del pozo, la producción esperada es mucho mayor y puede estar por el orden de 4.000 a 4.500 bls /mes.

Tabla 12. Comparativo de índices financieros para proyecto piloto.

COMPARATIVO DE INDICES FINANCIEROS PARA PROYECTO PILOTO BES			
Producción Mensual Estimada con BES @ 60 US\$/ Bbs	2700 Bls	1740 Bls	750 Bls
TIR	97,0 %	50,0 %	-9,04 %
VPN	US\$ 120.414,65	US\$48.807,57	US\$22.903,83

Fuente: Autor

Tabla 13. Flujo de caja del piloto con cálculo de 2700 bls mensuales. BES

FLUJO DE CAJA BES PROYECTADO@ 60 \$Us/ bl						
		Mes 0	Mes 3	Mes 6	Mes 9	Mes 12
TRM		2.000				
Inflacion Colombia			5%	5%	5%	5%
Devaluacion proyectada			5%	5%	5%	5%
Inflacion USA			1%	1%	1%	1%
DTF estimada (EA)		4.65%	4.65%	4.65%	4.65%	4.65%
Precio barril (USD)		60	61	61	62	62
Produccion BES (BLs)			2.700	2.700	2.700	2.700
CAPEX	Alquiler BES	-33000				
	Equipo WO	-7000				
	Otros Gastos	-15000				
TOTAL CAPEX		-55000				
Ingresos	Precio venta 60 US/BL		163.620	165.256	166.909	168.578
OPEX						
Costo variable	12.2 US/BL		-32.940	-32.940	-32.940	-32.940
Tratamiento de Crudo Incremental			-6.710	-6.300	-6.100	-6.050
Mto Unidad			-20	-20	-20	-20
Costo de Mantenimiento			-500	-500	-500	-500
Costo de Energia			-10.000	-10.000	-10.000	-10.000
Regalias	20% de la produccion		-32.724	-33.051	-33.382	-33.716
Depreciacion			-10.000	-10.000	-10.000	-10.000
TOTAL OPEX			-92.894	-92.811	-92.942	-93.226
Utilidad operativa			70.726	72.445	73.967	75.352
Impuestos	34,50%		-24.400	-24.994	-25.519	-25.997
Utilidad operativa despues de impuestos			46.326	47.451	48.448	49.356
Depreciacion			10.000	10.000	10.000	10.000
Flujo de caja operativo			56.326	57.451	58.448	59.356
FLUJO CAJA NETO DEL PROYECTO		-55.000	56.326	57.451	58.448	59.356
	Fuente	Monto	Costo antes de impuesto	Costo despues de impuesto	Participacion fuente	Ponderacion
	Empresa	-55.000	12%	12%	100,00%	12,00%
						12,00%
TIR		97,0%				
VPN		\$ 120.414,65				

Fuente: Autor

4.3 PROYECCION DE ESCENARIOS DE RENTABILIDAD PARA PILOTO BES.

Se debe asociar la capacidad del equipo seleccionado con la producción incremental estimada, el agua adicional producida incluyendo el tratamiento químico y el valor estimado del costo de Kva de energía adicional para el piloto BES y el costo del alquiler del equipo durante el primer mes.

En la tabla se muestra los escenarios optimista, punto de equilibrio y pesimista de la prueba en marcha del piloto BES.

Tabla 14. Resultado análisis de costos por producción incremental del piloto BES

ITEM	FACTOR PARA ANALISIS	OPTIMISTA	PUNTO DE EQUILIBRIO	PESIMISTA
ACEITE				
1	Producción diaria Actual, BFPD	400	400	400
2	Bsw actual	0,08	0,08	0,08
3	Producción diaria Actual, BOPD	32	32	32
4	Producción Mensual actual, BOPD	960	960	960
5	Producción diaria con BES, BFPD	1,800	1,160	500
6	Bsw con BES	0,05	0,05	0,05
7	Producción diaria estimada con BES, BOPD	90	58	25
8	Producción Mensual estimada con BES, BOPD	2,700	1,740	750
9	Producción Incremental diaria estimada con BES, BOPD	58	26	-7
10	Producción Incremental Mensual estimada con BES, BOPD	1,740	780	-210
11	Barriles Incrementales con BES, @ \$ 60 US/ Barril US\$	104,400	48,800	12,600
AGUA				
1	Agua con BES, BWPD	1,710	1,102	475
2	Agua inicial, BWPD	368	368	368
3	Agua Incremental, BWPD	1,342	734	107
COSTOS ADICIONALES				
1	Costo tratamiento agua @ 5 US\$/Bbs	6,710	3,670	535
2	Alquiler de equipo BES mensual US\$	33,000	33,000	33,000
3	Costo Energía Adicional mensual por BES, US\$	10,000	10,000	10,000
Costos Adicionales Totales US\$		49,710	46,670	43,535
COSTO TOTAL NETO US\$		\$ 54,690	\$ 130	\$ -56135

Fuente: Autor

Con la producción actual de 32 BOPD por sistema PCP, se requiere en el escenario optimista un incremento de 58 BOPD adicionales con BES, para un costo neto mensual de US\$ 54,690.

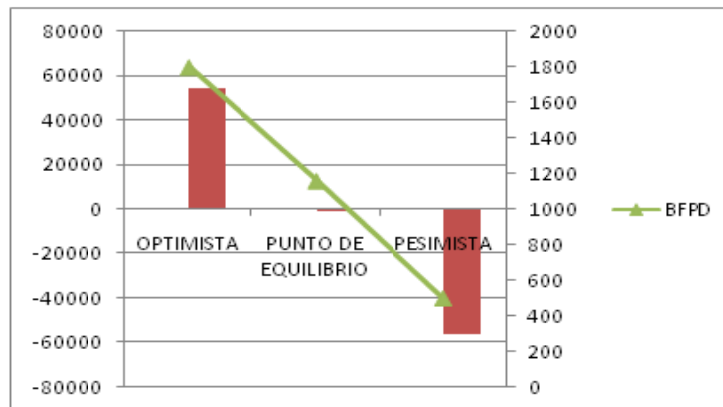
La industria petrolera ofrece la posibilidad de hacer inversiones cuando se tiene un buen flujo de caja, para un campo tan antiguo como Velásquez, la sola opción de implementar este piloto con BES, resulta muy atractivo y entra a formar parte de los proyectos con que la empresa busca incrementar su producción, el éxito de esta primer trabajo genera expectativas tanto para la empresa de servicio Schlumberger Surencó, como al personal que diariamente se esfuerza por generar aporte a las metas de compañía.

Tabla 15. Resumen de los escenarios económicos.

ESCENARIO	PRODUCCION INCREMENTAL CON BES (Bls/ día)	COSTO BENEFICIO NETO ADICIONAL POR PILOTO BES \$US
OPTIMISTA	1,740	54,690
PUNTO DE EQUILIBRIO	780	130
PESIMISTA	210	-56,135

Fuente: Autor

Figura 23. Gráfico de Escenarios BFPD vs US\$



Fuente: Autor

4.4 TARIFA RENTA CON OPCION DE COMPRA

Periodo de renta de tres (3) meses con opción de compra.

Tabla 16. Tarifa Renta

Periodo	Tarifas	Costo US\$
De 1 – 3 meses o fracción	Tarifa Mensual de Operación	\$ 33,000
	Tarifa diaria de Stand by	\$ 875
De 4 – 6 meses o fracción	Tarifa Mensual de Operación	\$ 31,875
	Tarifa diaria de Stand by	\$ 744
De 7 meses en adelante	Tarifa Mensual de Operación	\$ 27,094
	Tarifa diaria de Stand by	\$ 632

Fuente: Gómez, Álvaro. , Reda Production System, Schlumberger. 2011

4.5 TARIFA VENTA CON PERIODO DE OPERACION

La opción de venta se contempla en el caso de ser efectivo el sistema una vez haya transcurrido el periodo de prueba inicial.

Tabla 17. Tarifa Venta con Periodo de Operación

Periodo	Descuento	Costo US\$
Venta dentro de 1 – 3 meses de Operación	0 %	\$ 340,841
Venta dentro de 4 – 6 meses de Operación	20 %	\$272,673
De 7 meses en Adelante de Operación	40 %	\$ 204,505

Fuente: Gómez, Álvaro. , Reda Production System, Schlumberger. 2011

4.6 LEASING O COMPRA DIFERIDA

Tabla 18. Tarifa Leasing o Compra Diferida

Descripción	Cargo mensual US\$
Leasing sistema ESP descrito	\$ 17,137.00

Fuente: Gómez, Álvaro. , Reda Production System, Schlumberger. 2011r

4.7 COMPRA DE EQUIPO

Se debe considerar como toda compra un descuento del 5% sobre los valores de venta propuestos.

Tabla 19. Tarifa Compra de equipo

Ítem	Cant.	Descripción	Precio unidad US\$	TOTAL US\$
1	1	VALVE: TBG BLRD, S/A 2.87 OD 8RD EUE, CS	\$ 307,13	\$ 307,13
2	1	VALVE: TBG CHK, S/A 2.87 OD 8RD EUE, CS	\$ 425,57	\$ 425,57
3	1	KIT MISCELANUIS	\$ 8,579.07	\$ 8,579.07
4	1	MLE: 456 70 FT, KELB G, 4KV, 6/1, T/L	\$ 1,467.7	\$ 1,467.7
5	1	HEAD:BOLTON ON DISCHARGE PMP, 400 70 CS VTDH, 68 HS MON, S-TRM, HSN, ARZ	\$ 137,6	\$ 137,6
6	1	PUMP: D1400N CR-CT 108 STG 400/400 70 CS VTDH, 68 HS MON, S-TRM, HSN, ARZ	\$ 9, 963.39	\$ 9, 963.39
7	1	INTAKE: DRS, 400/400 RLOY .87 INC, M- TRM ES	\$ 3,993.92	\$ 3,993.92
8	1	PROTECTOR: MAXIMUS, RA-S, CS, M- TRM, AS, AFL, NTB, GRB, MAXIOINT	\$ 10,220.09	\$ 10,220.09
9	1	MOTOR: 456, 5, 4055, MAXIMUS, RA-S, CS, M- TRM, AS, AFL, NTB, GRB, MAXIOINT	\$ 16,583.76	\$ 16,583.76
10	1	BASE GAUGE; PHOENIX XT TYPE 0 VITON /AFLAS, 13 CR	\$ 17,696.35	\$ 17,696.35
11	4500	CABLE REDA LEAD 6 , 4KV (6/1 EL G4F)	\$ 8, 33	\$ 37,485.00
12	1	SPEED START 2000 + VSD: ST+ 110 KVA, N3R , 12P, JUNTION BOX	\$ 49,521.00	\$ 49,521.00
13	1	TRANSFORME STEP UP SUNTEC, 130 KVA, 480 /4100 V, 30 V, PO HZ	\$ 21,022.42	\$ 21,022.42
14	1	5 KV WELL HEAD J BOX, NEMA 3R	\$ 1,298.32	\$ 1,298.32
				\$178,700.66

Fuente: Gómez, Álvaro. , Reda Production System, Schlumberger. 2011

Esta opción es para pago del equipo en 1 año, una vez cancelado, el equipo pasa a ser propiedad de la empresa.

4.8 TARIFA DE SERVICIOS

Tabla 20. Tarifa de Servicios

Ítem	Servicio	Precio US\$
1	Movilización desde Base a Campo incluye personal técnico y equipos	\$ 10,000
2	Servicio de instalación (incluye personal técnico por 4 personas, kit de instalación y consumibles	\$17,000
3	Kit de instalación Adicional	\$ 7,000
4	Día adicional de servicio técnico	\$ 2,500
5	Servicio de Pulling	\$ 7,500
6	Personal técnico por Call Out por persona	\$ 1,200

Fuente: WCP, Artificial Lift

Las anteriores tarifas incluyen:

- Equipo de fondo, sensor de temperatura, presión & vibración y equipo de superficie
- Movilización de equipo y personal
- Monitoreo libre de costo por el periodo de 3 meses y luego de este periodo se cargará un precio de 650 US\$ por mes/pozo si se desea continuar con el servicio.

No se Incluye:

- Alojamiento y alimentación del personal técnico durante el Servicio y días de Stand by en la locación.
- Suministro de conectores eléctricos

- Suministro de Well Head
- Costo de taladro en operación ni en Stand By.
- Generadores de potencia.
- Combustible para vehículos involucrados en el servicio.

4.8.1 Condiciones del Servicio.

- Los servicios de “Pull” y “Run” serán atendidos por una cuadrilla de personal de debidamente certificado.
- Las visitas técnicas serán atendidas por un técnico y un operador e incluye las herramientas eléctricas requeridas.
- La solicitud de personal para atender el servicio de “Pull”, “Run” y/o visita técnica se debe realizar por escrito y con 36 horas de anterioridad.
- La garantía de Run Life para los equipos de fondo y superficie es de 540 Días
- En caso de pérdida de equipo en fondo, se cargará el precio de venta del equipo BES según el periodo en el que este se encuentre operando.

En caso de intervención del pozo por rediseño, falla no inherente al sistema BES o trabajo de estimulación, se realizara inspección del equipo que sale de pozo en facilidades de Schlumberger Surencó S.A.

Sí el reporte de inspección indica deterioro de los equipos versus las pruebas API, estos serán reparados y cargados a la empresa de acuerdo a las tarifas de reparación descritas a continuación:

4.8.2 Precios de reparación de los Equipos y Componentes:

Las siguientes son las tarifas de reparación de equipos ESP SLB:

- Reparación Mayor de Bombas y/o Manejadores de Gas (Cambio Mayor del 50% de los componentes) = 75% del precio de venta
- Reparación Menor de Bombas y/o Manejadores de Gas (Cambio menor y/o igual del 50% de los componentes) = 52% del precio de venta
- Reparación de Intake Separadores de Gas = 45% del precio de venta
- Reparación de Protectores = 75% del precio de venta
- Reparación Menor de Motores (no incluye cambio de estator) = 45% del precio de venta-
- Reparación Mayor de Motores (incluye cambio de estator) = 90% del valor de venta
- Reparación y empalme cable de potencia = US\$ 750 / unidad.
- Reparación VSD = La tarifa de mano de obra es definida basada en la tarifa "Día Adicional Técnico" más la sumatoria de las partes cambiadas.

La fecha de inicio de las reparaciones y el tiempo de entrega de los equipos estará sujeta a la disponibilidad de partes en inventario, personal y herramientas del taller y teniendo en cuenta el resultado que arroje la inspección del estado mecánico y eléctrico de los equipos ESP.

Los equipos reparados bajo el anterior esquema comercial tienen un tiempo de garantía de 365 días.

4.8.3 Tarifas de inspección y Pruebas de los Equipos y Componentes:

Las siguientes son las tarifas de inspección de equipos ESP SLB:

Tabla 21. Tarifas Inspección y equipos

ítem	Trabajo	Precio / día, US\$
1	Inspección, prueba y flushing de bomba	\$ 1.100
2	Inspección, prueba y flushing de motor	\$ 1.370
3	Inspección, prueba y flushing de protectores	\$ 600
4	Inspección, prueba y flushing de separadores de gas	\$ 600
5	Inspección, prueba y flushing de manejadores de gas	\$1.100
6	Inspección y prueba de sensores de presión y temperatura	\$ 600
7	Inspección y prueba de cable pie	\$ 0.76
8	Inspección de cable pie	\$ 0.40
9	Servicio de Pulling	\$ 7,250
10	Movilización visita campos predictivo	\$ 2,350
11	Tarifa diaria visita al campo, predictiva	\$ 1,150
12	Día adicional o stand by de la cuadrilla durante servicio Pulling / Running	\$ 2,600
13	Liftwacher tarifa mensual / pozo	\$ 700

Fuente: Gómez, Álvaro. , Reda Production System, Schlumberger. 2011

Los costos económicos determinan la ejecución de piloto, la opción de renta mensual por los tres primeros meses se asume como la más conveniente para las dos partes.

5. COMPARATIVO DEL BOMBEO POR CAVIDADES PROGRESIVAS CON EL BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE.

El comportamiento de la bomba PCP a la fecha con un RUN LIFE de 9 meses es de buen desempeño, ya que su eficiencia volumétrica es del orden del ($EF = (Q_{real} = 637 \text{ BFPD} / Q_{teórico} = 540 \text{ BFPD}) \times 100\%$) = 85%, respondiendo exitosamente a la expectativa de la curva de demanda sobre el comportamiento de oferta de producción del pozo.

Adicionalmente en otros aspectos relevante se observa que la compatibilidad del elastómero (NBR02) del estator es de buen desempeño con respecto al fluido a producir, ya que no genera hinchamiento excesivo (Menor al 8% V x V).

Adicionalmente a pesar que el pozo produce un corte de BS&W del 86% con una rotación de 130 RPM en el sistema, el mismo no es variable, ni ha incrementado.

En otro aspecto el comportamiento o curva de Performance de la bomba NTZ 400 NTZ 150 ST 78 a su máxima presión de descarga es de 2.175 Psi equivalente a 5.023 Pies H₂O, tomando en cuenta que por la profundidad donde se encuentra asentada la misma 4.503 Pies, (1.950 Psi), (90%) no ha afectado su capacidad de levantamiento, a pesar que esta presión de descarga de la bomba se encuentra en el rango de presión donde se genera la pérdida del fluido por escurrimiento, este efecto de pérdida de fluido es mínimo.

En cuanto a la carga axial del cabezal de rotación a la cual es sometido (18.000 Lbs.) el sistema versus la velocidad rotación de la bomba (130 RPM), el mismo es capaz de soportar el trabajo por un tiempo calculado por más de 7 años continuos, adicionalmente por presentar un Freno Anti-reverso de sistema Hidráulico

Mecánico es capaz de soportar y disipar cualquier torque generado por efecto de Back Spin generados por paros eléctricos.

Para el caso del pozo V-266 la reciente intervención de pesca por quedar el ancla antitorque en fondo, adicional posee un número de intervenciones de varilleo que está por encima del promedio, ha sido motivo para considerar el cambio de sistema a BES, generando aun más la consideración de cambio de sistema, que al igual que sucedió cuando se cambio buena parte del sistema Mecánico hace años por PCP y que a la fecha se constituye en el 70 % de aporte de producción al campo se espera que sea el primer pozo BES y abra la opción de continuar su aplicación en Campo Velásquez. Respecto al costo de sistema, se tiene en cuenta todo el completamiento tanto de superficie como de fondo, comparativamente el costo es mayor que el de BES, durante los 6 años que lleva implementado el sistema PCP en campo hay pozos donde el sistema ha tenido una confiabilidad por encima de 1000 días de Run Life.

5.1 COMPLETAMIENTO ACTUAL DE UN POZO PCP CON SUS COSTOS.

Se presenta el completamiento típico de un pozo por Bombeo por Cavidades Progresivas, el cual está conformado por las conexiones de cabeza de pozo, el equipo de superficie que consta del Cabezal de rotación, el motor eléctrico y el variador de velocidad.

El completamiento está actualmente instalado desde hace 4 años en el pozo V-266, es un equipo de la firma Netzsch cuya casa matriz es de Alemania y su fábrica está en Brasil. Adicional se presenta los costos unitarios de los elementos requeridos para el completamiento de un pozo PCP, no se hace un análisis a fondo del sistema PCP por no ser el fin del presente trabajo, sin embargo se hace una pequeña síntesis de su funcionamiento actual en el pozo.

Tabla 22. Resultado Completamiento y Costos de Sistema Actual PCP

COMPLETAMIENTO TIPICO POZO PCP			
CABEZA DE POZO			
DESCRIPCION	CANTIDAD		COSTO
	UNIT	TOTAL	US\$
BOP + FLOW TEE 3 1/8" 3M	EA	1	4,2
RING GASKET R-31	EA	1	25
RING GASKET R-45	EA	1	25
CROSSOVER 3" X 2" LP 2M 12" LONG PIN-PIN	EA	1	224
CROSSOVER 2" X 1" LP 2M 12" LONG PIN-PIN	EA	1	196
GATE VALVE 1" 2M THD	EA	1	52
GATE VALVE 2" 2M THD	EA	3	99
CHEQUE VALVE 2" 300#	EA	1	107
NIPPLE 1" SCH 40 6" LONG	EA	1	10
ELBOW 90 DEG 1" SCH 40	EA	1	4
NIPPLE 1" SCH 40 36" LONG	EA	1	16
TEE 2" X 2" X 2" sch 40	EA	1	16
UNION DE GOLPE 2" X 2000#	EA	2	78
CAP 2"	EA	1	8
SUBTOTAL			5,059
EQUIPO DE SUPERFICIE			
DESCRIPTION	CANTIDAD		COSTO
	UNIDAD	TOTAL	US\$
ELECTRIC MOTOR 50 HP	EA	1	4,4
DRIVE HEAD 33K LB AXIAL LOAD; MECHANICAL BRAKE	EA	1	18
VSD 50 HP	EA	1	14,6
SUBTOTAL			37
SARTA DE PRODUCCION			
DESCRIPCION	CANTIDAD		COSTO
	UNIDAD	TOTAL	US\$
CENTRIFUGAL SEPARATOR GAS	EA	1	5
TORQUE ANCHOR TORQSTOPPER II TX7-3 3 1/2" X 7"	EA	1	3,1
PCP PUMP (STATOR + ROTOR +STOP NIPPLE + EXTENSIONS + CROSSOVER + COUPLINGS)	EA	1	18
TUBING 3 1/2" EUE N-80 WITH COUPLING	EA	2	136

DESCRIPCION	CANTIDAD		COSTO
	UNIDAD	TOTAL	US\$
CROSSOVER 3 1/2" EUE PIN X 2 7/8" EUE BOX	EA	1	250
COUPLING 2-7/8" EUE	EA	160	32,8
TUBING HANGER 7 1/16" X 2 7/8" 2M	EA	1	875
ROD SUCKER 1" X 25 FT SPECIAL GRADE	EA	200	44,6
COUPLING 1" GRADE D 4142 CLASS T	EA	200	33
PONY ROD 1" X 2 FT SPECIAL GRADE	EA	1	176
PONY ROD 1" X 4 FT SPECIAL GRADE	EA	1	197
PONY ROD 1" X 6 FT SPECIAL GRADE	EA	1	215
PONY ROD 1" X 8 FT SPECIAL GRADE	EA	1	234
PONY ROD 1" X 10 FT SPECIAL GRADE	EA	1	252
POLISHED ROD 1 1/2" X 40 FT WITH COUPLING 1" PR	EA	1	2,3
ROTO BEAR 1" X 2-7/8"	EA	50	8,5
ROD GUIDE 1" X 2-7/8"	EA	50	1,5
SUBTOTAL			191,135
TOTAL		US\$	197,194

Fuente: Flórez, Saúl., Aplicaciones PCP, hqe Ltda, Bogotá, 2011

5.2 COMPARATIVO ENTRE PCP Y BES

Para tener en cuenta que el sistema PCP está en un 15% por encima del costo de la bomba BES

Respecto al costo de sistema, se tiene en cuenta todo el completamiento tanto de superficie como de fondo, comparativamente el costo es mayor que el de BES, durante los 6 años que lleva implementado en campo hay pozos donde el sistema ha tenido una confiabilidad por encima de 1000 días de Run Life.

Para el pozo seleccionado, el número de intervenciones está por encima del promedio, generando aun más la consideración de generar un cambio de sistema, que al igual que sucedió cuando se cambio buena parte del sistema Mecánico

hace años, y que a la fecha se constituye en el 70 % de aporte de producción al campo.

Tabla 23. Comparación General entre sistemas PCP y BES

COMPARACION GENERAL ENTRE SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO PCP Y BES		
DESCRIPCION	BOMBEO CAVIDADES PROGRESIVAS PCP	BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE
Profundidad de Operación (FT)	6.000	12.000
Caudales BFPD	10 - 4.500	200-20.000
Temperatura de operación (°F)	0-275	0-325
Corrosión	Bueno	Bueno
Gas	Regular	Pobre
Arena	Regular	Pobre
Gravedad del Fluido	10 – 30° API	> 12° API
Servicio al Pozo	Workover	Workover, Pulling Rig
Angulo de desviación	No admite	Cualquier ángulo
Flexibilidad	Excelente	Regular
Aplicación en Costa fuera	Buena	Excelente

Fuente: Autor

Tabla 24. Comparación parámetros de operación entre sistemas PCP y BES.

COMPARACION PARAMETROS DE OPERACION ENTRE LOS SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO PCP Y BES PARA EL POZO VEL-266		
DESCRIPCION	BOMBEO CAVIDADES PROGRESIVAS PCP	BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE
Profundidad de Operación Ft	4503	4500
Caudal BFPD	600	560 - 1900
Frecuencia Hz	-	42.7
RPM	130	-
Torque %	25	-
Amperaje	22	-
Costo equipo total US\$	\$ 197.194	\$ 178,700

Fuente: Autor

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para efectos de la simulación se consideró variaciones de más o menos el veinticinco por ciento (25%) del valor base de la IP igual a 0.91 bpd/psi. Para efectos de generar un buen rango en las corridas, para poder determinar la escogencia del equipo.

Para los rangos de caudal de los pozos completados con casing de 7" de diámetro con #26 lbs respectivamente, el pozo seleccionado para la prueba piloto se inicie en el pozo V-266.

Con base del IP de 0,91 se espera una producción de 1950 bpd en superficie la presión del Intake debe de estar alrededor de 190 psi.

El equipo seleccionado para el pozo piloto BES queda conformado por una bomba DN 1800 297 Etapas, con motor Dominator de 68 HP, el variador es VSD DE 163 KVA.

Con la producción actual de 32 BOPD por sistema PCP, se requiere en el escenario optimista un incremento de 58 BOPD adicionales con BES, para un costo neto mensual de US\$ 54,690, al primer mes de operación el punto de inflexión es de US\$ 130 mensuales y el escenario pesimista es de US\$ -56,135.

Respecto a la factibilidad económica se genera un valor presente neto del proyecto VPN de US\$ 120.415, 65 y un TIR del 97%, para una producción esperada mensual de 2700 bls.

El cálculo de los indicadores financieros se hizo de manera conservadora con respecto a la producción esperada con el equipo BES, y aun así en el punto de inflexión con una producción esperada de 1740 bls mensuales es positivo el TIR, una vez se genere el proyecto piloto se espera que el TIR real sea mucho mayor.

La mejor alternativa para la implementación del piloto BES, es la de renta por un periodo de 1 a 3 meses, periodo en el cual se puede evaluar la operatividad, el comportamiento del pozo.

El sistema PCP está en un 15% por encima del costo de la bomba BES cuando se genera una compra directa.

La configuración del equipo BES para su implementación en campo por primera vez, cuenta con el apoyo de las directivas de la empresa para generar oportunidades de incremento de producción.

Tener en cuenta que los costos de servicio con Pulling en caso de intervención del pozo con BES son mayores que el uso de equipo de varilleo para PCP.

Para efectos de la simulación es conveniente realizar corridas con el IP seleccionado de 0.91 bpd/psi para tubería de 3 ½", para mayor producción y disminución de presión en el intake.

BIBLIOGRAFIA

1. ARNOLD, Ken. STEWART, Maurice. Surface Production Operations, vol. 1. Tercera edición. Houston: Elsevier, 2008.
2. BRAVO MENDOZA, Oscar: "Gestión Integral de Riesgos". Tomo I. Bogotá, Julio 2009.
3. BRAVO MENDOZA, Oscar. "Modulo Ingeniería Económica". Instructor Especialización en Gerencia de Hidrocarburos. Bucaramanga Mayo de 2010.
4. ESTADOS UNIDOS, SUMERSIBLE PUMP HANDBOOK, Centrilift, Eight Edition, Oklahoma, 2008.
5. HIRSCHFELDT, Marcelo, RUIZ, Rodrigo. Paper SPE, 124737,"Selection Criteria for Artificial Lift System base on the Mechanical Limits: case Study of Gulf San Jorge Basin".
6. GOMEZ, Álvaro. , Reda Production System, Schlumberger. 2011
7. SANTOS, Nicolás. Variables de producción. Notas de clase, Especialización en producción de hidrocarburos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2009.
8. VANEGAS, Oscar. Modulo Ingeniería Económica. Esp. Producción de Hidrocarburos, 2010.