



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ANÁLISIS Y DISEÑO PARA LA APLICACIÓN DE
BOMBEO ELECTROCENTRÍFUGO EN POZOS
DEL ACTIVO INTEGRAL LITORAL DE TABASCO”**

**INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A:

NAKAZAWA REYES MASARU

AVAL ANTE EL COMITÉ DE TITULACIÓN:

M. EN I. FELIPE DE JESÚS LUCERO ARANDA

MÉXICO, D.F, OCTUBRE, 2011.



ÍNDICE

ÍNDICE

1

RESUMEN:.....	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 1. SISTEMA ARTIFICIAL DE BOMBEO ELECTROCENTRÍFUGO SUMERGIDO.¡Error! Marcador no c	
1.1. Componentes del sistema BEC	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1. Equipo subsuperficial.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.1 Guía o centralizador.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.2. Sensor de fondo.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.3. Motor Eléctrico.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.3.1. Aplicación de los motores REDA	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.3.2. Serie del motor:.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.3.3. Tipo de motor.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.3.4. Configuración del motor, voltaje, amperaje y características especiales del motor.¡Error! Marcador no de	
1.1.1.4. Conexión del motor (Mufa).....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.5. Protector o Sello.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.6. Entrada de fluido standard y Separador de gas.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.7. Bombas Sumergibles.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.7.1. Recomendaciones prácticas para la Selección de la bomba	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.7.2. Curva de operación de la bomba.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.8. Descarga de la bomba.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.9. Cable de Potencia.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.9.1 Aplicación del cable de potencia.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.9.2 Selección de la configuración del cable.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.10. Empacador.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.11. Válvula de venteo.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.12. Válvula de seguridad.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.13. Válvula de pie.	¡Error! Marcador no definido.

1.1.1.14. Unión Ajustable.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.15. Bola Colgadora.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.1.16. Penetrador.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2. Equipo Superficial.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2.1. Cabezal, Bonete y medio árbol de válvulas.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2.2. Conector superficial.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2.3. Caja de venteo.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2.4. Transformador elevador.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2.5. Filtro de Carga.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2.6. Variador de velocidad.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2.7. Transformador acoplador o desfasador.	¡Error! Marcador no definido.
1.1.2.8. Transformador reductor de alto voltaje.	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL SISTEMA BEC	¡Error! Marcador no definido.
2.1. Información requerida para el diseño de aparejos de bombeo electrocentrifugo sumergido.¡Error! Marcador no definido.	¡Error! Marcador no definido.
2.1.1. Prueba de producción.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.2. Tipos de fluidos producidos.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1.3 Estado mecánico del pozo	¡Error! Marcador no definido.
2.1.4 Datos complementarios	¡Error! Marcador no definido.
2.2 Factores que afectan el diseño del aparejo de bombeo electrocentrifugo sumergido.¡Error! Marcador no definido.	¡Error! Marcador no definido.
2.2.1 Capacidad de flujo del pozo	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2. Geometría de flujo	¡Error! Marcador no definido.
2.2.3 Gas libre en la bomba.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4. Separación de gas	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5. Pozos desviados.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.6. Empacadores.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.7. Efectos viscosos	¡Error! Marcador no definido.
2.2.8. Temperatura	¡Error! Marcador no definido.
2.3. Datos requeridos del pozo	¡Error! Marcador no definido.
2.4. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE INSTALACIONES DE APAREJOS DE BOMBEO ELECTROCENTRÍFUGO....	¡Error! Marcador no definido.
2.4.1. Carga dinámica total (CDT).	¡Error! Marcador no definido.

2.4.2.	Número de etapas	¡Error! Marcador no definido.
2.4.3.	Potencia requerida.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5.	Detalle del diseño de instalaciones de aparejos de Bombeo Electrocéntrico Sumergido.	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 3 Análisis de Factibilidad Técnica para la aplicación de sistema BEC a Pozos del ALT		
3.1	POZO B-2	¡Error! Marcador no definido.
3.1.1	Información del Pozo:	¡Error! Marcador no definido.
3.1.2.	Ajuste de los Modelos del Pozo:	¡Error! Marcador no definido.
3.1.2.1.	Modelo de flujo multifásico a la fecha de ajuste.	¡Error! Marcador no definido.
3.1.2.2	Condiciones del pozo para la fecha de aplicación del sistema BEC.	¡Error! Marcador no definido.
3.1.2.3.	Ajuste de los parámetros del pozo en el Software SubPump para el diseño de sistemas BEC.	¡Error! Marcador no definido.
3.1.2.4.	Comportamiento del pozo ajustado en el Software SubPump para las condiciones de diseño.	¡Error! Marcador no definido.
3.1.3.	Diseño del Sistema BEC para el Pozo B-2:	¡Error! Marcador no definido.
3.1.4.	Resultados:.....	¡Error! Marcador no definido.
3.2	POZO Y-42	¡Error! Marcador no definido.
3.2.1.	Información del Pozo:	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2.	Ajuste de los Modelos del Pozo:	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2.1.	Modelo de flujo multifásico a la fecha de ajuste.	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2.2.	Condiciones del pozo para la fecha de aplicación del sistema BEC.	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2.3.	Ajuste de los parámetros del pozo en el Software SubPump para el diseño de sistemas BEC.	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2.4.	Comportamiento del pozo ajustado en el Software SubPump para las condiciones de diseño.	¡Error! Marcador no definido.
3.2.3.	Diseño del Sistema BEC para el Pozo Y-42:	¡Error! Marcador no definido.
3.2.4.-	Resultados:.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3	POZO S 118.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.1	Información del Pozo	¡Error! Marcador no definido.
3.3.2.	Ajuste de los Modelos del Pozo:	¡Error! Marcador no definido.
3.3.2.1.	Modelo de flujo multifásico a la fecha de ajuste.	¡Error! Marcador no definido.
3.3.2.2.	Condiciones del pozo para la fecha de aplicación del sistema BEC.	¡Error! Marcador no definido.

3.3.2.3.	Ajuste de los parámetros del pozo en el Software SubPump para el diseño de sistemas BEC.	¡Error! Marcador no definido.
3.3.2.4.	Comportamiento del pozo ajustado en el Software SubPump para las condiciones de diseño.	¡Error! Marcador no definido.
3.3.3.	Diseño del Sistema BEC para el Pozo S 118:.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.4.	Resultados:.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....		¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		¡Error! Marcador no definido.
BIBLIOGRAFÍA.....		¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN:

El trabajo fue realizado bajo la experiencia obtenida durante el proyecto realizado por el IMP en el Activo Litoral de Tabasco en el "Análisis de la Factibilidad Técnica para la Aplicación del Sistema BEC en Pozos del AILT", para realizar este trabajo se requirió de diversa información como son datos PVT, historia de producción, historia de presiones etc. Para la elaboración del diseño se necesitó de software especializado como son Wellflow, Prosper y Subpump.

Sin duda alguna una de las estrategias a seguir de PEP, para maximizar la recuperación de hidrocarburos, incrementar y/o mantener los niveles de producción de sus campos y tener un mayor factor de recuperación de los yacimientos, es la de implementar sistemas de levantamiento artificial que permitan tener las condiciones de operación necesarias para suministrar la energía que necesitan los pozos para levantar los hidrocarburos hasta la superficie.

Bajo ese contexto el Activo Integral Litoral de Tabasco, en función de sus necesidades ha tenido a bien considerar la factibilidad de implementar sistemas artificiales BEC para contribuir a mantener o incrementar la plataforma de producción.

En base a lo anterior y dentro de la estructura de éste trabajo en primera instancia se mencionan aspectos, consideraciones y criterios relevantes que se deben de conocer y tomar en cuenta para la aplicación de sistemas artificiales de producción, posteriormente se definen los requerimientos para el diseño del sistema artificial.

Para el análisis de cada uno de los pozos se lleva a cabo la recopilación, análisis y selección de la información dentro de la cual entre otros aspectos es necesario contar con las condiciones de operación del pozo (presiones y temperaturas), estado mecánico del mismo, tipo de fluido producido y volúmenes de producción manejados, posteriormente una vez analizada la información, se realiza el ajuste del modelo de simulación del pozo mediante la aplicación de software especializado para reproducir su comportamiento a las condiciones actuales de operación y a la presión estimada de aplicación, una vez calibrado y modelado el pozo se llevó a cabo el diseño del sistema BEC que implica entre otros aspectos la definición del tipo de bomba, número de etapas, tipo de cable, potencia del motor así como el voltaje y requerimiento de energía en superficie (KVA).

INTRODUCCIÓN

Se sabe que la formación del petróleo está asociada al desarrollo de rocas sedimentarias, depositadas en ambientes marinos o próximos al mar, y que es el resultado de procesos de descomposición de organismos de origen vegetal y animal que en tiempos remotos quedaron incorporados en esos depósitos.

El Petróleo no se encuentra distribuido de manera uniforme en el subsuelo hay que tener presencia de al menos cuatro condiciones básicas para que éste se acumule:

- Debe existir una roca permeable de forma tal que bajo presión el petróleo pueda moverse a través de los poros microscópicos de la roca.
- La presencia de una roca impermeable, que evite la fuga del aceite y gas hacia la superficie.
- El yacimiento debe comportarse como una trampa, ya que las rocas impermeables deben encontrarse dispuestas de tal forma que no existan movimientos laterales de fuga de hidrocarburos.
- Debe existir material orgánico suficiente y necesario para convertirse en petróleo por el efecto de la presión y temperatura que predomine en el yacimiento.

La industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el petróleo de acuerdo a su densidad API (parámetro internacional del Instituto Americano del Petróleo, que diferencia las calidades del crudo.)

Para el crudo extra pesado se tiene una densidad en grados API de 10.0, para el crudo pesado se tiene un rango de 10.0 a 22.3, para el mediano el rango se encuentra entre 22.3 y 31.1 °API, se considera como crudo ligero aquel que esté entre 31.1 y 39.0 y todo aquel que sea mayor de 39.0 °API se considera como crudo súper ligero.

Para exportación, en México se preparan tres variedades de petróleo crudo:

Maya. Pesado con densidad de 22 °API y 3.3% de azufre en peso.

Istmo. Ligero con densidad de 33.6 grados °API y 1.3% de azufre en peso.

Olmeca. Superligero con densidad de 39.3 grados °API y 0.8% de azufre en peso.

El petróleo mexicano es materia prima de calidad que se encuentra presente en toda la industria nacional e internacional como lo es en: transporte, alimentos, fármacos, fertilizantes, pinturas, textiles, etc.

La transformación y aprovechamiento de los recursos naturales contribuye en gran medida al progreso y desarrollo de un país. El procesamiento del petróleo crudo y del gas asociado se ha incrementado en el ámbito mundial en los últimos años como un resultado del crecimiento de la población que demanda mayor cantidad de combustibles y lubricantes, y del desarrollo de tecnologías que permiten el procesamiento de los hidrocarburos para la generación de productos de alto valor agregado de origen petroquímico.

Como es de conocimiento, la información inicial que se emplea para dimensionar un sistema artificial es muy importante y debe de ser lo más real posible para asegurar el tamaño apropiado de dichos SAP. Esta información puede clasificarse en las siguientes cuatro categorías generales.

- 1) Comportamiento del flujo del pozo y del yacimiento (IPR).
 - 2) Geometría del pozo.
 - 3) Característica de los fluidos del pozo.
 - 4) Objetivos del diseño y requerimientos preestablecidos de suministro de potencia, etc.
-
- 1) El comportamiento de flujo del pozo y yacimiento, establece la capacidad máxima de producción del pozo y también determina la presión para cualquier gasto de diseño. La presión fluyente para cualquier gasto de diseño se determina por la extensión de los datos de la curva de comportamiento de flujo en una de las dos formas generalmente aceptadas. La línea recta del índice de productividad se emplea si no hay gas o si todo el gas está en solución. La curva de comportamiento de flujo (IPR), se usa cuando la presión de yacimiento cae abajo de la presión de burbujeo en el flujo hacia el pozo, causando que el gas se libere y que fluyan dos fases en el yacimiento.

El modelo de flujo multifásico de un pozo provee información muy valiosa para eficientar el dimensionamiento adecuado de un sistema BEC. En la Figura 1 se muestra la aportación del análisis nodal para el diseño de un SAP.

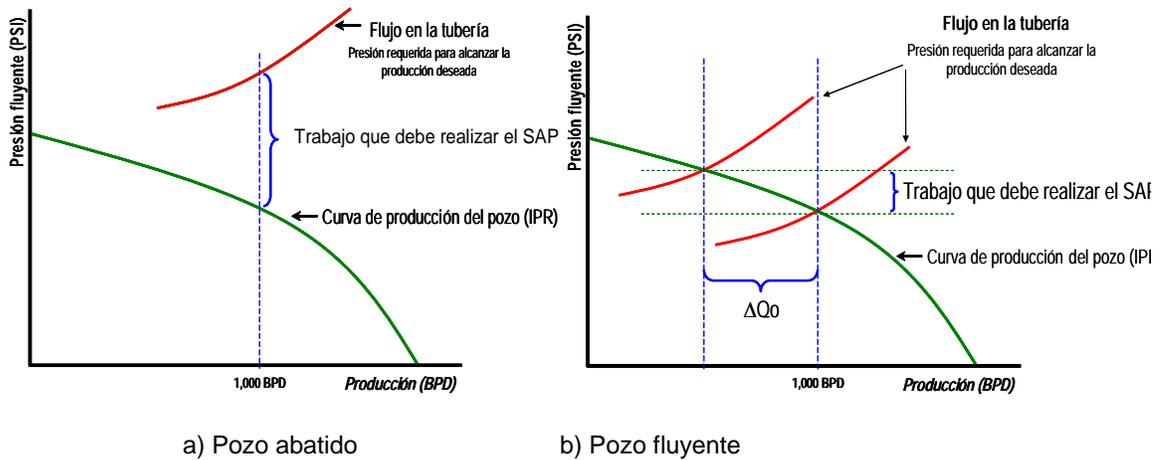


Figura I.- Análisis nodal de un pozo candidato a SAP: a) Abatido, b) Fluente.

- 2) El tamaño y peso de la tubería de revestimiento determinan el diámetro máximo del motor y la bomba que ajustarán en el pozo. Esto es importante ya que, generalmente, se tendrá la instalación más eficiente cuando se utilice la bomba de mayor diámetro que tenga el rango de flujo adecuado. La profundidad total y la de los intervalos perforados determinan respectivamente la profundidad posible de colocación de la bomba y la máxima profundidad a la que puede colocarse. Si las perforaciones quedan arriba del motor, es necesario usar una camisa para obligar al flujo a que pase externamente por el motor y lo enfríe.
- 3) Las densidades relativas y porcentaje de los líquidos y gas componen la mezcla que se bombea, determinando la potencia del motor. Por lo tanto la densidad relativa del agua y del gas, la densidad API del aceite, el porcentaje de agua y la relación gas-aceite son datos necesarios.

La viscosidad, si está disponible, es necesaria ya que las curvas publicadas de comportamiento de la bomba están basadas en pruebas con agua.

La temperatura cerca del fondo y en la cabeza del pozo son necesarias, particularmente si hay gas presente, ya que la cantidad de gas en solución y el volumen del gas libre son sensibles a la temperatura y cambian a lo largo del pozo y de la tubería de producción. También la selección del material del cable para el motor queda afectada por la temperatura del líquido a la cual está expuesto.

Los datos PVT para cada presión, relación gas-aceite en solución y el factor de volumen de la formación son necesarios si hay gas presente. Si para un caso en particular se desconocen los datos PVT pueden aproximarse mediante las correlaciones ya establecidas.

- 4) El suministro o requerimiento de energía determinará el tamaño de la infraestructura y otros componentes.

Sistemas Artificiales de Producción (SAP)

Un sistema de levantamiento artificial tiene por finalidad aumentar la presión de fondo fluyente para reducir la caída de presión en el yacimiento, asegurando una mayor recuperación de las reservas. Para seleccionar el método de producción más eficiente se deben considerar las características del yacimiento, fluidos producidos, profundidad, presión, temperatura, RGA inicial y futura, configuración del hoyo, infraestructura requerida y energía disponible para el sistema, con el fin de producir de una manera óptima y rentable de acuerdo al plan de explotación.

Cuando un pozo ha dejado de fluir naturalmente o no produce el volumen esperado, según su potencialidad, entonces se requiere la aplicación de algún tipo de energía externa (no natural) que permita producirlo o que incremente su producción a un mayor valor. Para ello, se debe utilizar algún método de sistema de levantamiento artificial.

En la actualidad existen, principalmente, 3 métodos para el levantamiento artificial: Bombeo Neumático (BN), Bombeo Mecánico (BM) y Bombeo Hidráulico (BH); en los que se incluyen nueve sistemas básicos de levantamiento artificial utilizados en pozos, los cuales se mencionan a continuación:

- Bombeo Neumático (BN)
 - 1- BN continuo
 - 2- BN intermitente
 - 3- BN con émbolo viajero.

- Bombeo Mecánico (BM)
 - 1- Balancín (BM Tradicional) o Bimba
 - 2- Unidad Hidráulica (Rotaflex y otros)
 - 3- Bombeo de Cavidad Progresiva (BCP)
 - 4- Bombeo Electro-centrífugo (BEC).

- Bombeo Hidráulico (BH)
 - 1- Tipo Pistón
 - 2- Tipo Jet

Las variables más importantes que intervienen en la selección de algún sistema artificial de producción, son las siguientes:

- Profundidad de los pozos.

- Cantidad de yacimientos o formaciones existentes.
- Características de los fluidos producidos.
- Productividad del yacimiento.
- Presión y temperatura del yacimiento.
- Infraestructura disponible.
- Experiencia y conocimiento en el sistema a instalar.
- Producción de agua, arena, asfáltenos, parafinas, etc.
- Diámetro de la TR.
- Diámetro de la TP.
- Desviación del pozo.

Es importante considerar que para los costos de capital, costos de operación y mantenimiento además de las reservas a recuperar, las cuales deben sustentarse con un análisis económico en donde intervenga el costo total que representará tener operando el sistema durante la vida del proyecto, en función de los precios esperados de aceite y gas en el mercado y algunas consideraciones adicionales.

El sistema Artificial que presenta mejores condiciones de aplicación técnica y operacional en los pozos de B, Y y S es el Bombeo Electrocentrífugo Sumergido (BEC). Los sistemas BCP, BM y BH no son factibles a operar en estos pozos, debido a las altas temperaturas que se manejan, alta RGA y la limitación de incrementar u optimizar los gastos de aceite comparado con el BEC, adicionalmente la contaminación que pudiera ocurrir al medio ambiente marino por fugas en los fluidos de ciertos equipos.

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas de levantamiento artificial.

Bombeo mecánico

Consiste en combinar un cilindro (barril) y un pistón (émbolo) con válvulas que transfieren el fluido del pozo al interior de la tubería de producción, para así desplazarlo a la superficie con movimientos

repetitivos ascendente-descendente de una sarta de varillas que conecta la bomba con el equipo de superficie, ver Figura 2.

Ventajas

- Es el método fácil y simple de operar por la gente de campo.
- Es utilizado para pozos que han dejado de fluir.
- Las unidades son fácilmente reutilizables y reparables.
- Puede manejar fluidos con altas temperaturas y viscosidad.
- Se realizan fácilmente tratamientos contra la corrosión y formación de incrustaciones.
- Permite realizar monitoreo del comportamiento del pozo y diagnósticos con mucha precisión.

Limitaciones

- Operan con dificultad en pozos con desviaciones mayores de 35° (15°/100 pies).
- La producción de arena afecta la eficiencia de la bomba de subsuelo.
- Fluidos muy corrosivos afectan su funcionamiento.
- La presencia de gas disminuye la eficiencia volumétrica (RGA mayores de 70 m³/m³).
- La formación de parafinas puede causar atoramientos.
- Las características del equino no lo hacen adecuado para instalarse en pozos costa afuera.
- No permite operaciones de línea de acero y toma de registros de fondo.

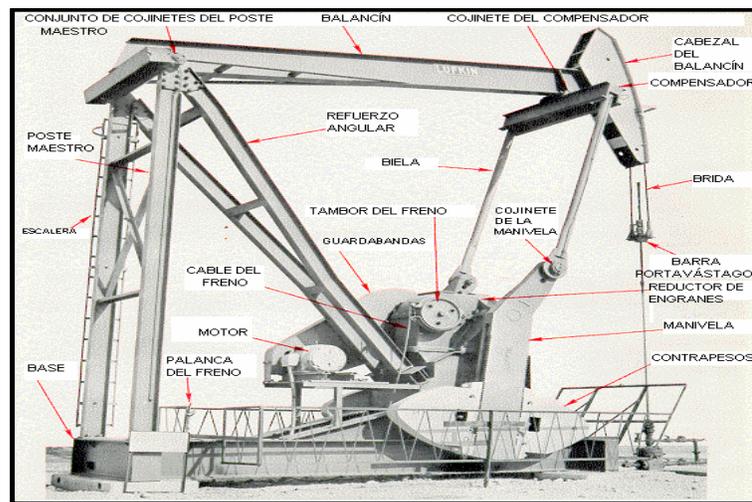


Figura 2.- Sistema de Bombeo Mecánico

Bombeo Neumático Continúo.

Este medio de levantamiento de fluidos es desde el fondo del pozo hasta la superficie. La inyección de gas puede realizarse a través de una perforación (Puncher) en la T.P., una válvula calibrada o una T.F. colgada. El uso de válvulas permite un mejor control del volumen de gas de inyección. El volumen continuo de gas a alta presión es inyectado generalmente por el espacio anular a la TP, en uno o más puntos de inyección, para aligerar la columna de fluidos, hasta el punto en que la

reducción de la presión de fondo permita una diferencial suficiente a través de la formación, causando que el pozo produzca el gasto deseado.

Ventajas

- Permite producir altos caudales de fluidos (mayores de 30,000 BPD).
- Opera bien en pozos productores de arena y sólidos
- No presenta problemas en pozos desviados.
- Opera bien con pozos productores de gas.
- El sistema es muy flexible. El mismo aparejo puede operar entre un rango amplio de gastos.
- Permite operaciones con línea de acero y toma de registros de fondo.
- El gas de inyección puede ser suministrado de instalaciones remotas.
- No tiene partes subsuperficiales movibles.
- No obstaculiza el área.
- El equipo subsuperficial no es costoso.

Limitaciones

- Se requiere suministro adecuado de gas dulce a lo largo de la explotación del campo.
- Costosas líneas de gas para pozos muy distanciados.
- Altos represionamientos reducen drásticamente los gastos.
- Altos costos en la operación y mantenimiento de los compresores.
- Dificultad para bombear crudos menores a 15° API debido al alto efecto de la fricción y canalización del gas, lo cual se empeora con el enfriamiento del gas de inyección.
- Es el método menos eficiente comparando la energía recibida con la entregada.
- Los requerimientos del volumen de gas aumenta significadamente a medida que declina la presión del yacimiento.

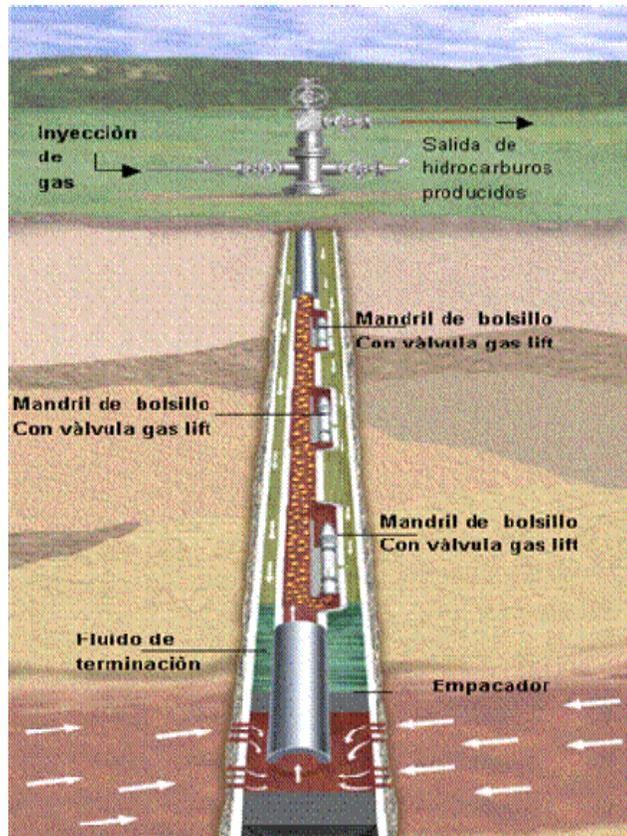


Figura 3.- Bombeo neumático continuo.

Bombeo Neumático Intermitente

Este sistema de BN, es esencialmente el mismo sistema anterior, pero aplicado para pozos con gastos bajos (aprox. gastos menores de 600 bpd), bajos índices de productividad (PI) y altos valores de presiones estáticas (Pws) o altos PI y bajos valores de Pws.

Sus ventajas y limitaciones son similares al bombeo neumático continuo. A continuación señalamos aquellas que se diferencian:

Ventajas

- Reduce la presión fluyente de fondo mucho más que en el bombeo neumático continuo.
- Maneja gastos mucho más pequeños sin el problema de cabeceo asociado con el BN continuo.

Limitaciones

- Aplicado para bajos gastos de producción

- La presión de fondo fluyente (P_{wf}) promedio es alta si se compara con el bombeo mecánico.
- Baja eficiencia
- Las presiones fluctuantes causan problemas de manejo del equipo.
- Requiere ajustes frecuentes y supervisión continua con procedimientos de ensayo y error.

Bombeo Hidráulico (Tipo: Jet y Pistón)

Consiste en la transmisión de energía al fondo del pozo a través de un fluido motriz el cual, es bombeado desde la superficie, a través de la tubería de producción y pasando por una boquilla o un pistón, según sea el caso, ubicada en el fondo del aparejo la que instantáneamente transforma la energía mecánica en energía cinética (contenida en el fluido motriz de presión a velocidad).

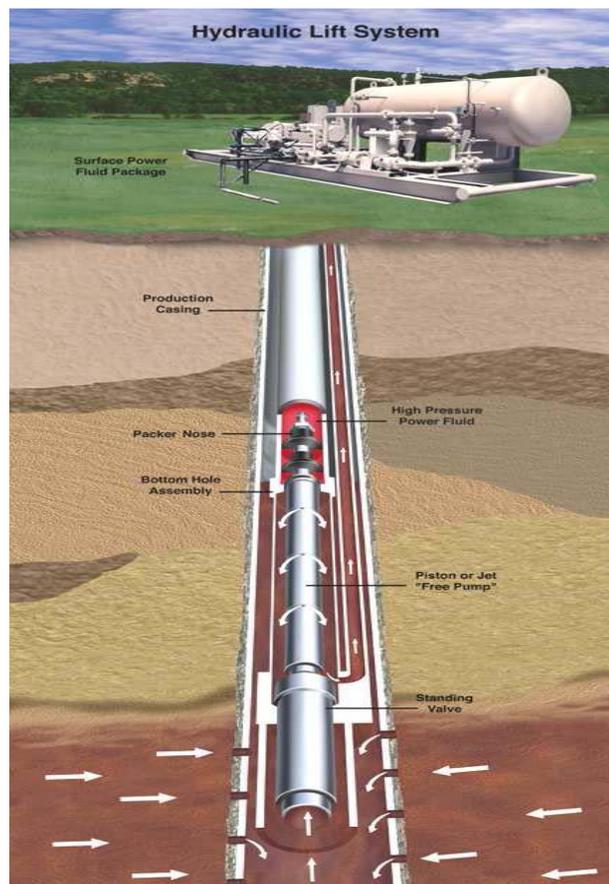


Figura 4.- Sistema de Levantamiento Artificial con Bombeo Hidráulico

Ventajas

- Levantamientos profundos, particularmente para las bombas reciprocantes.

- Puede instalarse en pozos desviados.
- No tiene partes móviles (en la bomba JET), por tanto, no le afecta la producción de arena.
- Aplicable para el manejo de fluidos pesados y viscosos.
- Fácil inyección de inhibidores de corrosión con el fluido motriz.
- Las bombas JET tiene vida operativa larga si no operan en el rango de cavitación

Limitaciones

- La Pws más alta que cuando se utiliza BN o BEC, por lo que la producción a ser obtenida es menor que con el resto de los sistemas de levantamiento.
- Limpieza de fluidos de potencia (menos críticos para las bombas "JET")
- Vida corta para bombas reciprocantes.
- Equipo de fluido de potencia es voluminoso y requiere de un área grande y fuerte para soportar el peso de sus equipos de transferencia y bombeo superficie, debido a que necesita de grandes volúmenes para el almacenamiento, tratamiento y transferencia de fluidos. No aplicable costa-afuera en plataformas aligeradas.
- Requiere dos sargas adicionales para bombear y retornar el fluido de potencia.
- Desde el punto de vista ambiental, es un sistema muy susceptible a presentar fugas a altas presiones, las cuales contaminan el ambiente. Para las operaciones costa-afuera, puede ocasionar altos niveles de contaminación marina, cuando ocurre alguna fuga de aceite y/o fluido motriz considerable.

Bomba de cavidades progresivas

Consiste en hacer rotar un engranaje helicoidal (rotor) dentro de otro (estator) para desplazar un fluido de un punto a otro. En los pozos de aceite, la bomba es conectada a la superficie por medio de

varillas, las cuales se conectan con un motor eléctrico de engranaje que le imparte el movimiento de rotación en la superficie.

Actualmente, el sistema BCP viene acompañado de un “Variador de Velocidad”, el cual permite regular la velocidad de rotación por minuto del rotor (PRM) rotor.

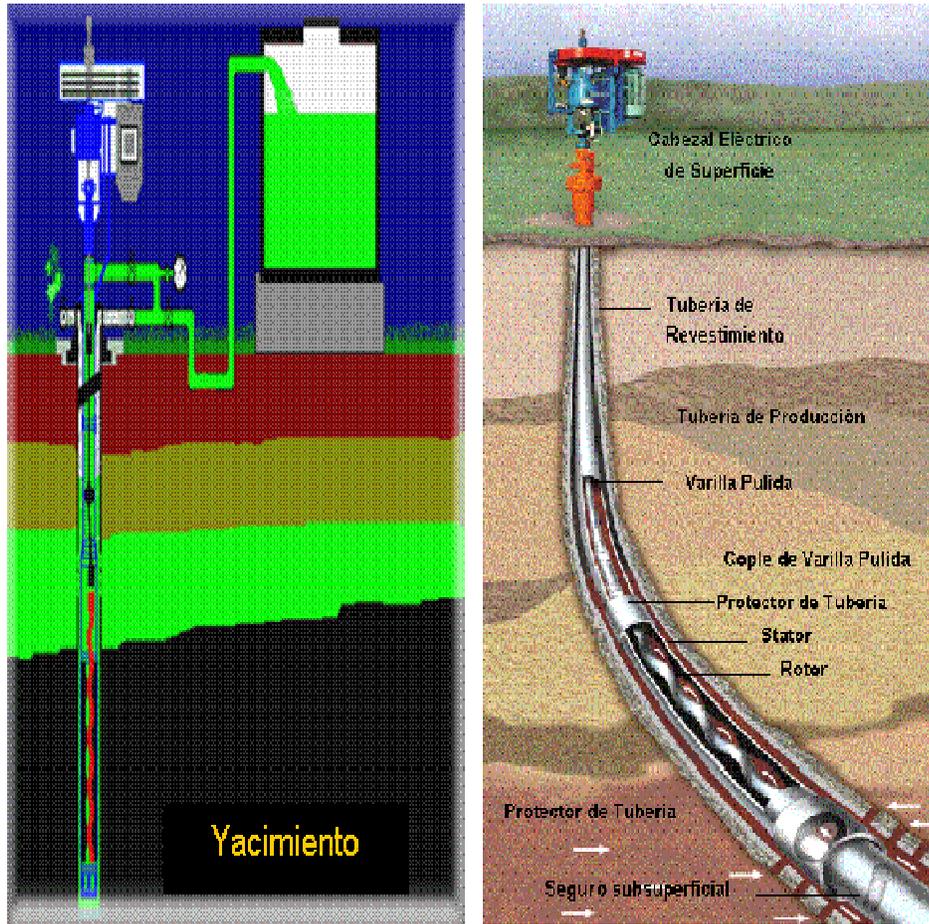


Figura 5.- Sistema Integral de Levamiento Artificial con Cavidades Progresivas

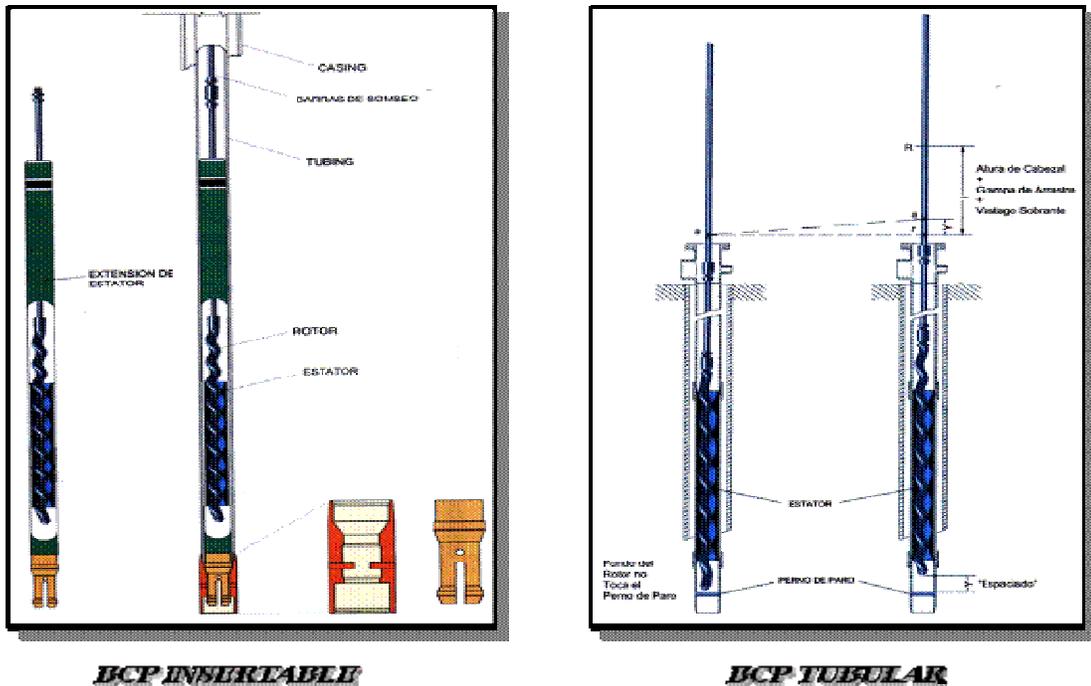


Figura 6.- Bombas de Cavidades Progresivas.

Ventajas

- La bomba es del tipo insertable se instala y se extrae con varillas.
- El costo inicial de inversión es moderado.
- Puede utilizar motores eléctricos de fondo para manejar fluidos viscosos.
- Relativo manejo de sólidos (arena).
- Aplicable cuando se produce parafina.
- Alta eficiencia eléctrica.
- Buen comportamiento en aceites pesados

Desventajas

- Los elastómeros en el estator se deforman en algunos fluidos del pozo (aromáticos).
- Pierde eficiencia con la profundidad.
- Rotación de las varillas desgasta la TP.
- Sobre torsión en varillas aumenta con la profundidad.
- No aplicable cuando existen altas temperaturas.

Embolo viajero

Consiste en un pistón que se instala dentro del aparejo de producción el cual es levantado hasta la superficie por la presión del gas producido por el pozo.

Ventajas

- No requiere de fuente de energía externa, usa la energía (gas) del pozo para levantar el pistón.
- Mantiene el aparejo de producción libre de depósitos.
- Bajo costo de levantamiento.
- Fácil mantenimiento.
- Excelente para el manejo de gas.
- Se puede usar en pozos desviados.
- Puede producir el pozo hasta su agotamiento.
- Excelente para el manejo de fluidos corrosivos.

Desventajas

- Gastos menores de 200 BPD.
- No se utiliza en tuberías telescopiadas.
- Requiere de un valor de RGL, para manejar el sistema.
- Requiere de bajas presiones de separación.
- La presencia de sólidos daña el pistón.
- Requiere supervisión, monitoreo, diagnóstico continuo para obtener la mayor eficiencia del sistema.

CAPITULO 1

1. SISTEMA ARTIFICIAL DE BOMBEO ELECTROCENTRÍFUGO SUMERGIDO.

Cuando inicia la explotación de un yacimiento por lo general su energía es suficiente para conducir los hidrocarburos producidos a las condiciones requeridas en las instalaciones superficiales de recolección y tratamiento, a esta etapa de explotación se le conoce como vida fluyente. Conforme avanza la extracción esta energía va disminuyendo paulatinamente, en función del ritmo de extracción y del tipo de empuje del yacimiento, hasta llegar un momento en que la energía ya no es suficiente para aportar los fluidos a las condiciones requeridas. Cuando esta situación se presenta entonces es necesario considerar nuevos métodos que proporcionen la energía adicional para continuar la explotación. A esta forma de producción se le conoce como "Sistemas Artificiales de Producción" y su función consiste, como su nombre lo indica, en suministrar esa energía adicional para continuar con la vida productiva de los yacimientos.

A nivel mundial uno de los sistemas más utilizados es el BEC el cual consiste en una bomba centrífuga de múltiples etapas con motor eléctrico que operan sumergidas en líquido en el fondo del aparejo de producción y desde ahí elevan los fluidos hasta superficie a la presión requerida en la boca del pozo también conocida como PTH (pressure top hold).

Los sistemas artificiales más comúnmente conocidos a nivel mundial son el Bombeo Neumático Continuo e Intermitente, (BNC, BNI), Bombeo Electrocentrífugo (BEC), Bombeo Mecánico (BM), Bombeo Hidráulico tipo pistón y jet (BHP-BHJ) y Bombeo de Cavidades Progresivas (BCP), entre otros.

El bombeo electro-centrífugo consiste de una bomba centrífuga de etapas múltiples, impulsada por un motor eléctrico y conectado a la superficie por medio de un cable eléctrico, como se observa en las Figura1.1 y Figura 1.2

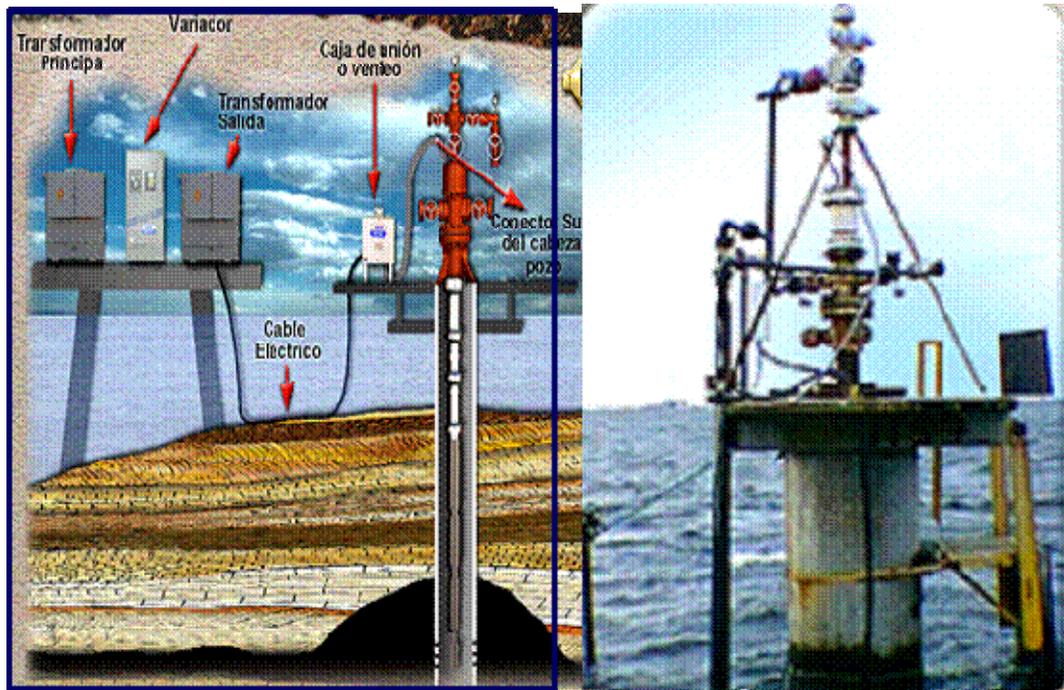


Figura 1.1.- Sistema de Levantamiento Artificial con Bombeo Electrocentrifugo Sumergido

Ventajas

- Puede bombear gastos altos (mayores de 30,000 BPD).
- El suministro de energía puede localizarse en lugares muy distantes.
- Se puede monitorear los parámetros de fondo con el multisensor de fondo.
- Aplicable en pozos desviados.
- Aceptables aplicaciones en operaciones de costa afuera.
- Fácil tratamiento contra corrosión y formación de incrustaciones.
- Bajo costo de bombeo para altos caudales de producción (gastos).
- Facilidad para el manejo de crudos mayores a 10° API, el cual es mejorado con el calor generado por el motor en operación.
- No obstaculiza circulación urbana, cuando se usa en ambientes terrestres.

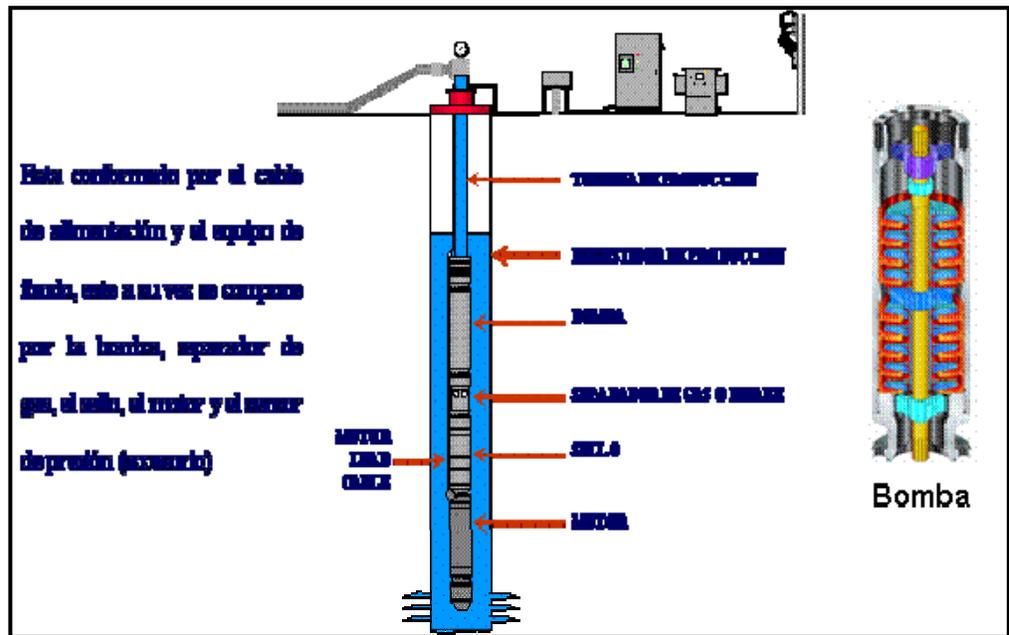


Figura 1. 2.- Sistema de Levantamiento Artificial con Bombeo Electrocentrífugo Sumergido.

Limitaciones

- Alto costos de inversión inicial.
- Requiere de infraestructura adecuada para el suministro de energía motriz (electricidad).
- Requiere suministro de altos voltajes eléctricos (1000-4000V)
- Es limitado para gastos pequeños (menores de 2500 bpd). No aplica ni se justifica la inversión para gastos muy pequeños.
- En ocasiones, el cable de potencia presenta problemas.
- Sensible a la producción de gas y arena.
- Altos costos de mantenimiento o servicio, debido a que todo el aparejo debe ser extraído. Requiere de plataforma para su instalación y servicio.

1.1. Componentes del sistema BEC

Un sistema BEC se compone de dos partes principales, de acuerdo a su ubicación, en equipo superficial y subsuperficial, los cuales están formados por los siguientes componentes:

Equipo subsuperficial:

- Guía.
- Sensor de fondo.
- Motor eléctrico.
- Conexión del motor (Mufa)
- Protector.
- Entrada de fluidos estándar y Separador de gas.
- Bomba centrífuga.
- Descarga de la bomba.
- Cable de potencia.
- Empacador.
- Válvula de venteo.
- Válvula de seguridad.
- Válvula de pie.
- Unión Ajustable.
- Bola colgadora.
- Penetrador.

Equipo superficial:

- Carrete adaptador, bonete y medio árbol de válvulas.
- Conector superficial.
- Caja de venteo.
- Transformador elevador.
- Variador de velocidad.
- Transformador acoplador o desfasador.
- Transformador reductor de alto voltaje.
- Seccionador de alto voltaje.

1.1.1. Equipo subsuperficial

1.1.1.1 Guía o centralizador.

Se utiliza para evitar que el equipo se vaya golpeando con las paredes de la tubería de revestimiento durante la instalación o cuando entre a un liner. Si existiera una obstrucción primero golpearía a la guía protegiendo así al sensor de fondo.

1.1.1.2. Sensor de fondo.

Es una de las partes más importantes del sistema B.E.C. ya que envía la información de los parámetros de operación del equipo y del pozo como son temperaturas y presiones las cuales se utilizan para determinar en qué condiciones opera el equipo y así poder realizar alguna acción correctiva para mejorar la operación del sistema.

La información es enviada a través del cable de potencia como una señal digital, la cual es decodificada en superficie por una computadora para mostrar los valores y tendencias. Los parámetros que registra el sensor son:

Presión de Entrada.

Temperatura de Entrada.

Temperatura del Motor.

Aislamiento del cable.

1.1.1.3. Motor Eléctrico.

Los principios básicos de diseño y operación de los motores de B.E.C. son los mismos que los motores eléctricos normales de superficie. Son motores de inducción, trifásicos, tipo jaula de ardilla, con dos polos de inducción.

Puesto que el motor de B.E.C. debe ser instalado en el interior del casing, debe tener una geometría adecuada. Debido al ambiente en el cual opera el motor también existen otras diferencias en el diseño y construcción del motor de B.E.C. Los motores son llenados completamente con un aceite mineral altamente refinado o con aceite sintético el cual lubrica los cojinetes y provee resistencia dieléctrica y

conductividad térmica para disipar el calor generado hacia el housing del motor. El calor es luego transferido al fluido que pasa por la superficie externa del motor. El thrustbearing del motor soporta la carga de los rotores y eje.

El motor puede ser utilizado con corriente alterna de 60 Hz ó 50 Hz. Físicamente no hay diferencia entre un motor para operación a 50 Hz y uno de 60 Hz, con excepción de la placa de datos del motor.

Los motores REDA están disponibles en cinco series diferentes: 375, 456, 540, 562 y 738 para aplicaciones en pozos con casing de diámetro externo de 4.50", 5.50", 6.625", 7.00", 8.625" y mayores, respectivamente.

El comportamiento de los motores cambia de acuerdo a la carga a que están sometidos. Cada tipo de motor tiene sus curvas de rendimiento de velocidad, factor de potencia, eficiencia y amperaje en función del porcentaje de carga.

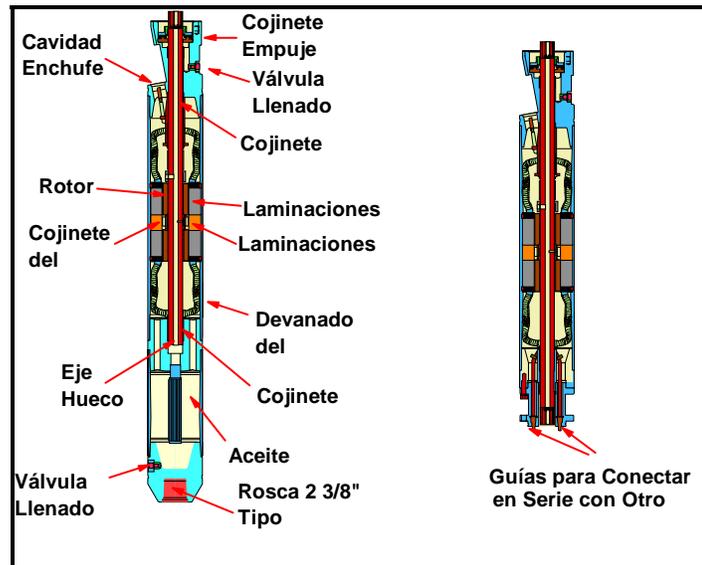


Figura. 1.3 Corte de un motor de B.E.S.

1.1.1.3.1. Aplicación de los motores REDA

Reda dispone de diferentes tipos de motores para cubrir la demanda en diferentes tipos de aplicaciones y condiciones de operación. El rango de potencia de los motores cubre aplicaciones desde 7.5 HP hasta 1,170 HP en casing de 7 pulgadas.

Cuando se calcula la potencia requerida del motor para la aplicación hay algunas consideraciones operativas que se deben tomar en cuenta, como si el sistema operará con switchboard a frecuencia fija

50 o 60 Hz o a frecuencia variable y si el programa de workover incluye el control del pozo con fluido de alta gravedad específica. Si el diseño del equipo se hace solamente considerando la potencia requerida para manejar el fluido de producción, que en muchos casos puede tener una gravedad específica mucho menor que el fluido de control, la potencia calculada para el motor puede ser mucho menor a la potencia requerida para descargar el fluido de control. Si se tiene previsto operar el equipo con un switchboard sería necesario sobredimensionar el motor.

Después de que en el diseño, considerando todas las condiciones de Operación, se ha determinado la potencia requerida por el B.E.C. incluyendo la(s) bomba(s), separador de gas, AGH, protector(s), etc. se debe seleccionar el motor que se instalará en el pozo.

Como se puede ver en la sección de motores del catálogo de productos de REDA, existen varios motores que cumplen o exceden la potencia requerida y por tanto podrían servir para la aplicación. El objetivo es seleccionar el motor apropiado.

El Rango de los Motores *REDA* a 60 Hz

Ser.	Diámetro	Tipo	Rango(HP)	Rango (HP)	Máx (HP)	Máx, Secc.
			Sección Simple	TANDEM	TANDEM	TANDEM
375	3.75"	SK	7.5 - 25.5	30 - 127	127	5
		SX	7.5 - 25.5	30 - 127	127	5
456	4.56"	SK	12.5 - 150	175 - 300	300	2
		SX	12.5 - 150	175 - 300	300	2
		MK	10 - 120	140 - 240	240	2
		MX	10 - 120	140 - 240	240	2
		PK	10 - 120	140 - 240	240	2
		PX	10 - 120	140 - 240	240	2
540	5.40"	SK	25 - 250	300 - 750	750	3
		SX	25 - 250	300 - 750	750	3
		MK	20 - 200	240 - 600	600	3
		MX	20 - 225	240 - 600	600	3
		PK	20 - 200	240 - 600	600	3
		PX	20 - 225	240 - 600	600	3
562	5.62"	Dominat or	30 - 450	300 - 1170	1170	3
738	7.38"	SX	200 - 340	400 - 999	999	3

NOTAS:

⇒ La potencia de los motores esta dada en HP, basadas en operación a 60 Hz y en motores refrigerados por agua con velocidad de flujo mínima de 1ft/seg. Velocidades menores de flujo y características del fluido pueden disminuir la potencia efectiva del motor.

Aunque en algunas ocasiones los equipos deben ser instalados de inmediato y por tanto el proceso de selección del motor se limita a verificar si en la bodega existe disponible un motor de la potencia requerida, este no el caso general.

Los factores que se consideran en el proceso de selección del motor incluyen:

- Serie y tipo del motor,
- Configuración del motor, voltaje, amperaje, sección simple o tandem y características especiales de operación.
- Características de operación a las condiciones de diseño y máxima temperatura de operación del motor.

1.1.1.3.2. Serie del motor:

En general, al igual que con las bombas, el principio básico es seleccionar el motor de mayor diámetro que pueda ser instalado libremente dentro del casing.

Los motores de mayor diámetro normalmente son menos costosos.

Mientras mayor es el diámetro del motor, mayor es la potencia que puede entregar por unidad de longitud.

Los motores de mayor diámetro pueden entregar más potencia sin la necesidad de utilizar motores en "tándem". ***“Mientras más simple el Sistema, mejor”.***

1.1.1.3.3. Tipo de motor

Junto con el desarrollo e introducción de nuevos tipos de motores, REDA ha cambiado la designación clásica de sus motores y se ha introducido una nueva nomenclatura que provee importante información para la aplicación del motor.

El tipo de motor se designa con dos letras:

La primera letra es un código que da información acerca del **Rating del motor**:

S = Standard	250°F BHT -	Potencia fija
P = High Performance	250°F BHT.-	Potencia fija, rating conservativo
M = Intermediate	300°F BHT.-	Potencia fija, rating conservativo
R = Optimum	400°F	Temperatura Interna del motor. Potencia variable, rating óptimo.
H = Hotline	500°F	Temperatura Interna del motor. Potencia fija.

La segunda letra es un código que provee información referente a las **características internas del tipo de aislamiento**.

K = Devanado convencional y barniz.

X = Nuevo material de devanado patentado, no usa barniz.

La segunda letra es un código que provee información referente a las **características internas del tipo de aislamiento**.

K = Devanado convencional y barniz.

X = Nuevo material de devanado patentado, no usa barniz.

La segunda letra es un código que provee información referente a las **características internas del tipo de aislamiento**.

K = Devanado convencional y barniz.

X = Nuevo material de devanado patentado, no usa barniz.

1.1.1.3.4. Configuración del motor, voltaje, amperaje y características especiales del motor.

Después de seleccionar la serie de acuerdo a la potencia requerida ya se puede determinar si será necesario un solo motor o un tándem de motores.

Ahora debemos seleccionar el voltaje del motor. En principio podría parecer confuso ver que para el mismo tipo de motor se tienen varios motores de la misma potencia pero de diferente voltaje y amperaje.

60HZ **50HZ** Ratings

HP	Volt	Amps	Type	L	Wt
				(Ft)	(Lb.)

Carbon Steel MK Part Number

Redalloy MK Part Number

100	83	1305	1088	51.1.5	S	15.7	1007
					UT	15.8	
		2313	1928	27	S	15.7	1007
					UT	15.8	
120	100	1105	921	69.5	S	18.5	1194
					UT	18.5	
					CT	18.8	
		2270	1892	32.5	S	18.5	1194
			UT	18.5			
140	117	1022	852	85	S	21.1.2	1380
					UT	21.1.2	
					CT	21.1.5	
		1299	1083	69.5	S	21.1.2	1380
					UT	21.1.2	
					CT	21.1.5	
2101	1751	40.5		S	21.1.2	1380	
					UT		21.1.2

1089846
1090216
1089853
1090224
1089861
1090232
1090372
1089879
1090240
1089887
1090257
1090380
1089895
1090265
1090398
1089903
1090273

1090943
1091313
1090950
1091321
1090968
1091339
1091479
1090976
1091347
1090984
1091354
1091487
1090992
1091362
1091495
1091008
1091370

Al ser los motores de la misma potencia, el producto de los Voltios y los Amperios debe ser esencialmente constante. Por ejemplo, para un HP determinado, si tenemos un motor de 1000 V y 50 Amps, un motor de 2000 V debe ser de 25 Amps y uno de 500 V debe ser de 100 Amps.

En otras palabras, los KVA son constantes. Los motores de alto voltaje no son ni más ni menos eficientes que los de bajo voltaje.

La razón por la cual se tienen varios voltajes en motores de la misma potencia está en el balanceo de pérdidas en el cable de potencia. Bajo voltaje implica alto amperaje resultando en una mayor caída de voltaje en el cable de potencia. Aunque la eficiencia del motor no cambia, la eficiencia global del sistema disminuirá con mayor amperaje.

Si el amperaje es demasiado alto, es posible que el motor no arranque debido a la caída de voltaje transitoria que ocurre al arrancar. Si el motor no recibe en los terminales más del 50% del voltaje nominal, es posible que no arranque.

Los motores normales de superficie, generadores, transformadores, arrancadores, etc. vienen en voltajes estandarizados tales como 460V, 4160V, 2300V, etc. y 60 Hz.

La caída de voltaje en el cable de potencia. Los motores B.E.C. están conectados a cables de longitud mucho mayor que los motores de superficie. Si los motores de B.E.C. tuvieran los mismos voltajes que los motores estándar de superficie tendríamos una gran limitación en los equipos de superficie (arrancadores, transformadores, etc.).

Los arrancadores vienen en ciertos rangos como: 600V, 1000V, 1500V, 2400V, etc. . El voltaje del motor a usarse se selecciona asumiendo una longitud de cable tal que el voltaje total (motor más pérdidas en el cable) sea ligeramente menor que uno de los niveles de voltaje de superficie estándar.

Los motores de alto voltaje requieren cables de calibre más pequeño y los motores de muy bajos HP no podrían ser excitados con voltajes altos debido a que el devanado sería muy pequeño para aceptarlo.

En síntesis, en general es preferible seleccionar el motor de mayor voltaje, siempre y cuando sea posible considerando las pérdidas en el cable y los equipos de superficie.

Cuando se requiere más potencia de la que se puede conseguir con una sola sección de motor se acoplan en tándem dos o más motores. Es preferible usar dos motores del mismo voltaje, amperaje y HP, es decir, si la potencia requerida es 300 HP, la combinación preferible sería dos motores de 150 HP en lugar de combinar un motor de 200 HP con uno de 100 HP. Es posible realizar combinaciones de este tipo, pero el calibre de devanado de cada uno de ellos debe ser el mismo

En pocas palabras, con dos motores en tándem tenemos el doble de la potencia y el doble del voltaje de cada uno, pero el amperaje se mantiene. Con tres motores, tenemos triple cantidad de HP y voltaje pero el amperaje tampoco cambiará.

A parte de esto, hay otros factores que afectan la vida del motor como transientes eléctricos, selección apropiada del protector, vibraciones del sistema, etc.

Con la ayuda de programas de computación como por ejemplo SubPUMP™ se pueden modelar las condiciones de operación del sistema y determinar los parámetros de operación del motor como porcentaje de carga, velocidad, eficiencia, amperaje, y especialmente uno de los factores mas críticos en la operación del motor de B.E.S., la **temperatura de operación del motor** para las condiciones específicas de operación. Si se utiliza una camisa de fluido, esta también es incluida en el modelo.

Al igual que en la selección de las bombas, se deben considerar las condiciones de operación esperadas, corrosión, escala, tratamientos con ácido y de acuerdo a estas definir la metalurgia requerida, revestimiento del motor, materiales de los o-rings, y especialmente el tipo de aceite necesario.

En la selección del aceite a usarse intervienen tres factores principales: la temperatura de fondo (BHT), la temperatura de operación del motor (MOT) y la potencia del motor. En ciertas condiciones también la Temperatura ambiente puede ser decisiva.

Al operar el motor con cargas ligeras el calor generado será muy bajo lo cual al final se refleja en mayor vida útil. La operación con cargas muy altas sacrifica cierta vida útil pero puede ser más económico para el usuario final dependiendo del objetivo principal de la operación. Al operar el motor con cargas intermedias se tiene un equilibrio. Esto permite que el ingeniero de aplicaciones determinar el rango óptimo para el motor.

1.1.1.4. Conexión del motor (Mufa).

Dispositivo que se utiliza para la conexión entre el motor y el cable de potencia para el suministro eléctrico. Es del tipo Plug-In el cual va encintado en cada una de sus fases y sujeta al motor como se muestra en la Figura 1.4



Figura 1.4.- Conexión Mufa – Motor.

Antes de la instalación de la mufa se realizan pruebas eléctricas de aislamiento y de presión con 25 psi por un tiempo de 15 min. para determinar cualquier anomalía.

1.1.1.5. Protector o Sello.

El Protector está ubicado entre la entrada (intake) y el motor. El protector es una pieza vital en el ensamblaje y si no es seleccionada apropiadamente puede reducir la vida útil del equipo.

A través del tiempo se han venido utilizando los protectores en diferentes configuraciones para cumplir con los requerimientos de las diferentes aplicaciones. Los protectores tipo laberinto 66L y protectores de sello positivo tipo prellenados de bolsa simple (PFSB) y de doble bolsa (PFDB) han sido usados exitosamente alrededor del mundo por décadas. Estos y algunas combinaciones de ellos se usan todavía en muchas partes.

El concepto de la Tecnología de protectores modulares permite combinar múltiples secciones o cámaras, tanto de laberinto como de sello positivo, utilizando pocas partes diferentes para ensamblar un protector con la combinación requerida para cada aplicación. Aunque los diseños anteriores aún están disponibles, el Sistema Modular se está volviendo más común.

El sistema "modular" es realmente muy simple. Consiste de una cabeza, base, eje, sección de sello (tipo laberinto o bolsa) y un cojinete de empuje. Con pocos módulos o partes es posible fabricar muchas configuraciones.

En la Fig. 1.5 se presentan algunas de las posibles combinaciones. Independientemente de cual configuración se escoja, las funciones del protector son esencialmente las mismas.

La nomenclatura para denominar los protectores modulares es simple y brinda información de cómo está configurado un protector. La denominación del protector siempre comienza desde la cabeza y sigue hacia la base, se denomina de acuerdo a las cámaras de sello utilizadas y a la forma en que éstas se conectan entre sí (por ej.: en "serie" o en "paralelo").

La "L" se utiliza para cámara tipo laberinto y la "B" para cámaras de tipo bolsa. En cuanto al tipo de conexión, la "P" significa en "PARALELO" y la "S" significa conexión en "SERIE". En algunas ocasiones se encuentran también las letras "HL", lo que indica que el protector tiene un cojinete de "alta carga".

Dados éstos códigos para la designación de los protectores, un protector BSBSL-HL es un protector de tres cámaras, que tiene una cámara de bolsa en la cabeza conectada en Serie a otra cámara inferior de bolsa la cual esta luego conectada en serie a la última cámara de sello que es de tipo laberinto. Además, este protector tiene cojinete de alta carga.

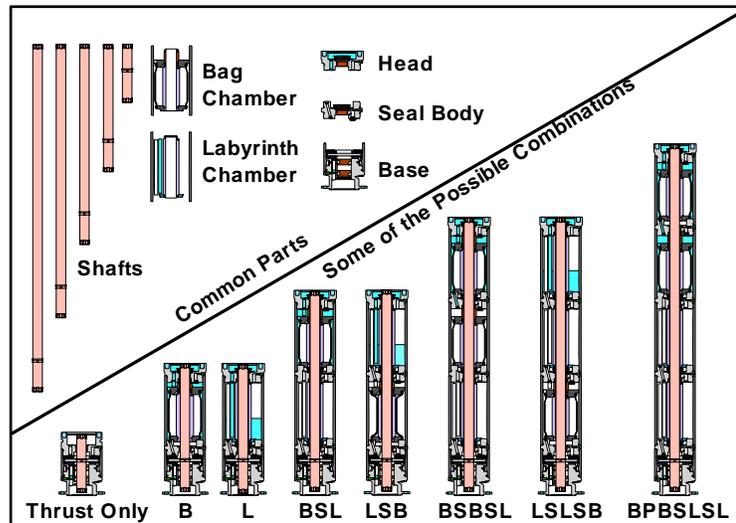


Figura 1.5 El sistema de protectores modulares REDA

Los protectores modulares están disponibles en Serie 400 (4.00"), 540 (5.40"), 562 (5.62") y Serie 738. El 540 y el 562 tienen las mismas bridas tanto en la cabeza como en la base. Ambos pueden ser instalados con motores Serie 540 ó 562 sin adaptadores. El protector 562 tiene una sección de empuje más larga y cojinete de mayor diámetro para aplicaciones de alto empuje descendente, todas las demás partes son exactamente las mismas. Este protector fue desarrollado especialmente para aplicaciones de alto empuje, como por ejemplo con las bombas HN20000 y JN21000

El protector tiene tres funciones principales:

- Proveer un sello y equilibrar las presiones interna y externa para evitar que el aceite del motor sea contaminado por el fluido del pozo, actuando también como un reservorio de aceite para el motor.
- Soportar la carga axial (empuje) desarrollada por la bomba.
- Transmitir el Torque desarrollado en el motor hacia la bomba, a través del eje del protector.

Una de las funciones del protector es **evitar el ingreso del fluido del pozo al motor** donde podría causar daños irreparables al sistema. Esto se logra a través de equilibrar la presión en el interior del protector con la presión externa del fluido del pozo, independientemente del valor de la presión.

1.1.1.6. Entrada de fluido standard y Separador de gas.

Entrada (Intake)

La mayoría de los diseños de B.EC. se hacen con la finalidad de producir la máxima cantidad posible de petróleo sin comprometer el rendimiento del equipo. Una de las razones que degradan el rendimiento del

sistema es la cantidad de gas libre a la entrada de la bomba. Dependiendo de la cantidad de gas esperada en la sección de entrada a las condiciones de diseño se determina el uso de una sección de entrada simple -Intake- (Fig. 1.6) o un Separadores de Gas (Fig.1.7).

A pesar de que todavía están disponibles entradas (intakes) con cojinetes metálicos estándar, la recomendación de Ingeniería de Reda es usar solamente intakes tipo ARZ los cuales tienen cojinetes resistentes a la abrasión. Los separadores de gas de tipo *RS, *RS-ES y Vortex tienen cojinetes resistentes a la abrasión ARZ en su construcción estándar.

Debido a la eficiencia y resistencia del sistema de cojinetes resistentes a la abrasión tipo ARZ el rendimiento y tiempo de servicio del Sistema B.E.C. se mejora sustancialmente. El beneficio puede entenderse fácilmente si se considera que la entrada esta ubicada inmediatamente por encima del protector en el ensamble del equipo. Las vibraciones generadas en una entrada (intake) operando con los bujes gastados afectan directamente a los sellos mecánicos del protector.

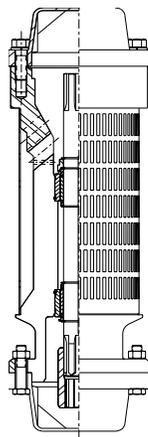


Figura 1.6 ARZ Intake

Separadores de Gas

Los separadores de gas son también secciones de entrada pero tienen algunos componentes adicionales diseñados para evitar el paso de gas libre hacia la bomba. La tecnología de separación y manejo de gas libre en las aplicaciones de B.E.C. ha ido evolucionando y perfeccionando continuamente.

El diseño original de los separadores de gas estáticos se basaba en el incremento de la separación por medio de la inversión de la dirección del flujo en la sección de entrada a la bomba. Por esto se les conoce como separadores de gas de flujo inverso (RF, Reverse Flow). Puesto que estos separadores no entregan efectivamente ningún trabajo al fluido también se los conoce como Separadores Estáticos. Un separador tipo RF se muestra en la Figura 1. 7.

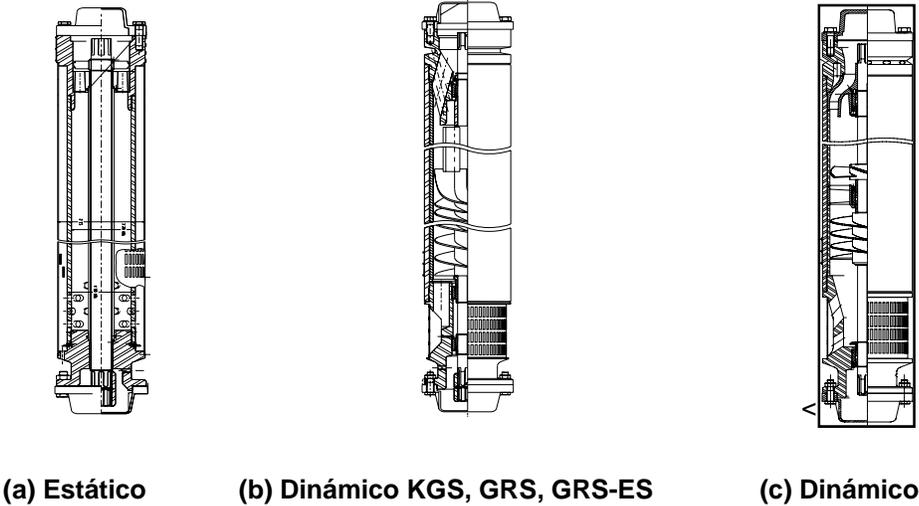


Figura 1.7 Separadores de gas

Cuando el fluido entra al separador de gas la dirección del flujo se invierte, disminuyendo la cantidad de gas arrastrada por el líquido que entra al separador. Algunas de las burbujas de gas siguen su camino por el espacio anular, otras entran al separador pero se separan en el espacio anular entre el housing y la camisa interna del separador de gas, y finalmente el gas que no se logra separar pasa con el líquido al interior de la bomba (Fig. 8).

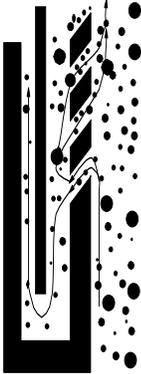


Figura 1.8 Separadores de gas de flujo inverso

A diferencia de los separadores estáticos, los separadores de gas “Dinámicos o Rotativos” si ejercen un trabajo en el fluido para lograr mayor separación de gas dentro del separador.

Recomendaciones para la Selección de la entrada (Intake) / Separador de Gas:

- Siempre use entradas (Intakes) o Separadores de Gas tipo ARZ.
- En aplicaciones con cantidades moderadas de gas en las cuales un separador de flujo inverso le permite operar el pozo sin problemas es preferible usar este tipo de separador estático. - Si puede conseguir los resultados esperados con un separador estático, éste es preferible- . **“Mientras más sencillo el sistema de B.E.C. mejor”**
- Use un Separador de gas Dinámico solamente si es necesario. La desventaja del uso de los separadores de gas rotativos KGS y *RS es que en algunas aplicaciones se tiene un acelerado desgaste de los cojinetes, este tipo de separadores debe ser separadores de nueva tecnología. En todas las aplicaciones que sea posible, casing de 6-5/8" y mayores, se deberían usar Separadores de Gas Vortex en lugar de separadores centrífugos de tecnología antigua.
- Durante la selección del Separador de Gas se debe tomar en cuenta el volumen total que va a manejar el separador y verificar que este dentro del rango de operación recomendado en el cual el separador es eficiente.
- Puesto que los separadores rotativos si entregan energía al fluido es necesario considerar la potencia requerida por el separador en los HP totales requeridos del motor para la aplicación.

1.1.1.7. Bombas Sumergibles

Las bombas sumergibles son bombas centrífugas de etapas múltiples. El tipo o geometría de la etapa determina el volumen de fluido que la bomba puede manejar, mientras que el número de etapas de la bomba determina el levantamiento total generado (TDH).

Las etapas se designan de acuerdo al caudal correspondiente al punto de máxima eficiencia (BEP) en barriles por día a 60 Hz. Por ejemplo, la etapa DN1750 está diseñada para producir 1750 bpd en su punto de máxima eficiencia a 60 Hz.

Con respecto a la forma en que se maneja el empuje generado en la bomba, tenemos tres tipos básicos de construcción de bombas:

1.1.- Construcción flotante "FL". Cada impulsor tiene libertad para moverse axialmente hacia arriba o abajo en el eje, se puede decir que "flota" en el eje.

2.- Tipo "BFL" Construcción con los impulsores inferiores tipo flotante. Los impulsores superiores son del tipo compresión mientras los inferiores son del tipo flotante. Este es un diseño especial para eliminar todo el empuje descendente transmitido al protector.

3.- Construcción tipo compresión. Cada impulsor está fijo al eje de forma rígida de modo que no puede moverse sin movimiento del eje. Todos los impulsores son comprimidos en conjunto conformando un solo cuerpo rígido, de tal que si un impulsor trata de moverse hacia arriba o hacia abajo, este tratará de mover también al eje y al conjunto de todos los impulsores con él.

1.1.1.7.1. Recomendaciones prácticas para la Selección de la bomba

- Seleccione el diámetro de la bomba (Series) y Tipo de Etapa.

En general, se debe escoger la bomba de mayor diámetro que pueda ser instalada libremente en el casing para manejar el caudal de diseño previsto. En general las bombas de mayor diámetro serán más eficientes y menos costosas. Adicionalmente las etapas más grandes podrían tener mejor comportamiento con fluidos viscosos o con alto contenido de gas.

- Seleccione la bomba más eficiente al caudal de operación. (Tipo de Etapa)

Una vez que ha definido el tamaño o Serie de la bomba se debe considerar la eficiencia de la bomba al caudal de diseño esperado a la succión de la bomba (O+W+G) y a las condiciones de operación esperadas durante el tiempo de operación del B.E.C.. Se debe evitar seleccionar las bombas para operación fuera del rango operativo recomendado. Cuando la bomba opera en up-thrust pierde eficiencia y el fluido recircula por el faldón inferior del impulsor. Si el fluido contiene abrasivos se produce la erosión de las arandelas y eventualmente del mismo material de las etapas. Si se tiene la opción de usar etapas de flujo mixto para el caudal de diseño, estas son preferibles sobre las etapas de flujo radial para manejar fluidos viscosos, abrasivos y gas.

- Fluidos abrasivos.

Las bombas tipo "FL" son efectivas para manejar fluidos moderadamente abrasivos ya que debido al sello que ejercen las downthrustwasher se evita que el fluido pase a los cojinetes radiales. La

configuración de bomba puede ser full ARZ o con estabilización mejorada “ES”, dependiendo de las condiciones del fluido.

Si la aplicación es para bombear fluidos severamente abrasivos, las bombas tipo “Compression” ARZ - CR serían una mejor opción ya que el empuje es manejado en el cojinete de empuje (thrustbearing) del protector, el cual está lubricado con aceite “limpio”, mientras que en las bombas tipo “FL” las thrustwasher son lubricadas por el mismo fluido bombeado. En algunos casos puede ser necesario considerar metalurgias especiales para operar en ambientes extremadamente abrasivos.

- Productividad del pozo incierta

En proyectos de desarrollo de nuevas zonas de producción o en aplicaciones donde el índice de Productividad del pozo es desconocido, es un valor asumido o es un dato “no muy seguro”, es preferible usar bombas tipo “Compression”. Puesto que en este tipo de bomba el empuje es manejado en el protector, si el cojinete de empuje (thrustbearing) del protector es seleccionado apropiadamente, el rango de operación de la bomba es mucho más extenso. En las primeras instalaciones de campos en desarrollo donde se prevé la producción de fluidos con cantidades considerables de abrasivos y/o cuando la productividad del pozo no está muy bien determinada, una bomba tipo ARZ - CR tipo compresión sería la mejor opción.

La construcción de las bombas tipo compresión se fabrican con tolerancias más estrechas, y su instalación en el campo requiere procedimientos y técnicas adicionales que deben ser realizadas solamente por personal capacitado. La instalación de las bombas tipo “FL” también debe ser hecha por técnicos calificados, pero el procedimiento es más sencillo porque no se requiere el proceso de espaciado de campo (shimming).

- Gas libre a la entrada de la bomba

En aplicaciones en que la bomba debe manejar gas libre se debería usar en lo posible bombas con etapas de flujo mixto, y como el gas libre ocupara un volumen considerable en la etapa, las etapas más grandes son mejores para mantener la eficiencia volumétrica. Si las condiciones del fluido son corrosivas, la metalurgia de las bombas y de todos los demás componentes del sistema deben ser seleccionados apropiadamente.

- Aplicaciones especiales

Para aplicaciones especiales relacionadas con condiciones extremas de abrasión, corrosión, fluidos con muy baja lubricidad, etc. se dispone de bombas especiales fabricadas con materiales y/o recubrimientos

especiales para incrementar el tiempo de servicio. Consulte el Departamento de soporte de Ingeniería **TEAM Services** de REDA.

- Configure los tándem de bombas con housing de igual tamaño o parecidos.

Si después de definir el número de etapas requerido para la aplicación se determina la necesidad de usar bombas en tándem, configure el tandem usando bombas de housings parecidos. Si se combinan bombas de configuración diferente (FL, CR, HSS, Buttressthreads, etc.), la información específica de cada bomba y su ubicación deben ser provistas para la instalación.

- Compruebe que no se exceden las limitaciones físicas de la bomba a las condiciones de operación y condiciones extremas.

De acuerdo a las condiciones de operación del equipo seleccionado, se deben definir características especiales como eje de alta resistencia o junta roscada de alta presión entre la cabeza y el housing de la bomba.

A parte de las limitaciones físicas de la bomba misma, cuando se seleccionan bombas tipo compresión es necesario verificar que el empuje generado no excede la capacidad de carga del cojinete de empuje del protector, tanto a las condiciones de operación como en el caso de máxima carga.

1.1.1.7.2. Curva de operación de la bomba.

En una curva de comportamiento de una bomba, se encuentra una zona sombreada o resaltada (p.ej. color amarillo) que nos indica el rango de producción recomendado para dicha bomba. Si la bomba opera muy a la derecha de esta zona se dice que está en Up Thrust y si está muy a la izquierda en Down Thrust. Cuando se trabaja en estas zonas el equipo puede sufrir desgaste en los impulsores y difusores.

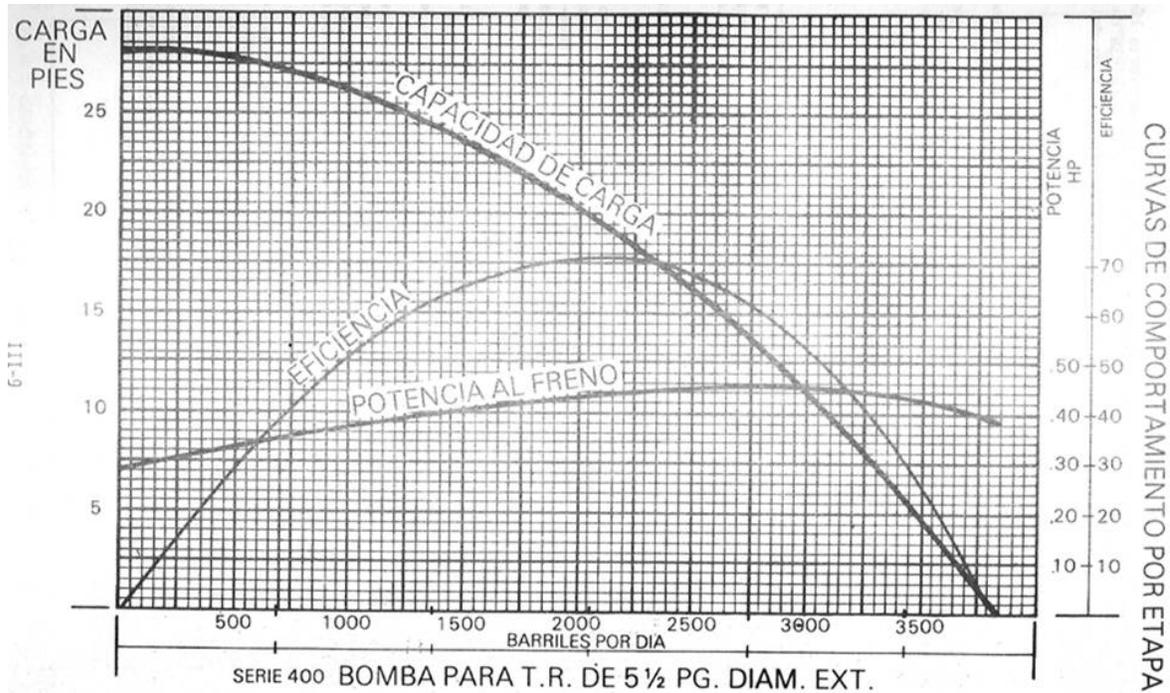


Figura 1.9 Curva de comportamiento

En dicha grafica también se puede encontrar el levantamiento en pies del equipo o etapa dependiendo de cómo este configurada la gráfica (p.ej. línea azul), además se tiene otra curva que indica la potencia que necesita la bomba para producir ese gasto (p.ej. línea roja) así como la eficiencia de la misma (p.ej. línea negra).

1.1.1.8 Descarga de la bomba.

Es el componente que se utiliza para conectar el equipo de fondo con la tubería de producción y deberá estar diseñada para soportar la presión de descarga de la bomba.

1.1.1.9 Cable de Potencia.

El cable de potencia es uno de los componentes más importantes y sensible en el Sistema de B.E.C. Su función es transmitir la energía eléctrica desde la superficie al motor, y transmitir las señales de presión, temperatura, etc. desde el instrumento sensor de fondo (PSI, DMT, DMST, o PUMPWATCHER-QUARTZ) a la superficie.

Todos los cables Reda utilizan conductores de cobre estañado. Las tres fases son aisladas individualmente, el aislamiento es físicamente pegado con adhesivo al conductor. Los conductores

pueden tener además una barrera protectora y/o una fibra trenzada sobre el aislamiento. Luego los conductores son encamisados para proveer protección mecánica y química y finalmente, por lo general se envuelven los conductores con armadura metálica.

El éxito o fracaso de la instalación depende en gran parte de la adecuada selección del cable de potencia para las condiciones de operación. En pozos muy profundos que requieren cables especiales, el cable puede ser el componente más costoso del sistema.

1.1.1.9.1 Aplicación del cable de potencia

El proceso de selección del cable de potencia es básicamente un proceso de dos pasos:

Selección del tamaño de cable (AWG), y Selección de la configuración apropiada, considerando: voltaje requerido en superficie, temperatura del conductor a las condiciones de operación, Temperatura de superficie,

En general la selección del calibre del cable se hace balanceando las condiciones de operación y el costo. En lo referente al calibre del cable, el propósito principal es transportar la energía eléctrica desde la superficie al motor. En este sentido se podría decir que el cable de mayor calibre es mejor porque en éste se tendrán menores pérdidas de voltaje lo que se traduce en mayor eficiencia del sistema.

Cables de mayor calibre contribuyen a la mayor eficiencia del sistema pero por otro lado, se debe considerar también que los cables de mayor calibre son más costosos. Por lo tanto se debe buscar un punto de equilibrio entre costo inicial y costo de operación.

Para seleccionar el calibre del cable se debe evaluar la caída de voltaje en los conductores, la cual es función de la intensidad de corriente que pasa por el conductor, la longitud del cable y de la temperatura del conductor.

La forma más sencilla para determinar la pérdida de voltaje en cable es usando una carta de caída de voltaje.

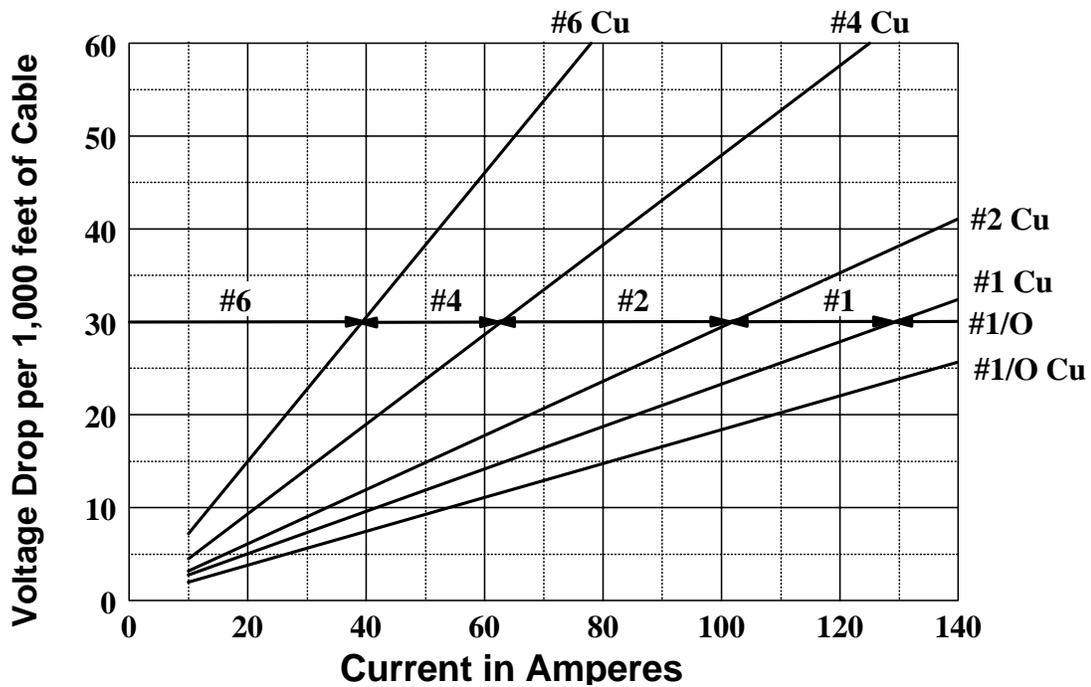


Figura 1.10 Carta de perdida de voltaje en el cable.

1.1.1.9.2 Selección de la configuración del cable.

Con respecto a las limitaciones físicas tubing/casing que determinan si el cable cabe o no en el pozo, en general se puede decir que mientras más pequeño el cable mejor. Esto se puede lograr sea usando un calibre menor o usando cable de construcción plana (conductores paralelos) en lugar de cable redondo.

Una desventaja del cable plano sobre el cable redondo es que en general ofrece menor protección mecánica que su equivalente cable redondo, haciendo que sea más susceptible a daño durante la instalación.

Bajo una carga de compresión los conductores en el cable redondo pueden moverse ligeramente permitiendo manejar la carga.

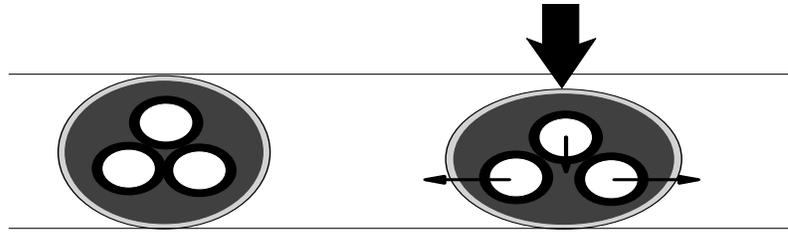


Figura 1.11.- Cable redondo bajo carga de compresión.

En cambio en el cable plano, no hay lugar para desplazarse para absorber esfuerzo, por tanto se comprime el aislamiento.

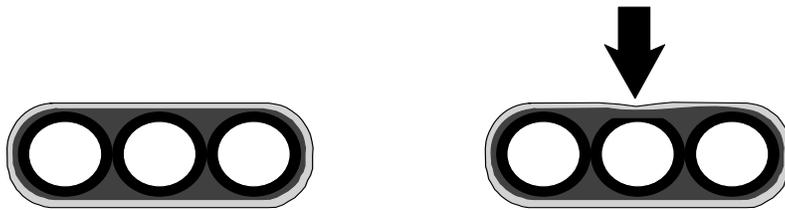


Figura 1.12.- Cable plano bajo carga de compresión

La otra, desventaja del cable plano es su asimetría, el cable redondo es completamente simétrico. Cierta cantidad de la corriente que circula por los conductores se pierde en forma de calor de tal forma que el cable tiende a calentarse sobre la temperatura ambiente. En el cable redondo, los tres conductores se calientan uniformemente.

En el cable plano, los dos conductores de los extremos están en ambientes similares, por lo que tienden a calentarse uniformemente. Sin embargo, el conductor central está rodeado por dos “calentadores” de tal forma que no puede disipar el calor al fluido del pozo. Como resultado de esto, el conductor central del cable paralelo funciona más caliente que los otros dos.

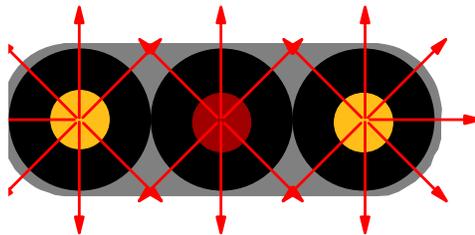


Figura 1.13 Perfil de disipación térmica en el cable plano

Dado que la caída de voltaje en un conductor es función de la temperatura, si aumenta la temperatura, la caída de voltaje también se incrementa. Cuando se usa cable plano, por lo general el voltaje en las tres fases en los terminales del motor están desbalanceados, aun cuando el voltaje este perfectamente balanceado en superficie. El desbalance de voltaje puede provocar un calentamiento adicional en el motor. Aunque esto generalmente no es crítico, vale la pena tenerlo en cuenta.

Puesto que en la práctica, el voltaje de superficie tampoco está totalmente balanceado, es una buena práctica conectar el cable en las tres conexiones posibles (sin cambiar el sentido de giro) y escoger aquella con el menor desbalance de corriente.

Cuando se consideran los límites de temperatura del cable es importante notar que estos límites son para la **temperatura del conductor**, no la temperatura de fondo del pozo. Los conductores van a estar más calientes que el fluido que los rodean, dependiendo de la caída de voltaje, esta diferencia puede ser muy significativa.

El aislamiento de los conductores generalmente se clasifica como “termoplástico”, es decir que se funde cuando se calienta o “termoestable”, que no se funde. El aislamiento de Polipropileno/Etileno es termoplástico y normalmente tiene un rating entre 200°F y 210°F. Esta no es temperatura de fondo sino temperatura del aislamiento, pero en vista de que el aislamiento está pegado al conductor, la temperatura del conductor es la que nos interesa. Este límite de temperatura no deja mucho margen de error. Por encima de esta temperatura el aislamiento se pondrá blando y hasta se puede fundir, lo cual puede determinar la falla del cable.

El cable redondo tiene un pre-esfuerzo intrínseco como consecuencia del proceso de “cableado” o trenzado de los conductores, este esfuerzo hace que los conductores tengan la tendencia de desplazarse hacia el centro. Si el aislamiento termoplástico se ablanda, los conductores se moverán hacia el centro y producirse un corto circuito.

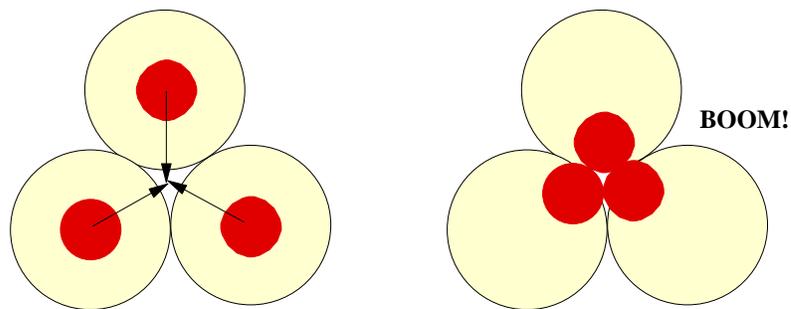


Figura 2.14.- Ablandamiento de un aislamiento termoplástico

1.1.1.10. Empacador.

Se utiliza principalmente para aislar el espacio anular y poder tener control sobre el pozo en un momento dado de descontrol.

1.1.1.11. Válvula de venteo.

La función principal de este equipo es ventear todo el gas que se encuentra dentro del espacio anular el cual es liberado por el separador de gas que se encuentra en el equipo de fondo. Esta válvula es abierta por presión de aire desde la superficie y se mantiene en esta posición mientras el equipo está operando.

Este dispositivo va alojado en el empacador con una línea de control de ¼" la cual va conectada a la consola neumática de la plataforma.

1.1.1.12. Válvula de seguridad.

Como su nombre lo indica se utiliza como una válvula de cierre o de seguridad del pozo cuando exista un descontrol. Esta válvula permanece abierta mientras el equipo B.E.C. está operando y tiene una línea de control de ¼" la cual se conecta a la consola neumática de la plataforma.

1.1.1.13. Válvula de pie.

Se utiliza para el proceso de asentamiento o colocación del empacador.

1.1.1.14. Unión Ajustable.

Es el elemento que se utiliza para ajustar la longitud del cable que va desde el penetrador del empacador hasta el penetrador de la bola colgadora y evitar su colgamiento. Su función es importante ya que evita que el cable se enrolle en la tubería con lo cual se podría dañar y provocar una falla prematura en el equipo.

1.1.1.15. Bola Colgadora.

Es el dispositivo en el cual el equipo y la tubería son colgados desde el cabezal además tiene el orificio para el paso del penetrador para conexión superficial y las líneas de control de la válvula de seguridad y la de venteo.

1.1.1.16. Penetrador.

Es el componente que permite la continuidad de la conexión eléctrica en el empacador y la bola colgadora.

1.1.2. Equipo Superficial.

1.1.2.1. Cabezal, Bonete y medio árbol de válvulas.

El cabezal es la pieza donde se aloja la bola colgadora y se coloca el bonete el cual tiene un orificio para el paso del penetrador y para las líneas de control de la válvula de venteo y de seguridad por último se pone el medio árbol de válvulas con el estrangulador variable.

1.1.2.2. Conector superficial.

Este conector permite la conexión del cable subsuperficial con el de superficie para la alimentación eléctrica del motor de fondo. En este dispositivo se debe tener cuidado de no maltratar el cable que está pegado al conector ya que en esta parte es muy rígido y pueden sufrir daño los sellos, permitiendo el paso de la humedad la cual puede ocasionar un corto y dañar los conectores del penetrador con lo cual el sistema quedaría fuera de operación hasta la llegada del equipo de reparación de pozos.

1.1.2.3. Caja de venteo.

Se utiliza para realizar la conexión del cable que viene del pozo con el del transformador elevador. Su función principal es que permite emigrar al gas que pueda venir desde el cabezal evitando así que llegue al transformador elevador o al filtro de carga y evitar así una situación riesgosa.

1.1.2.4. Transformador elevador.

Este equipo se utiliza para elevar el voltaje de salida del variador (480 Max.) hasta el voltaje requerido por el equipo de fondo. Se tienen selectores para elegir la alimentación adecuada para el sistema.

1.1.2.5. Filtro de Carga.

Se utiliza para evitar que el sistema entre en la frecuencia de resonancia del circuito, con lo cual los picos de voltaje de salida del transformador elevador se multiplicarían dañando así el sistema de aislamiento del equipo de fondo y haciendo que el motor opere con mayor temperatura y menor eficiencia acortando la vida útil del equipo.

1.1.2.6. Variador de velocidad.

Como su nombre lo indica se utiliza para variar la velocidad del equipo de fondo y así poder optimizar el sistema B.E.C. Para lograr esto, se cambia la frecuencia de operación con la cual el equipo trabaja más rápido o más lento teniendo así mayor o menor producción respectivamente.

1.1.2.7. Transformador acoplador o desfasador.

La función de este transformador es de tener tres fases de entrada y seis fases de voltaje en la salida. Esto debido a que se trabaja con un variador de velocidad de 12 pulsos.

1.1.2.8. Transformador reductor de alto voltaje.

Se utiliza para reducir el alto voltaje de 34.5 KV a 480 Volts.

CAPITULO 2

1. METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL SISTEMA BEC

2.1. Información requerida para el diseño de aparejos de bombeo electrocentrifugo sumergido.

El éxito del diseño de un aparejo de bombeo electrocentrífugo sumergido (ABE), también conocido como BEC, se basa en la buena calidad de la información utilizada que incluye: una prueba de producción, tipo de fluidos producidos, estado mecánico del pozo y datos complementarios que permitan asegurar el funcionamiento confiable del sistema. Por su importancia a continuación se presentan comentarios referentes a dicha información.

2.1.1. Prueba de producción

Los datos del comportamiento de flujo en el yacimiento y en la tubería vertical, establecen la capacidad máxima de producción del pozo y la presión de fondo fluyendo para cualquier gasto menor que el máximo. Este comportamiento se describe con las presiones estáticas y de fondo fluyendo, medidas a una profundidad conocida, y con el gasto correspondiente. Si no hay gas en el pozo, los niveles estático y dinámico del fluido son suficientes, en lugar de la presiones.

La presión de fondo fluyendo para cualquier otro gasto, se determina con los datos de la curva de comportamiento de flujo, calculada mediante alguna de las formas comúnmente aceptadas.

- a) Línea recta de índice de productividad, utilizada cuando no hay gas presente o cuando todo el gas se encuentra en solución a la profundidad del intervalo productor.
- b) Curva de comportamiento de flujo, utilizada cuando la presión de fondo fluyendo es inferior a la de saturación, lo que implica presencia de gas libre en el “yacimiento”.

La temperatura de flujo en el fondo y en la cabeza son datos necesarios particularmente si hay gas presente. La cantidad de gas en solución y el volumen de gas libre son sensibles a la variación de temperatura, y cambian continuamente durante su trayectoria por la tubería de producción. También la selección del material para el cable conductor queda afectada por la temperatura del medio ambiente al que está expuesto.

2.1.2. Tipos de fluidos producidos

Los datos de un análisis PVT, también son necesarios cuando no hay gas presente. Si para un caso en particular no se tienen disponibles dichos datos, se pueden calcular mediante las correlaciones estándar; entonces, se requiere conocer las densidades selectivas y porcentajes de líquidos y de gas que competen la mezcla que se va a bombear. Por lo tanto las densidades relativas del agua y gas, la densidad API del aceite, el porcentaje de agua producida y la relación gas-aceite, deben ser conocidos. Estos parámetros influyen directamente sobre la demanda de potencia al motor y la viscosidad, además, influye sobre las curvas de comportamiento de las bombas.

2.1.3 Estado mecánico del pozo

Las dimensiones físicas del pozo son datos importantes que gobiernan la capacidad del aparejo posible de instalar. El tamaño y peso de la tubería de revestimiento, determinan del diámetro máximo del motor y bomba que pueden introducirse en el pozo. Su importancia está en que la instalación es más eficiente, conforme los diámetros de motor y bomba sean mayores.

La profundidad total del pozo es el límite máximo para la colocación del aparejo. Igualmente, la profundidad media del intervalo disparado, es el límite de colocación del aparejo en la forma tradicional. En caso de que la zona de disparos quede por arriba de la bomba, se requiere una instalación especial; consistente en una camisa de recubrimiento a lo largo del aparejo, para obligar a que los fluidos pasen por la parte externa del motor y lo enfríen.

2.1.4 Datos complementarios

Otra información no perteneciente al yacimiento ni al pozo, pero necesaria para el diseño del aparejo, se refiere al voltaje disponible del suministro de energía que conduce a la selección de transformadores y de otros componentes eléctricos. El ciclaje (HZ) de la corriente que se gobierna la velocidad del motor y el rendimiento de la bomba. El tamaño y tipo de rosca para elegir la válvula de contrapresión, la de drene, la extensión de la mufa y la bola colgadora.

Para cada aplicación se tiene una situación individual debido a las condiciones variantes del pozo y del fluido que se va a bombear.

2.2 Factores que afectan el diseño del aparejo de bombeo electrocentrifugo sumergido.

El diseño de instalaciones de bombeo electrocentrifugo sumergido, se ve invariablemente afectado por diversos factores que deben considerarse en forma metódica, debido a su influencia sobre la selección de las dimensiones de la bomba y del motor que se requieren para cumplir con el objetivo de producción. Por su importancia, dichos factores se comentan a continuación.

2.2.1 Capacidad de flujo del pozo

Este parámetro obtenido de la prueba de producción, permite diseñar la bomba asegurando que el rango de gasto en el que se opere, está cerca de su máxima eficiencia. De otra manera, si la capacidad de la bomba excede a la aportación del pozo, se puede alcanzar la condición de bombeo en vacío; en consecuencia, el motor se sobrecalienta hasta que su aislamiento falla y se quema.

Los fabricantes de bombas sumergibles señalan que estas operan adecuadamente con 220 lb/pgen la succión, si el fluido que se bombea es líquido. Cuando en las proximidades de la succión existe gas libre, es necesario considerar cuidadosamente que cantidad de este tolera la bomba, sin que su comportamiento de aparte del indicado en sus curvas características. La magnitud de esa cantidad puede ser variable de acuerdo con el fabricante, se expresa como un porcentaje del gasto total de fluidos que ingresa a la bomba y se recomienda un rango de 10 a 15% como máximo.

2.2.2. Geometría de flujo

El estado mecánico del pozo es parte de esta geometría que incluye el diámetro de la tubería de producción, mismo que está relacionado con el tamaño de la bomba. Dicho diámetro se selecciona para manejar apropiadamente el gasto que se desea producir, ya que influye sobre las pérdidas de presión desde la bomba hasta la superficie.

2.2.3 Gas libre en la bomba

La presencia de gas libre a la profundidad de colocación del aparejo, representa el mayor problema para dimensionar el equipo adecuado y producir efectivamente un pozo. La bomba se comporta a su más alta eficiencia cuando se bombean únicamente líquidos y aunque puede bombear gas libre, su presencia en exceso es causa de una operación ineficiente.

Si la producción del pozo tiene gas asociado, entonces, entre el nivel dinámico del fluido y el fluido, existe un rango de combinaciones de líquido y gas con diferentes densidades, mismas que influyen significativamente sobre la capacidad requerida para la bomba y su profundidad de colocación. Para el cálculo de estos dos parámetros, es imposible afirmar que cualquier criterio sea siempre el mejor, debido a que los datos del pozo no son siempre de la misma confiabilidad.

Como regla general, la mayoría de las instalaciones de bombeo electrocentrifugo impulsan a los fluidos por la tubería de producción, sin empacador en el pozo. Esto significa que el gas libre se puede desviar al espacio anular, o pasar a través de la bomba.

El funcionamiento de la bomba y del motor se ven afectados por la cantidad de gas libre que pasa a través de la bomba, en este punto, una mayor cantidad total de gas libre y en solución tiene efectos benéficos debido a que disminuye el peso de la columna hidráulica en la tubería de producción y reduce la demanda de potencia al motor, pero la bomba necesita manejar un gasto mayor. Es decir, el requisito de capacidad volumétrica de la bomba se incrementa conforme aumenta la relación gas libre-líquido que debe manejar. Cuanto más gas está en solución al entrar a la bomba, su comportamiento es más fiel señalado en las curvas características. Por el contrario, se aparta de dicho comportamiento mientras la relación gas libre-líquido se incrementa. Algunas formas prácticas para resolver el problema del gas libre a la profundidad de colocación de la bomba, son:

- a) Colocar la bomba de manera que la presión de succión sea superior a la presión de saturación. Entonces no existe gas libre en la entrada de la bomba y el gasto que se maneja es simplemente la producción de aceite a condiciones superficiales, multiplicado por su factor de volumen a condiciones de escurrimiento, más el gasto de agua si la hay. Esto puede hacerse únicamente si la profundidad a la que ocurre la presión de saturación, se presenta arriba del extremo inferior de la sarta de producción.
- b) Colocar la bomba de forma que la presión de succión sea inferior a la presión de saturación. Esto tiene la ventaja de acortar la longitud de la tubería de producción, la del cable conductor y en consecuencia un menor costo. Sin embargo, el gasto que la bomba maneja es igual al del aceite, más el del gas libre que pasa a través de la bomba, ambos medidos a condiciones de escurrimiento, más el gasto de agua si la hay. Conforme la bomba se coloca más arriba en el pozo, la cantidad de gas libre se incrementa y debe tenerse cuidado de que el flujo que llega a la succión no tenga una relación gas-líquido más alta de la que la bomba es capaz de tolerar.

2.2.4 Separación de gas

El separador de gas desvía parte del gas libre de la succión de la bomba hacia el espacio anular. Una pregunta que actualmente se tiene sin responder en el bombeo electrocentrifugo sumergido, es: ¿Cómo determinar el volumen de gas libre posible de separar a la profundidad de colocación del aparato?. Esto se debe a que no existe un método analítico ni empírico para calcular la eficiencia con la que trabaja el separador. En su lugar solo se tienen el tasque varían de un fabricante a otro y se considera que no pueden ser utilizadas como fijas, ya que posiblemente dependen de las condiciones de bombeo específicas de cada pozo. Por esta razón es recomendable proceder con reserva cuando se afirma que se puede separar hasta el 90% del gas libre y en cambio utilizar una cifra conservadora, que en el mejor de los casos no supere el 50%.

2.2.5. Pozos desviados

Las bombas sumergibles estas diseñadas para operar generalmente en un posición vertical, pero pueden trabajar en pozos desviados y aun en posición aproximada a la horizontal, cuando sea necesario, con el requisito de que la flecha no es te forzada o flexionada. El límite de la desviación de la vertical, lo establece la capacidad de la unidad para mantener la separación entre el aceite lubricante del motor y el fluido del pozo, lo cual incumbe al fabricante y depende del tipo de protector utilizado. Para unidades con una barrera flexible entre el aceite del motor y el del fluido del pozo, el límite de desviación cambia.

2.2.6. Empacadores

La forma preferente de instalar un aparato de bombeo electrocentrifugo sumergido, es sin empacador, de manera que queda colgando de la tubería de producción. La colocación de un empacador significa una instalación especial, ya que este debe permitir el paso del cable de potencia al motor. Si el empacador se requiere en el pozo, su selección se hace cuidadosamente, de modo que la bomba tenga sobre si muy poco peso o nada de peso a compresión. Por ejemplo, teniendo en cuenta que cuando la bomba empieza a mover grande volúmenes de líquidos calientes, la tubería de producción de alarga y ejerce compresión sobre la bomba si no se hacen los ajustes necesarios. En este caso un empacador permanente utilizando sellos de tipo largo, trabajaría satisfactoriamente. En resumen, si se requiere del uso de empacadores úsese uno que pueda colocarse sin que la bomba o tubería de producción queden sujetas a compresión.

2.2.7. Efectos viscosos

La viscosidad afecta el comportamiento de las bombas centrífugas, disminuyendo su capacidad de carga, reduciendo la eficiencia y haciendo que la más alta eficiencia ocurra a un gasto menor. Para cualquier bomba, el efecto de viscosidad sobre la carga que produce, es mayor a más altos gastos. Las curvas de comportamiento que publican los fabricantes para cada bomba se basan en pruebas realizadas con agua, de manera que es necesario ajustar las curvas para fluidos de más alta viscosidad. La cantidad de ajuste varía entre bombas. Aquellas con pasajes de flujo más pequeños generalmente se afectan más por la viscosidad alta.

2.2.8. Temperatura

La temperatura de fondo es importante para la instalación de aparejos de bombeo electrocentrífugo sumergido, porque es uno de los factores de control en selección del cable conductor. Los cables disponibles en el mercado trabajan exitosamente a 350°F o más y son más costosos conforme su temperatura de operación sea mayor. La temperatura también afecta al motor aunque la bomba no se coloque en el fondo, debido a que un alto ritmo de producción mueve a los fluidos rápidamente hacia el aparejo, acarreando al motor una temperatura más alta que la existente bajo condiciones estáticas. Una temperatura más alta en el motor acorta su vida esperada. La temperatura a la profundidad del aparejo operando, debe conocerse para determinar el volumen total de fluidos que entra a la bomba, especialmente para manejo de gas libre.

2.3. Datos requeridos del pozo

La información inicial que se emplea para dimensionar una unidad sumergible es muy importante y debe de ser real para asegurar el tamaño apropiado de la unidad. Los datos requeridos caen en las siguientes cuatro categorías generales.

- 1) Comportamiento de flujo del pozo y del yacimiento (IPR).
 - 2) Geometría del pozo.
 - 3) Características de diseño y requerimientos preestablecidos de suministro de potencia, etc.
-
- 1) El comportamiento de flujo del pozo y yacimiento, establece la capacidad máxima de producción del pozo y también determina la presión para cualquier gasto menor que el máximo. El comportamiento de flujo generalmente está descrito como la presión estática a una profundidad conocida más una presión fluyendo a un gasto conocido. Si no hay gas en el pozo los niveles de fluido son suficientes en lugar de las presiones, la presión para otros gastos se determina por extensión de los datos de la curva de comportamiento de flujo en una de las dos formas generalmente aceptadas. La línea recta

del flujo del índice de productividad se emplea si no hay gas o si todo el gas esta en solución. La curva de comportamiento de flujo (IPR), se usa cuando la presión de yacimiento cae debajo de la presión de burbujeo en el flujo hacia el pozo, causando que el gas se libere y que fluyan dos fases en el yacimiento.

- 2) El tamaño y peso de la tubería de revestimiento determinaran el diámetro máximo del motor y la bomba que ajustarán en el pozo. Esto es importante ya que generalmente se tendrá la instalación más eficiente cuando se utilice la bomba de mayor diámetro que tenga el rango de flujo adecuado.

La profundidad total y la de los intervalos perforados determinan respectivamente la profundidad posible de colocación de la bomba y la máxima profundidad a la que se puede colocar la bomba sin necesitar un motor de recubrimiento. Si las perforaciones quedan arriba del motor es necesario usar una camisa para obligar al flujo a que pase por el motor y así lo enfrie.

- 3) Las densidades relativas y porcentajes de los líquidos y gas componen la mezcla que se bombea determinando la potencia del motor. Por lo tanto la densidad relativa del agua y del gas, la densidad API del aceite, el porcentaje de agua y la relación gas-aceite son datos necesarios.

La viscosidad, si ésta disponible, es necesaria ya que la curva publicadas de comportamiento de la bomba están basadas en pruebas con agua.

La temperatura del fluido cerca del fondo y en la cabeza del pozo es necesaria particularmente si hay gas presente ya que la cantidad de gas en solución y a volumen de gas libre son sensibles a la temperatura y cambian a lo largo de pozo y de la tubería de producción. También la selección del material del cable para el motor queda afectada por la temperatura del líquido a la cual está expuesto.

Los datos PVT para cada presión, relación gas-aceite en solución y el factor de volumen de la formación son necesarios si hay gas presente. Si para un caso en particular se desconocen los datos PVT pueden aproximarse mediante las correlaciones ya establecidas.

- 4) El voltaje disponible del suministro de energía determinará el tamaño de los transformadores y otros componentes eléctricos. Si es de 50 o 60 Hz (ciclos), establecerá la velocidad y rendimiento de la bomba. El tamaño de la tubería de producción generalmente está relacionada con el diámetro de la bomba y determina las pérdidas por fricción que deben incluirse en la carga dinámica total.

2.4 INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE INSTALACIONES DE APAREJOS DE BOMBEO ELECTROCENTRÍFUGO.

2.4.1. Carga dinámica total (CDT).

La carga dinámica total, es simplemente la carga total que requiere que la bomba produzca cuando está bombeando el gasto deseado. Es la diferencia entre la carga requerida en la descarga de la bomba para impulsar al flujo a su destino final y cualquier carga existente en la succión de la bomba.

$$CDT = \left[\begin{array}{c} \text{Profundidad de} \\ \text{colocación de} \\ \text{la bomba} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Presión en} \\ \text{la cabeza} \\ \text{del pozo} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Pérdidas de} \\ \text{presión por} \\ \text{fricción} \end{array} \right] - [\text{Sumergencia}]$$

Es decir, la carga dinámica total se define como la profundidad de colocación de la bomba más la presión requerida en la cabeza del pozo, más las pérdidas de presión por fricción en la tubería de producción, menos la sumergencia; todos los términos expresados en unidades de longitud de columna hidráulica.

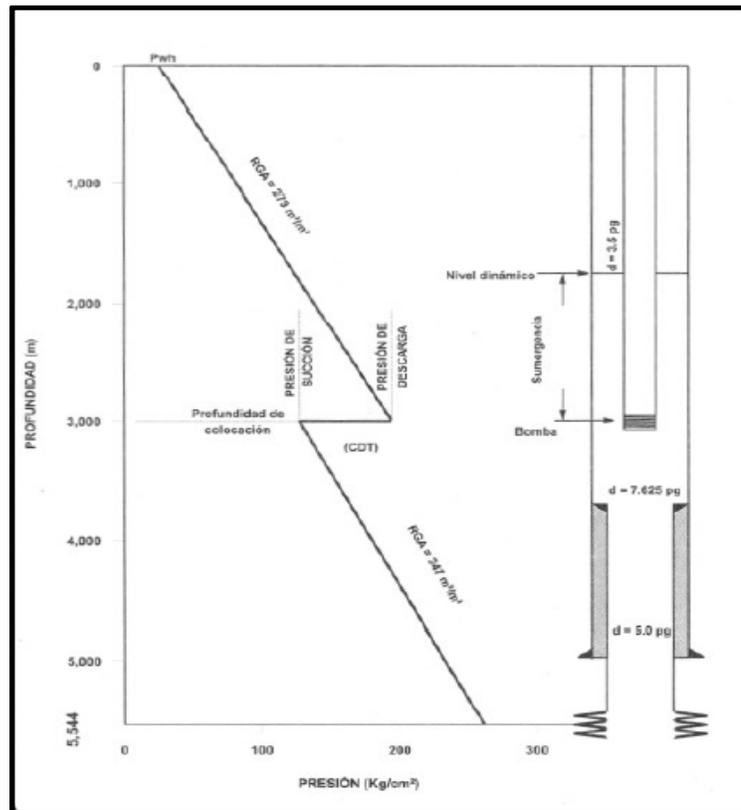


Figura 2.1 Gradiente de presión fluyendo con aparato de Bombeo Electrocentrífugo Sumergido.

La sumergencia se define como la longitud de columna hidráulica existente en el espacio anular, desde el nivel dinámico del fluido hasta la profundidad de colocación de la bomba. Entonces al hacer referencia al término “Elevación neta”, debe entenderse que es la diferencia entre la profundidad de colocación de la bomba y la sumergencia.

2.4.2 Número de etapas

El número total de etapas para una bomba se encuentra con la siguiente formula:

$$\text{Número de etapas} = \frac{\text{Carga Dinámica Total (pies)}}{\text{Carga (pie)/etapa}}$$

2.4.3 Potencia requerida

El cálculo de la potencia necesaria para impulsar el número de etapas calculada, se determina multiplicando NE, por el valor leído en la gráfica de curvas de comportamiento de la bomba. El resultado de este producto se aplica únicamente si el fluido bombeado es agua dulce con densidad relativa de 1. En caso contrario dicho producto debe afectarse por la densidad relativa promedio del fluido que se trate. Entonces la demanda de potencia es:

$$Hp = \frac{Hp}{\text{etapa}} * \text{Total de etapas} * \rho_r$$

2.5 Detalle del diseño de instalaciones de aparejos de Bombeo Electrocéntrico Sumergido.

1. Recopilación y analizar la información del pozo. Prueba de producción, tipo de fluidos, estado mecánico y datos complementarios.
2. Determinar la capacidad de producción del pozo a la profundidad de colocación de la bomba, o determinar la profundidad de colocación de la bomba para el gasto deseado. Esto incluye el cálculo de la presión en la succión y en la descarga de la bomba, y del gasto de fluidos que se va a bombear, para obtener en la superficie el volumen de líquido deseado a condiciones de tanque.
3. Calcular la carga dinámica total.

4. De acuerdo con los datos de los pasos anteriores elegir el grupo de graficas de curvas características de las bombas, que pueden introducirse en la T.R del pozo y seleccionar la de la bomba que tenga la más alta eficiencia para el gasto que se va a bombear.
5. Para la bomba seleccionada, calcular el número de etapas requeridas que permita desarrollar la carga dinámica total necesaria y producir el gasto deseado.
6. Determinar la demanda de potencia para el motor. De acuerdo con esta potencia, seleccionar un motor adecuado al ciclaje manejado y a la potencia requerida.
7. Seleccionar el tamaño y tipo de cable económico a partir de los datos técnicos disponibles.
8. Determinar la pérdida de voltaje a lo largo del cable y el voltaje superficial requerido Este último valor establece el tamaño del tablero de control.
9. Calcular los requerimientos de Kva, a fin de dimensionar los transformadores.
10. Seleccionar los accesorios necesarios tales como:
 - Tamaño y tipo del cabezal para la tubería de producción.
 - Equipo de servicio requerido para realizar la instalación.
 - Equipo opcional.
11. Determinar que otros dispositivos, accesorios y aditamentos se requieren para asegurar una buena operación, tales como:
 - Protecciones anticorrosivas necesarias y el uso de materiales inhibidores de corrosión.

Capítulo 3

3. Análisis de Factibilidad Técnica para la aplicación de sistema BEC a Pozos del AILT

3.1 POZO B-2

3.1.1 Información del Pozo:

El pozo B-2 es un pozo productor (desviado), la última actualización se realizó en Octubre del 2008, con ayuda del software WellFlo, el pozo se encuentra ajustado con el modelo de aceite negro en donde reportó una producción aproximada de 601 bpd con una Relación Gas-Aceite (RGA) de 44.77 m³/m³. El análisis del pozo con el Sistema de Bombeo Electrocentrífugo (BEC), se realizó con la información validada a la fecha de este aforo con ayuda del software subPump. Para el diseño del Sistema Artificial de Producción (SAP) se incluye: la información general del pozo, estado mecánico, PVT, registro giroscópico y perfil de temperatura, como se ilustra de la **Tabla 3.1.1** a la **Tabla 3.1.7**.

Tabla 3.1.1 Información General del Pozo.

Estado actual del Pozo	Fluyendo
Fecha de ajuste:	Oct-08
Tipo de Aceite:	Negro
NMD (m):	4540
Pws @ fecha de ajuste (Kg/cm²):	671.96
Temperatura de Yacimiento (°C):	156
IP (bpd/psi)	0.1759
Qmax (bpd)	1516
Gravedad específica del aceite (°API):	28
Gravedad específica del gas (Adim.):	0.93
RGA (m³/m³):	44.77
Tiene PVT:	Si
Pb @ Temp Yacimiento (Kg/cm²):	146.25
Gradiente geotérmico (°C/m):	0.025

Tabla 3.1.2 Distribución del aparejo de producción.

TR	O.D. [pg]	Prof. [m]	#/pie	I.D [pg]
	7 5/8	3917	39	6.625
	5 1/2	4540	23	4.67

TP	O.D. [pg]	Prof. [m]	#/pie	I.D. [pg]
	3 1/2	167	12.7	2.75
	4 1/2	3878	12.6	3.958
	3 1/2	3928	12.7	2.75

A continuación se ilustra un esquema simplificado del estado mecánico en la **Figura 3.1.1**, en donde se observa que a la profundidad de 3885 MD donde se propone colocar el equipo BEC se tiene una tubería de Revestimiento (TR) de 7 5/8", con lo cual de acuerdo a las dimensiones de los equipos disponibles, únicamente es posible utilizar como máximo la serie 400 y 500.

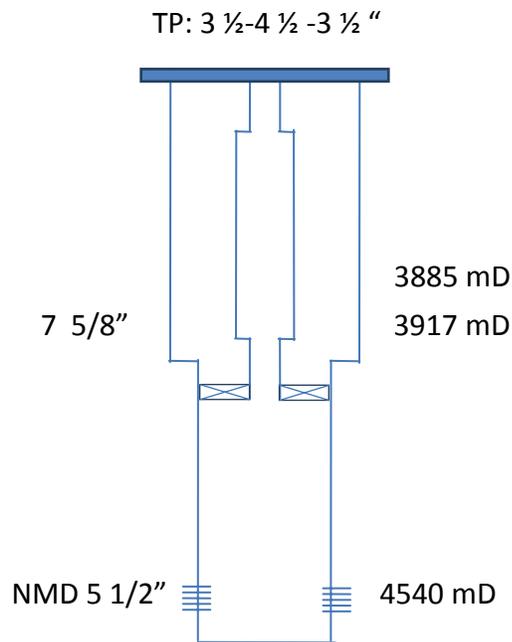


Figura 3.1.1 Geometría del pozo

Tabla 3.1.3 Información de análisis PVT.

Presión Kg/cm ²	Rs m ³ /m ³	Bo m ³ /m ³	μo cP	μg cP	Temp: Bg m ³ /m ³	152 Z Adim
Kg/cm ²	m ³ /m ³	m ³ /m ³	Cp	Cp	m ³ /m ³	Adim
146.25	44	1.55	0.36	-----	-----	-----

Tabla 3.1.4 Registro giroscópico del pozo

mD	mV	Desv
0	0	0
2010	2009.88	2.54
2520	2519.54	4.78
2670	2668.85	3.55
2760	2758.75	0.62
4320	4312.96	17.48
4350	4341.38	19.86
4380	4369.35	22.54
4410	4396.82	24.89
4440	4423.72	27.56
4470	4450.04	29.82
4500	4475.67	32.81
4530	4500.48	35.58
4560	4524.55	37.67
4590	4547.98	39.67
4620	4570.29	44.19
4830	4726.31	41.27

Tabla 3.1.5 Registro de temperatura del pozo.

QL bpd	Temp °C
0.01	30.00
250	80.90
500	106.97
750	120.00
1000	127.64
1250	132.62
1500	136.12

En la Tabla 3.1.6 se ilustra las condiciones de aforo (Oct-08) a las cuales se ajustó el diseño, las cuales se puede observar que a esa fecha presentaba una producción de 602 BPD, con una Pws de 601.7 kg/cm². El diseño al que se espera la colocación del equipo BEC es durante se presente una Pws de 470 kg/cm², con una producción de 77 BPD, esta presión es antes de que se llegue a la presión de abatimiento.

En la figura 3.1.7 se observa que para una la Pws de diseño de 470 kg/cm² para poder tener una producción de 500 BPD, es necesario un nivel dinámico de 2,052.48 m y una sumergencia de 1,832.52 m.

Tabla 3.1.6 Aforos y Condiciones de Producción esperadas

Condición	---	Aforo	Diseño
Fecha	---	Oct-08	
Edo Pozo	---	Fluyendo	Fluyendo
QL Fluyente	BPD	602	77.45
Pwh	Kg/cm ²	45.23	40.048
Ø Estrangulador	Pulg	3/8	3/8
% Agua	%	23	23
RGA	m ³ /m ³	44.77	44.77
Ple	Kg/cm ²	39.967	39.967
Temp. Sup.	°C	112.23	47.51
Extremo TP	m	3928	3928
Correlación	---	B&B std	B&B std
Pws	Kg/cm ²	601.7	470
Pwf	Kg/cm ²	413.49	270.68
QL @ IPR	BPD	602	77.45
IP	bpd/psi	0.1759	0.1759

Tabla 3.1.7 Nivel de fluidos para las Pws= 601.7 y 470 kg/cm².

Pws	Kg/cm ²	601.7	470
Pwf	Kg/cm ²	431.46	270.68
Pwh	Kg/cm ²	45.23	50
QL	BPD	602	500
Nivel Dinámico	M	186.38	2,052.48
Sumergencia	M	3,741.62	1,832.52

3.1.2. Ajuste de los Modelos del Pozo:

3.1.2.1. Modelo de flujo multifásico a la fecha de ajuste.

En la **Figura 3.1.2** se muestra el modelo de flujo multifásico proporcionado por el Activo reproduciendo las condiciones del ajuste (Oct-08), en donde se considera un modelo de Aceite Negro. Esta fue la información base con la cual se realizaron los análisis del pozo con el sistema BEC.

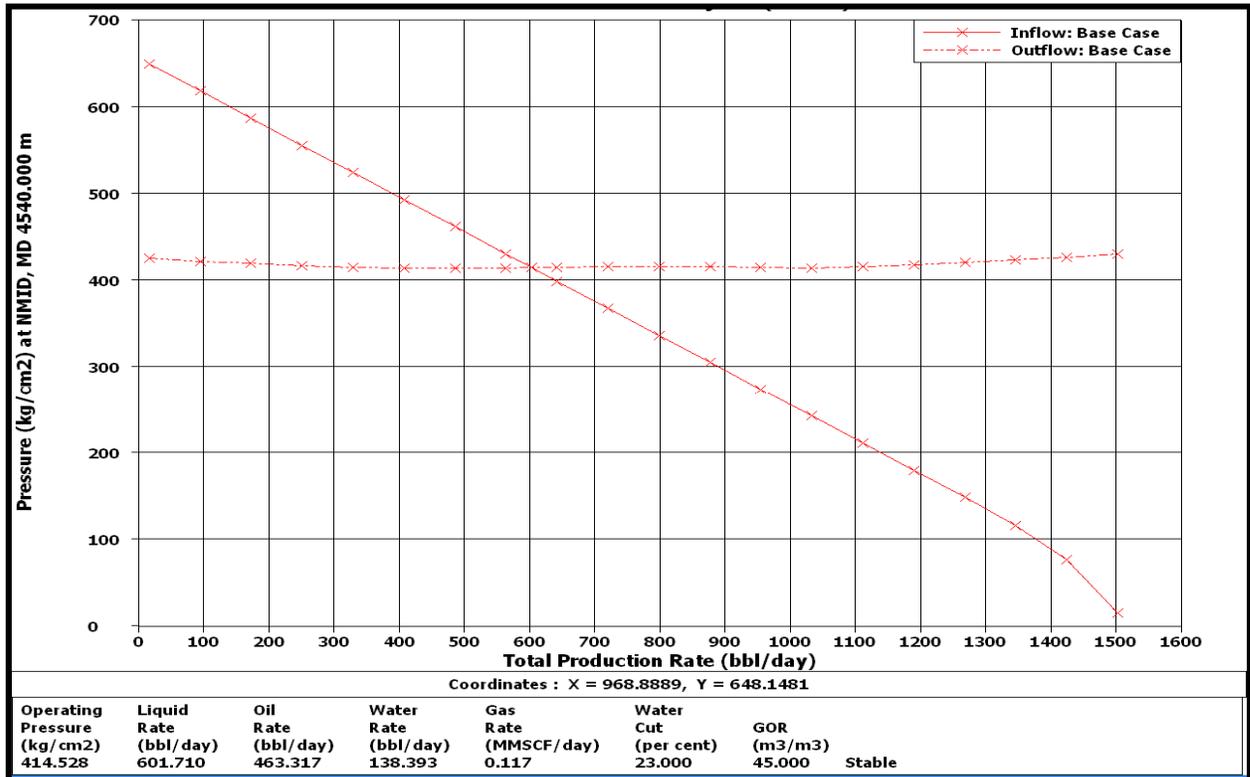


Figura 3.1.2 Análisis nodal del Pozo B-2 a la fecha de ajuste.

3.1.2.2 Condiciones del pozo para la fecha de aplicación del sistema BEC.

En la **Figura 3.1.3** se muestran las condiciones a las que se propone aplicar el sistema Artificial BEC, en este caso a la presión del yacimiento de 470 Kg/cm², que corresponde a la presión de abatimiento, la cual se obtiene con una presión en la línea de descarga de 39.967 Kg/cm² .

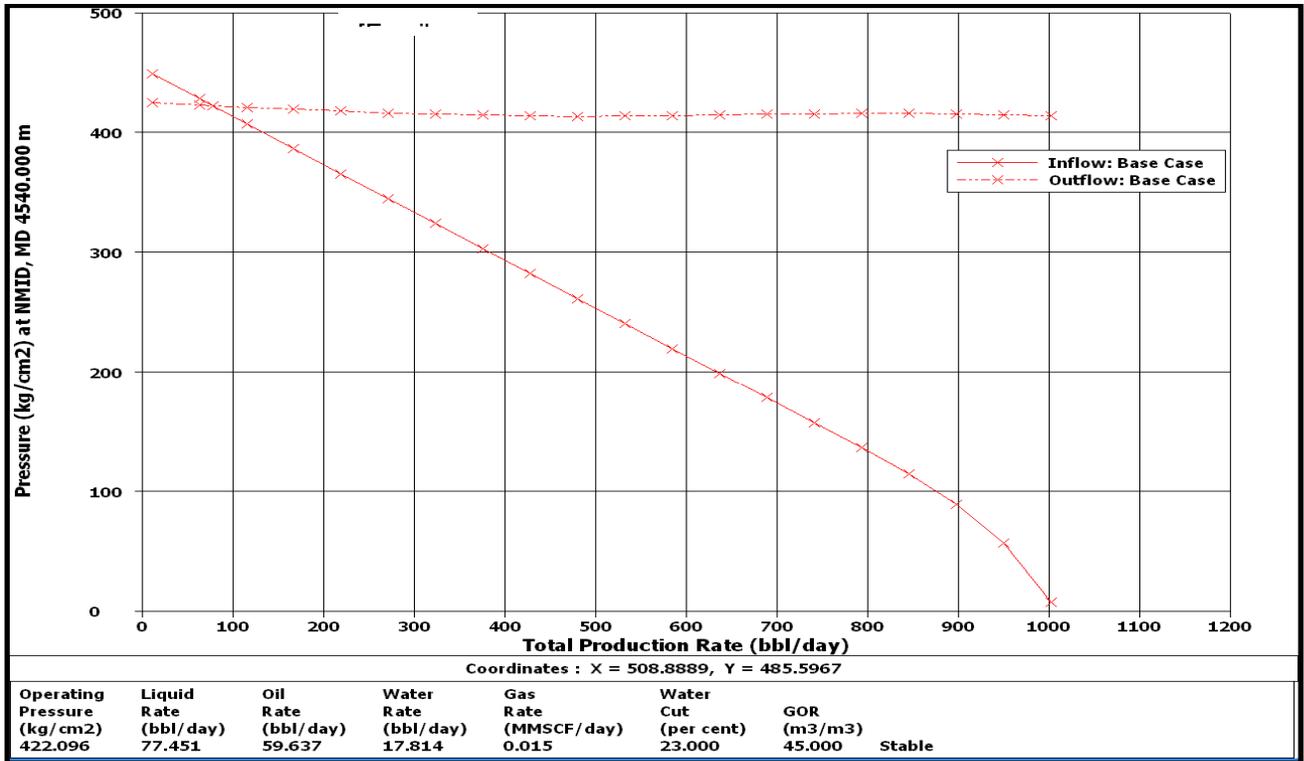


Figura 3.1.3 Análisis nodal del Pozo B-2 a las condiciones de diseño.

3.1.2.3. Ajuste de los parámetros del pozo en el Software SubPump para el diseño de sistemas BEC.

A continuación se presenta la **Tabla 3.1.8** con el análisis preliminar de los parámetros de diseño: Presión en la entrada de la bomba (PIP), % de gas libre en la entrada de la bomba, Altura Dinámica Total (TDH) y Gasto total de fluidos en el fondo (Líquido+Gas) que se obtiene en el software de flujo multifásico "Wellflo", en donde se observa que no existe gas libre en la entrada de la bomba, por lo que no es necesario obtener el modelo representativo en "Prosper". En la siguiente tabla se presentan los valores de ajuste de los parámetros, para obtener el modelo de diseño en el software especializado en diseño de equipos BEC (SubPump). En la tabla se puede observar la comparación del diseño el Wellflo y SubPump, los cuales presentaron resultados muy parecidos. En el software especializado SubPump para el ajuste del diseño se tuvo que variar el IP de 0.176 a 0.172 bpd/psi y la Pwh de 50 a 53 Kg/cm2.

Tabla 3.1.8 Ajuste de los parámetros del pozo para el diseño del Sistema BEC

% Separación Total	0 % de Eficiencia del Sep.		Variable modificada	Valor anterior en Wellflo	Valor modificado en SUMPUMP	VARIABLE AJUSTADA	Nuevo valor calculado
	Wellflo	SUMPUMP sin ajustar					
Simulador							
Profundidad de Diseño de la Bomba, mts	3885						
Gasto de Diseño en superficie, BPD:	600	600				GASTO	
Presión en la Entrada de la bomba (PIP), Kg/cm ² :	218.74	222.86	IP	0.176	0.1727	PIP	218.65
% de gas libre dentro de la bomba, %	0	0	I			% GAS	
Gasto Total de Fluidos (Liq + Gas), BPD:	1,860	1,406	Pwh	50	53	GAST TOTAL	1851.5
Altura Dinamica Total (TDH), m:	682	682				TDH	

3.1.2.4. Comportamiento del pozo ajustado en el Software SubPump para las condiciones de diseño.

El potencial del pozo, para las condiciones de diseño, en el software de WellFlo es de 1011 bpd aproximadamente. El gasto de diseño final, en superficie, con el que se evaluó el sistema fue de 500 BPD de líquido. En la **Figura 3.1.4** se muestra el potencial del pozo calculado en el software de Subpump (1160 bpd).

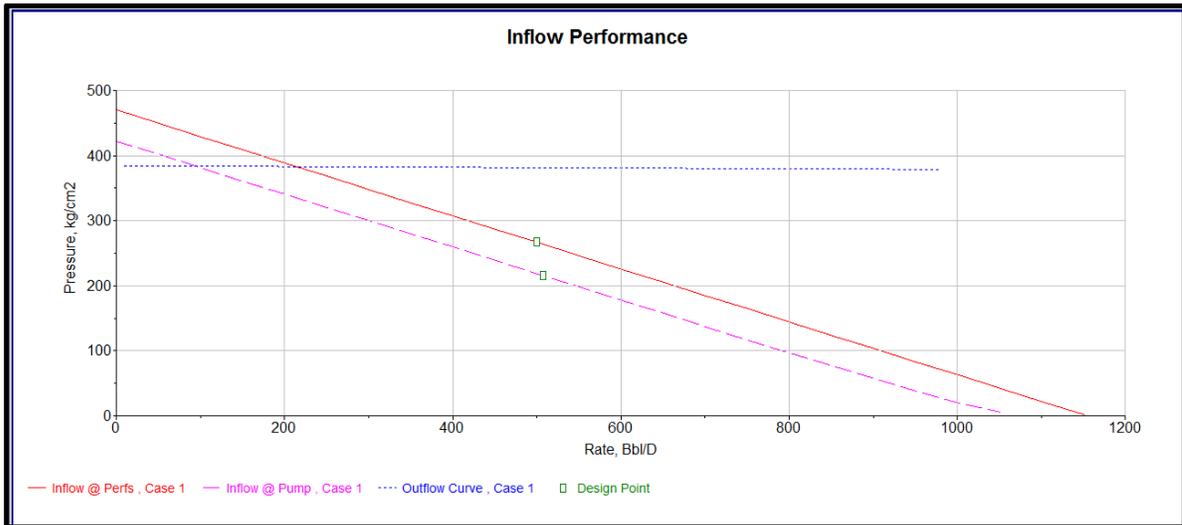


Figura 3.1.4 Potencial del pozo B-2 calculado en Subpump.

En la **Figura 3.1.5** se muestra que el requerimiento de energía (TDH) para llevar los fluidos hasta la superficie con el sistema BEC (1851 m) para el gasto de diseño.

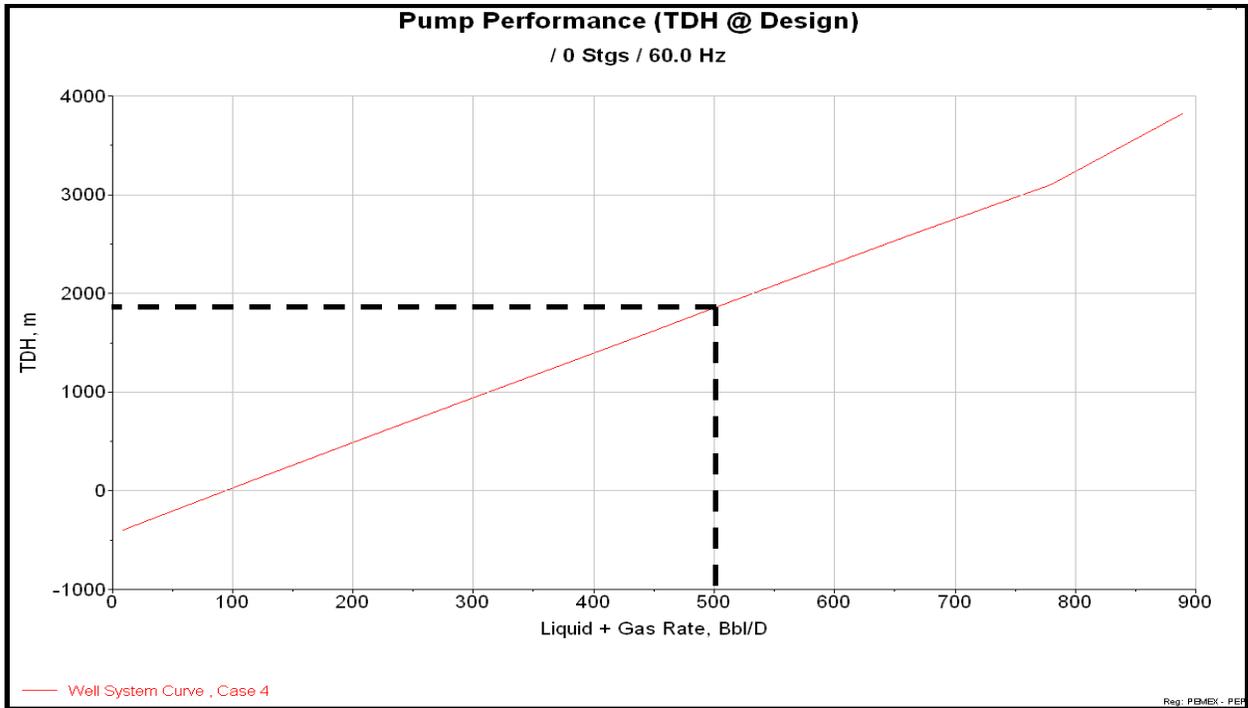


Figura 3.1.5 TDH requerido para el QL=500 bpd en el B-2.

3.1.3. Diseño del Sistema BEC para el Pozo B-2:

Tabla 3.1.9 Condiciones finales de diseño del Pozo B-2

Corte de Agua:	%	23
RGA:	m ³ /m ³	45.46
QL diseño final:	BPD	500
Profundidad Bba.:	m	3885
Presión de salida:	Kg/cm ²	50

Bajo estas condiciones de operación el gasto de fluidos total (Liq+Gas) en el fondo es de 588 bpd para 23% de agua. Considerando la bomba Centrilift FC650. El máximo corte de agua que puede manejar la bomba es de 70%, demandando un requerimiento de etapas de 225 y 60 HP de potencia. A continuación en la **Tabla 3.1.10** se presentan las características del equipo seleccionado: bomba, motor, cable de potencia y variador de velocidad (VSD).

3.1.10 Características del equipo seleccionado

BOMBA					VSD				
Serie	Modelo	Housing Núm.	Etapas Núm.		Energía KVA	Voltaje ENT. Volts.	Voltaje Sup. Volts		
400	FC650	1	225		87	480	1639		
CABLE					MOTOR				
Mod.	Tipo	No. AWG	I Max Amper	Temp Max °C	Serie	Tipo	Pot. hp	Voltaje Volts	Corriente Amper
CEL	Plano	2	121	232	450	KMH-A	60	1385	30

En las **Figura 3.1.6 y 3.1.7** se muestran las condiciones de operación esperadas del equipo para 23% de agua.

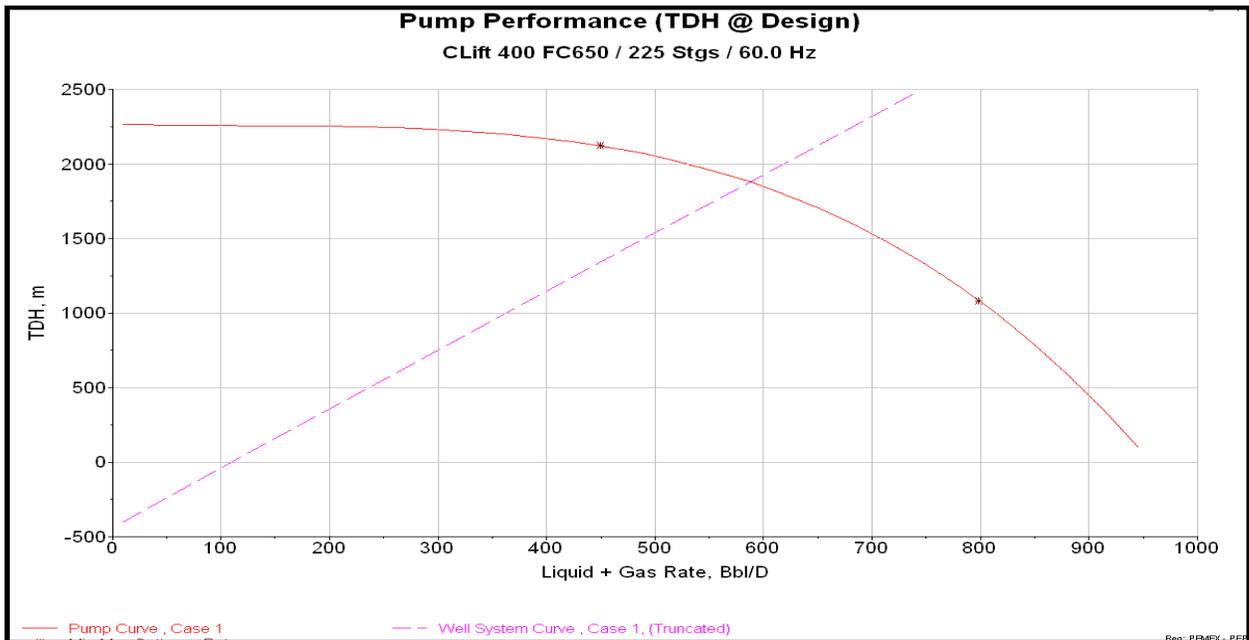


Figura 3.1.6 Comportamiento del Equipo BEC en el Pozo B-2 para 23% de agua.

En la **Figura 3.1.7.** se muestra el % de gas libre para las condiciones esperadas del equipo y en la **Figura 3.1.8** se muestra el comportamiento del equipo variando la frecuencia de operación.

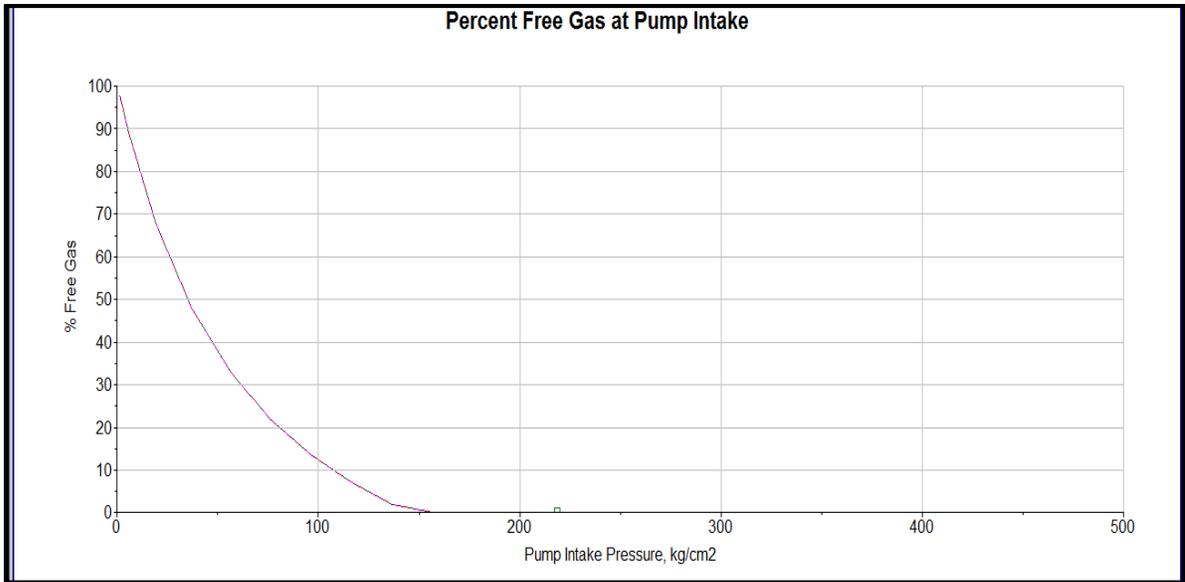


Figura 3.1.7. Comportamiento del % gas libre en la entrada de la bomba.

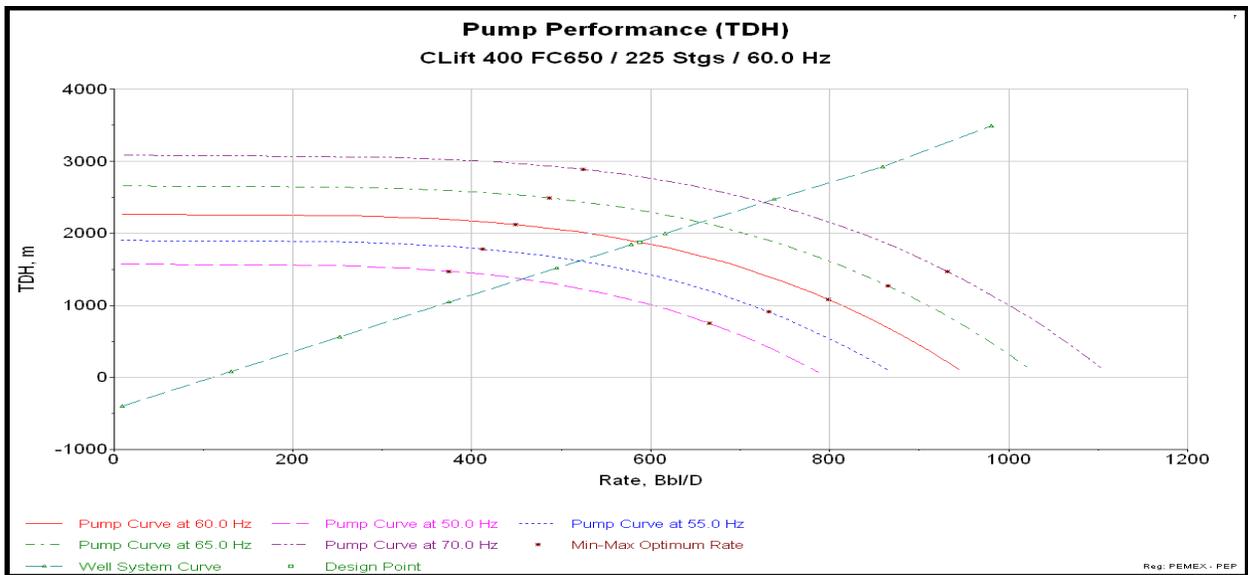


Figura 3.1.8. Comportamiento del Equipo BEC en el Pozo B-2 variando la frecuencia.

En la **Figura 3.1.9.** se muestra la curva de comportamiento de una bomba, que nos indica el rango de producción recomendado para dicha bomba, y en la Figura 3.1.10 se observa el Funcionamiento de la bomba para varias frecuencias.

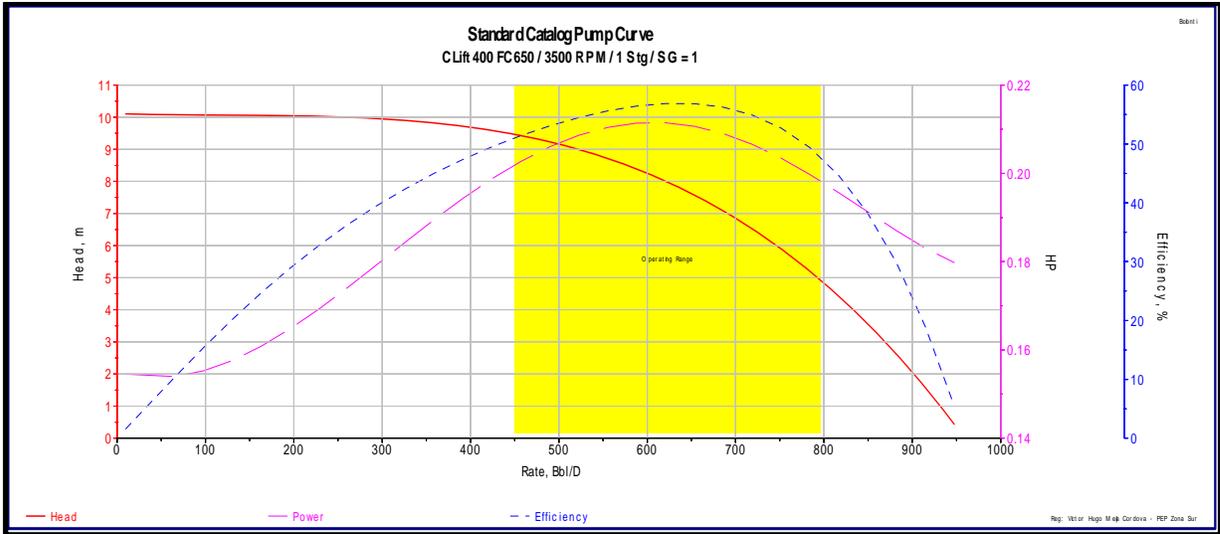


Figura 3.1.9. Curva de operación de la bomba

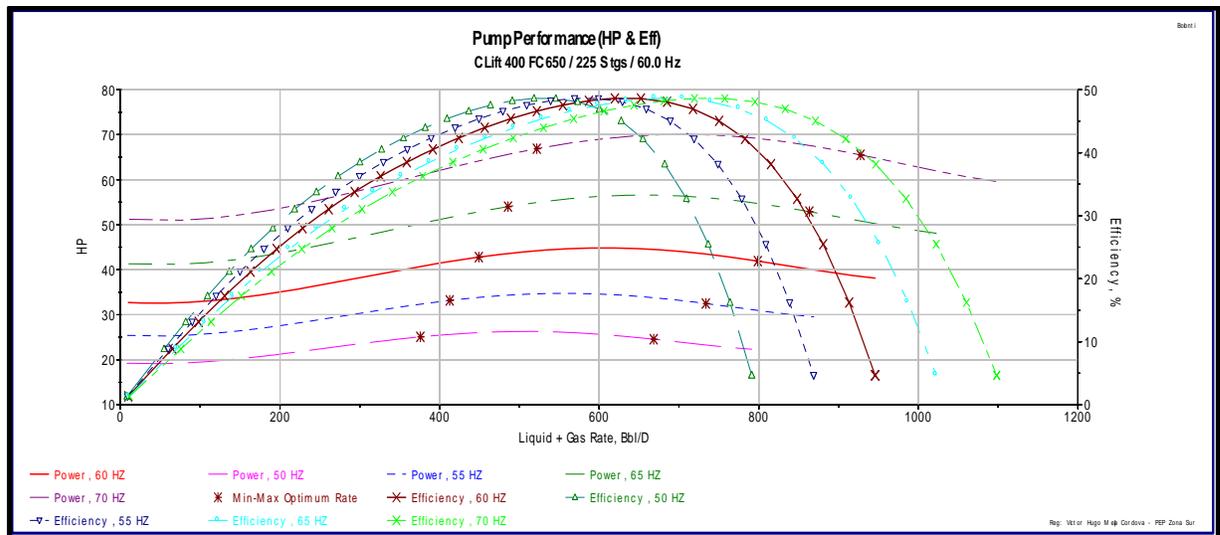


Figura 3.1.10. Funcionamiento de la bomba para varias frecuencias.

3.1.4. Resultados:

En la **Tabla 3.1.11** se muestra el resumen del análisis del comportamiento del equipo BEC para los distintos escenarios de operación.

Tabla 3.11. Resumen del comportamiento del equipo BEC en el pozo B-2.

COMPORTAMIENTO DEL EQUIPO BEC					
Frecuencia de Operación	Hz	55	60	65	70
Potencia del motor	HP	37.8	44.8	52.2	60
Velocidad de operación	RPM	3209.4	3494.5	3777.4	4057.3
Corriente de operación	Amper	24.1	25.9	27.9	30.4
Voltaje de operación	Volts	1269.6	1385	1500.4	1615.8
Factor de Potencia operando	---	0.67	0.715	0.751	0.78
Eficiencia de la Bomba	%	47.9	48.2	48.5	48.6
Eficiencia del Motor	%	80.2	81.4	82.5	83.3
Gasto de líquido en superficie	BPD	450.22	507.15	565.03	624.31
Gasto promedio de fluidos Total	BPD	521.7	588.63	657.18	727.95
Altura Dinámica Total	m	1622.6	1879.7	2145.2	2413.8
Presión en la entrada de la bomba	Kg/cm ²	238.8	215.7	192.2	168.1

Como se puede observar en la Tabla 3.11, a mayor frecuencia de operación se obtiene mayor gasto de líquido, pero se necesita mayor voltaje de operación, y mayor profundidad de colocación de la bomba, por lo que se tendría mayor temperatura, y esto podría originar un mal funcionamiento en el equipo BEC, por lo que la instalación del BEC dependerá del gradiente de temperatura dentro del pozo.

Características del diseño del equipo BEC:

Datos de Diseño del BEC:

$P_{ws} = 470 \text{ kg/cm}^2$

$Q_o = 588 \text{ bpd}$

$P_{tp} = 53 \text{ kg/cm}^2$

Aparejo 3 1/2"

Profundidad bomba 1885 m

Resultados del BEC:

Bomba: Centrilift (400) FC650-225 (1)

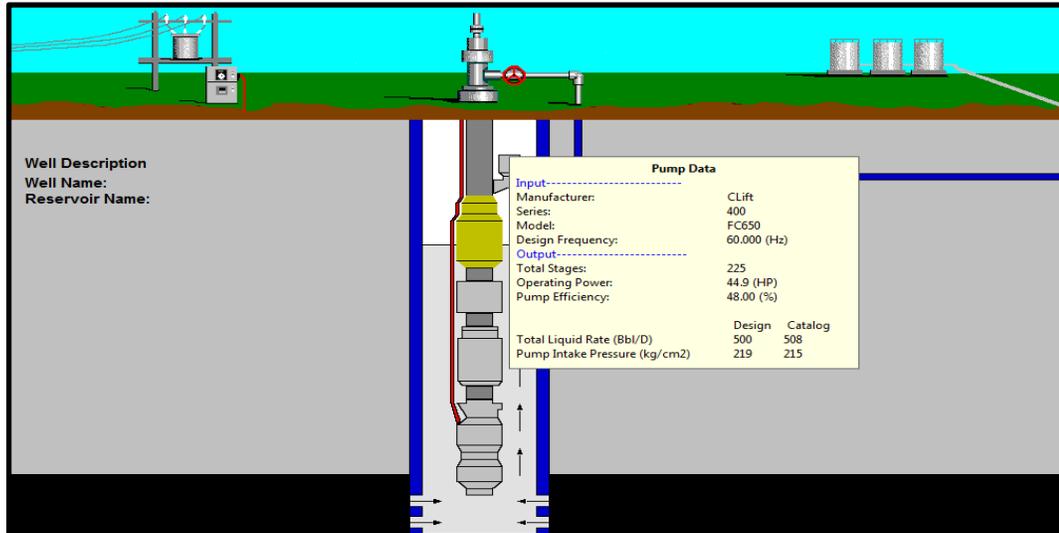
Motor: (450) KHM-A 60HP 1385V 30A

Cable: #2 CEL

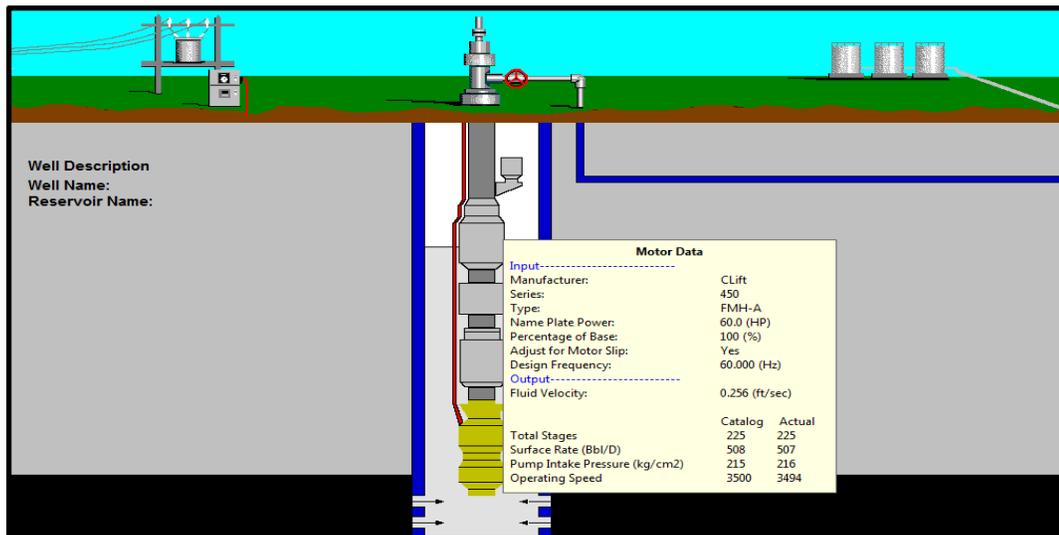
Variador de frecuencia: 60 Hz

Características especiales del equipo:

- Requiere Separador de gas
- Requiere Motor de alta temperatura



- **Figura 3.1.11. Características de la bomba.**



- **Figura 3.1.12. Características de la bomba.**

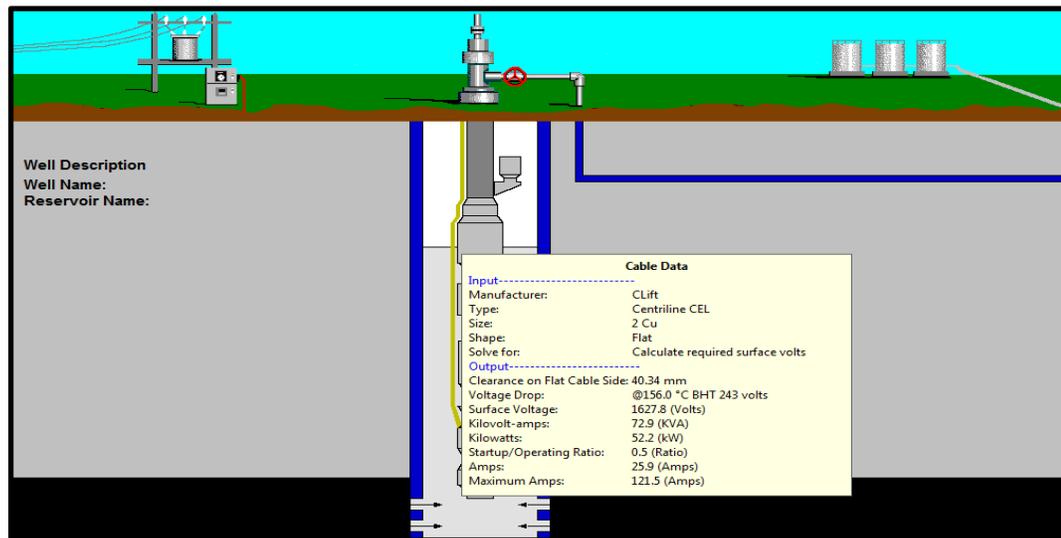


Figura 3.1.13. Características del cable.

3.2 POZO Y-42

3.2.1. Información del Pozo:

El pozo Y-42 es un pozo productor (desviado), su último ajuste de realizó en Enero del 2009 con ayuda del Software de flujo multifásico WellFlo mediante el modelo de aceite negro en donde se reportó una producción aproximada de 3,534 bpd con una Relación Gas Aceite (RGA) de $59 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Para el diseño del Sistema Artificial de Producción (SAP) se incluye: la información general del pozo, PVT y perfil de temperatura como se muestra de la **Tabla 3.2.1** a la **Tabla 3.2.7**.

Tabla 3.2.1. Información general del Pozo

Estado actual del Pozo	Productor
Fecha de ajuste:	Ene-09
Pws @ fecha de ajuste (Kg/cm^2):	526
TempYac ($^{\circ}\text{C}$):	109
NMD (m):	4053
Tipo de Aceite:	Negro
Gravedad especifica del aceite ($^{\circ}\text{API}$):	23
Gravedad especifica del gas (Adim):	0.81
RGA (m^3/m^3):	94.28
Tiene PVT:	no
Pb @ Temp Yac (Kg/cm^2):	120.9
Gradiente geotérmico ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$):	0.025

Tabla 3.2.2. Distribución del aparejo de producción

TR	O.D. [pg]	Prof. [m]	#/pie	I.D. [pg]
1	9.875	3757	62.8	8.625
2	7	4184	32	6.094

TP	O.D. [pg]	Prof. [m]	#/pie	I.D. [pg]
1	4.5	3492.48	12.6	3.958
2	3.5	3771.78	12.7	2.75

A continuación se ilustra el estado mecánico en la **Figura 3.2.1** en la cual se observa que a la profundidad de 3,371 MV donde se pretende colocar el equipo BEC se tiene una Tubería de Revestimiento (TR) de 7", que de acuerdo a las dimensiones de los equipos disponibles se pueden utilizar los de la Serie 400.

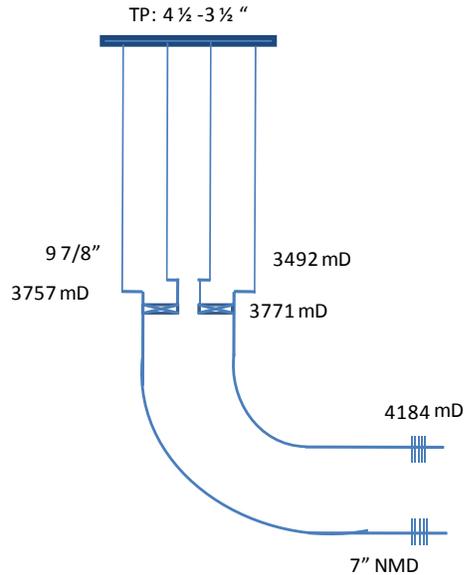


Figura 3.2.1. Geometría del pozo (terminación horizontal)

Tabla 3.2.3. Información del análisis PVT

Presión	Rs	Bo	μ_o	μ_g	Z
Kg/cm ²	m ³ /m ³	m ³ /m ³	Cp	Cp	Adim
28.12	39.25	1.0987	0.852	0.0159	0.8552
42.18	50.33	1.1159	0.808	0.0166	0.8732
56.25	60.16	1.1328	0.772	0.0171	0.8808
70.31	69.36	1.1512	0.743	0.018	0.9009
84.37	77.17	1.1665	0.707	0.0186	0.9144
98.43	88.51	1.1921	0.677	0.0194	0.9306
120.93	108.42	1.2471	0.615		

Tabla 3.2.4 Registro giroscópico (pozo desviado)

mD	mV	Desv
0	0	0.0
215	215	0.0
3086.72	3086.6522	4.1
3115.3601	3115.128	8.0
3142.75	3142.1074	11.7
3170.1499	3168.7272	15.6
3657.6001	3620.7584	32.1
3742.3601	3688.2146	42.3
3770.3601	3708.3636	45.6
3826.1399	3745.1159	52.0
3883.6399	3778.2658	57.9
3940.46	3805.1343	65.5
4063.91	3843.2424	78.8
4092.06	3847.803	82.5
4120.29	3850.2847	87.4
4205.99	3850.22	91.1

Tabla 3.2.5 Perfil de temperatura

QL	Temp
bpd	°C
0	30
1000	41.363
2000	52.543
3000	61.659
4000	68.608
5000	73.918
6000	78.055
7000	81.349
8000	84.025

En la Tabla 3.2.6 se ilustra las condiciones de aforo (Ener-09) a las cuales se ajustó el diseño, las cuales se puede observar que a esa fecha presentaba una producción de 3489 BPD, con una Pws de 526 kg/cm². El diseño al que se espera la colocación del equipo BEC es durante se presente una Pws de 400 kg/cm², con una producción de 3500 BPD, esta presión es antes de que se llegue a la presión de abatimiento.

En la figura 3.2.7 se observa que para una la Pws de diseño de 400 kg/cm² para poder tener una producción de 3500 BPD, es necesario un nivel dinámico de 1,142 m y una sumergencia de 2,593 m.

Tabla 3.2.6 Aforos y Condiciones de Producción esperadas

Condiciones		Aforo	Diseño
Fecha	---	Ene-09	-----
Edo Pozo	---	Fluyente	Fluyendo
Pws	Kg/cm ²	526	400
QL Fluy.	BPD	3489	1188
Pwh	Kg/cm ²	81.41	39.9
QL c/ BEC	BPD	---	3500
Increment QL	BPD	---	2312
Ø Est	Pulg	1/2	1/2
% Agua	%	0	0
RGA	m ³ /m ³	59	59
Ple	Kg/cm ²	35	35
Tsup	°C	76.12	65.13
Ext TP	m	3771.78	3771.78
Correlación	---	D&R (std)	D&R (std)
Pws	Kg/cm ²	526	400
Pwf	Kg/cm ²	402.22	357.78
QL @ IPR	BPD	3489.05	1188
IP	bpd/kg/cm ²	1.9788	1.9788
Qmax	BPD	13,764.10	10,285.80

Tabla 3.2.7. Nivel de fluidos para la condición de diseño.

Pws	Kg/cm ²	400
Pwf	Kg/cm ²	274
Pwh	Kg/cm ²	45
QL	BPD	3,500
Nivel Din	m	1,142
Sumergencia	m	2,593

3.2.2. Ajuste de los Modelos del Pozo:

3.2.2.1. Modelo de flujo multifásico a la fecha de ajuste.

En la **Figura 3.2.2** se muestra el modelo de flujo multifásico proporcionado por el Activo reproduciendo las condiciones del ajuste (Ene-09), en donde se considera un modelo de Aceite Negro. Esta fue la información que fue la información base con la que se realizaron los análisis del pozo con el sistema BEC.

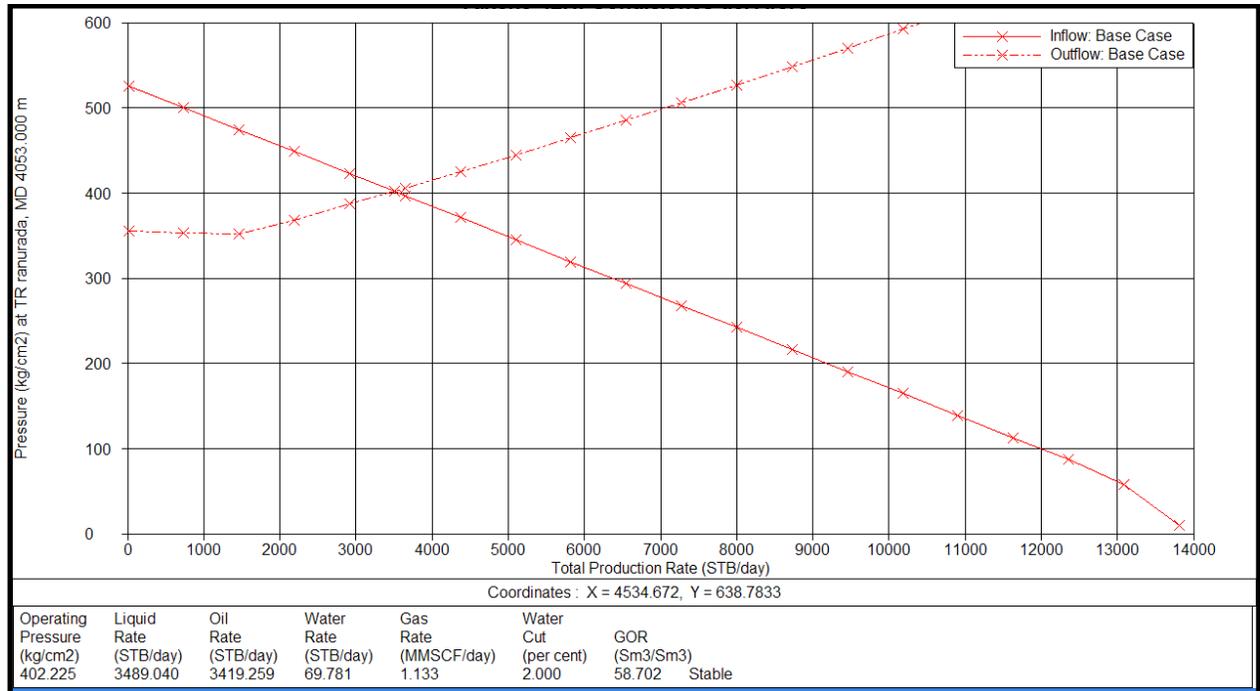


Figura 3.2.2. Análisis nodal del Pozo Y-42 a la fecha de ajuste.

3.2.2.2. Condiciones del pozo para la fecha de aplicación del sistema BEC.

En la figura **3.2.3** se muestran las condiciones a las que se propone aplicar el sistema BEC, en este caso se consideró que la aplicación se lleve a cabo cuando la presión del yacimiento alcance los 400 Kg/cm², considerando que no existirán grandes cambios de las propiedades de los fluidos.

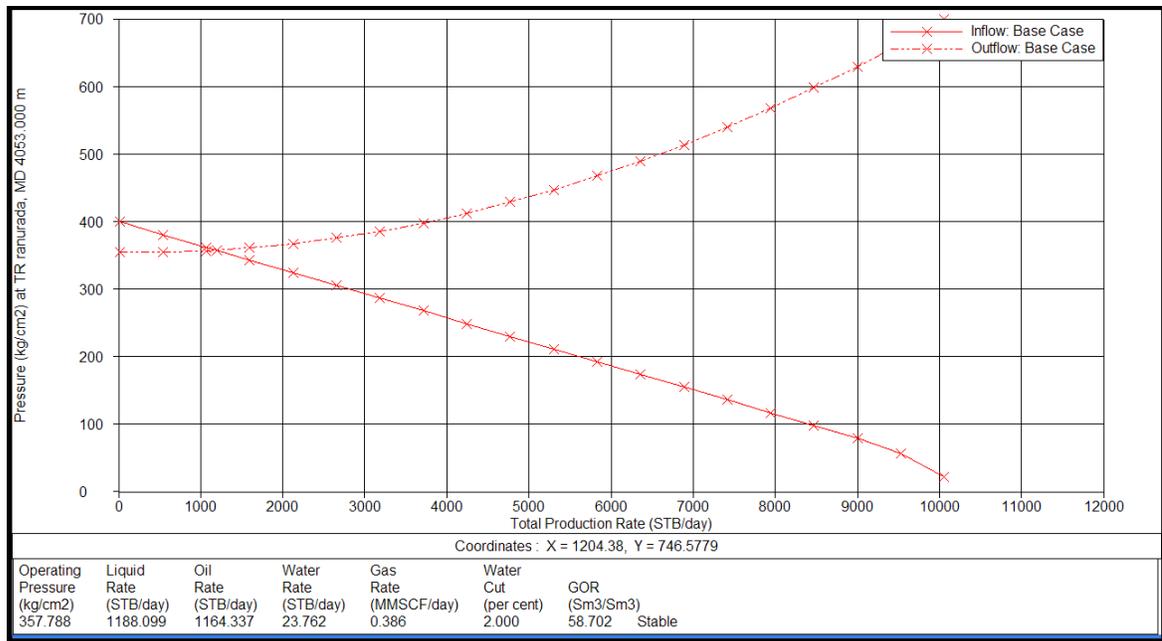


Figura 3.2.3. Análisis nodal del Pozo Y-42 a las condiciones de diseño.

3.2.2.3. Ajuste de los parámetros del pozo en el Software SubPump para el diseño de sistemas BEC.

El gasto líquido utilizado para el ajuste del modelo del pozo en el software especializado SubPump, fue de 3500 bpd, visualizando las siguientes variables: Presión en la entrada de la bomba (PIP), % de gas libre en la entrada de la bomba, Altura Dinámica Total (TDH) y Gasto total de fluidos en el fondo (Líquido+Gas), debido a que el porcentaje de gas a la entrada de la bomba es de 0% se reprodujeron directamente las condiciones de diseño de WellFlo en el software SubPump. A continuación en la **Tabla 3.2.8** se presentan las variables modificadas para el ajuste y su nuevo valor. En la siguiente tabla se presentan los valores de ajuste de los parámetros, para obtener el modelo de diseño en el software especializado en diseño de equipos BEC (SubPump). En la tabla se puede observar la comparación del diseño en Wellflo y SubPump, los cuales presentaron resultados muy parecidos. En el software especializado SubPump para el ajuste del diseño se tuvo que variar la Pwh de 45 a 46 Kg/cm2.

Tabla 3.2.8. Ajuste de parámetros del pozo para el diseño del sistema BEC

	0% de Eficiencia		Variable modificada	Valor Anterior	Valor Modificado	Variable ajustada	Nuevo Valor Calculado
	WellFlo	SubPump		WellFlo	Prosper		
% Separación Total:							
Simulador:	WellFlo	SubPump					
Gasto de Diseño en Superficie:	3,600	3,600					
Profundidad de la bomba, m:	3,700	3,700					
Presión en la Entrada de la bomba (PIP), Kg/cm ² :	260.79	258.5	Prof. Bomba	3,700	3,735	PIP	187.932
% de gas libre dentro de la bomba, %:	0	0				% Gas Libre	
Altura Dinámica Total (TDH), m:	1,040	1,015	Ptp	45	46.1	TDH	377
Gasto Total de Fluidos (Liq+Gas), BPD:	4,201	4,146				Gasto Total	

3.2.2.4. Comportamiento del pozo ajustado en el Software SubPump para las condiciones de diseño.

El potencial del pozo en el software de WellFlo es de 1,188bpd aproximadamente. De acuerdo al criterio de gastos críticos, el gasto de diseño, en superficie, fue de 3500 BPD de líquido (muy cerca del Qmax.). En la **Figura 3.2.4** se muestra el potencial del pozo calculado en el software de SubPump.

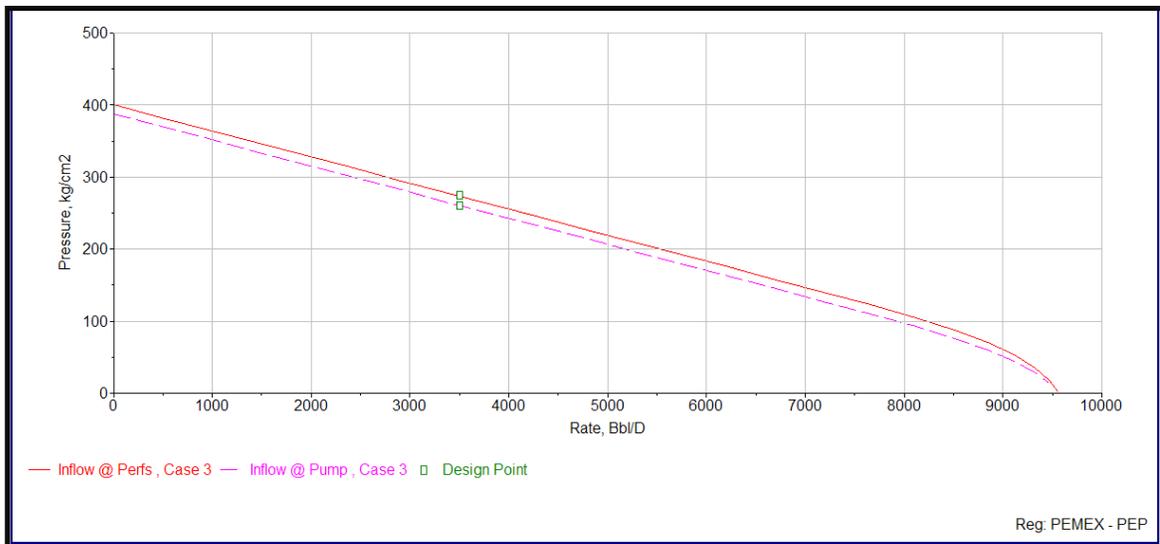


Figura 3.2.4.- Potencial del pozo Y- 42 calculado en SubPump.

En la **Figura 3.2.5** se muestra que el requerimiento de energía (TDH) para llevar los fluidos hasta la superficie con el sistema BEC para el gasto deseado es de 1039 m.

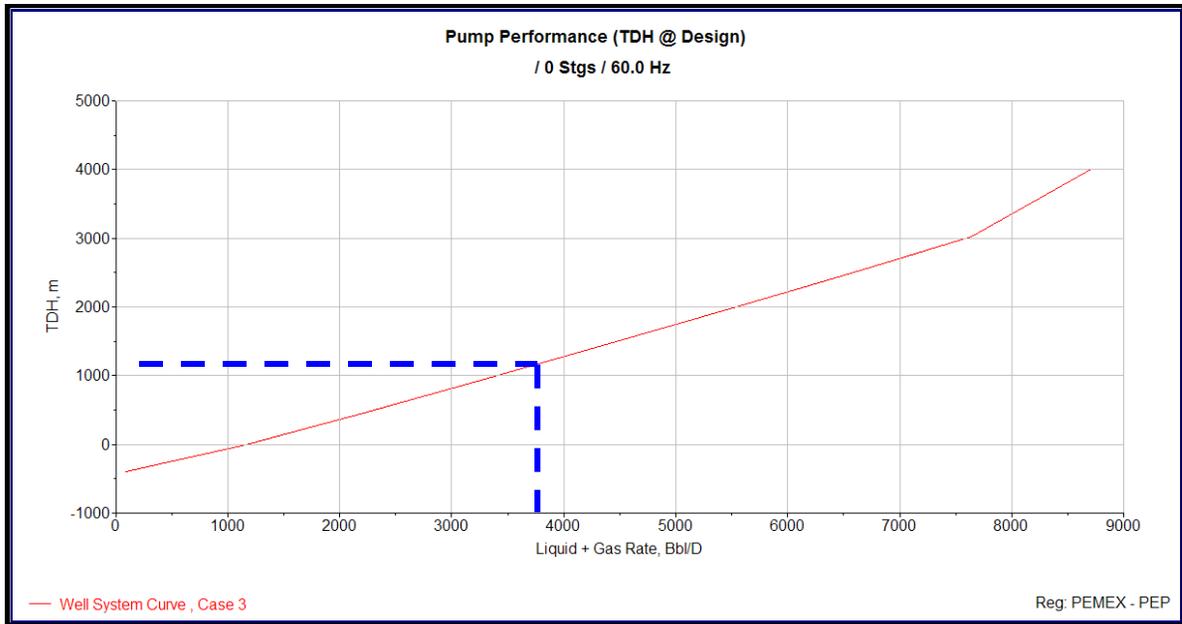


Figura 3.2.5.- TDH requerido para el QL= 3500 bpd en el Pozo Y-42.

3.2.3. Diseño del Sistema BEC para el Pozo Y-42:

Las condiciones de diseño son los siguientes:

Tabla 3.2.9 Condiciones finales de diseño del Pozo Y-42

Corte de Agua:	%	2
RGA:	m ³ /m ³	59
QL diseño final:	BPD	3500
Profundidad Bba.:	m	3735
Presión de salida:	Kg/cm ²	45

Bajo estas condiciones de operación el gasto de fluidos total (Liq+Gas) en el fondo es de 4198 y 3148 bpd para 0 y 70% de agua respectivamente, considerando la bomba Centrilift GC4100. Este porcentaje de agua de 70% es el máximo corte de agua que puede manejarse, demandando un requerimiento de 84 etapas y 171 Hp respectivamente.

A continuación se presentan las características del equipo seleccionado: bomba, motor, cable de potencia y variador de velocidad (VSD).

Tabla 1.15.10.- Características del equipo seleccionado

BOMBA				MOTOR				
Serie	Modelo	Housing Núm.	Etapas Núm.	Serie	Tipo	Pot. hp	Voltaje Volts	Corriente Amper
513	GC4100	1	84	562	KMH-A	171	2390	44

CABLE					VSD		
Mod.	Tipo	No. AWG	I Max Amper	Temp Max °C	Energía KVA	Voltaje ENT. Volts.	Voltaje Sup. Volts
CEE	Plano	#2	129	204	250	480	2680

En las **figuras 3.2.6** se muestran las condiciones de operación esperadas del equipo para 2% de agua para la condición de $P_{ws} = 400 \text{ Kg/cm}^2$.

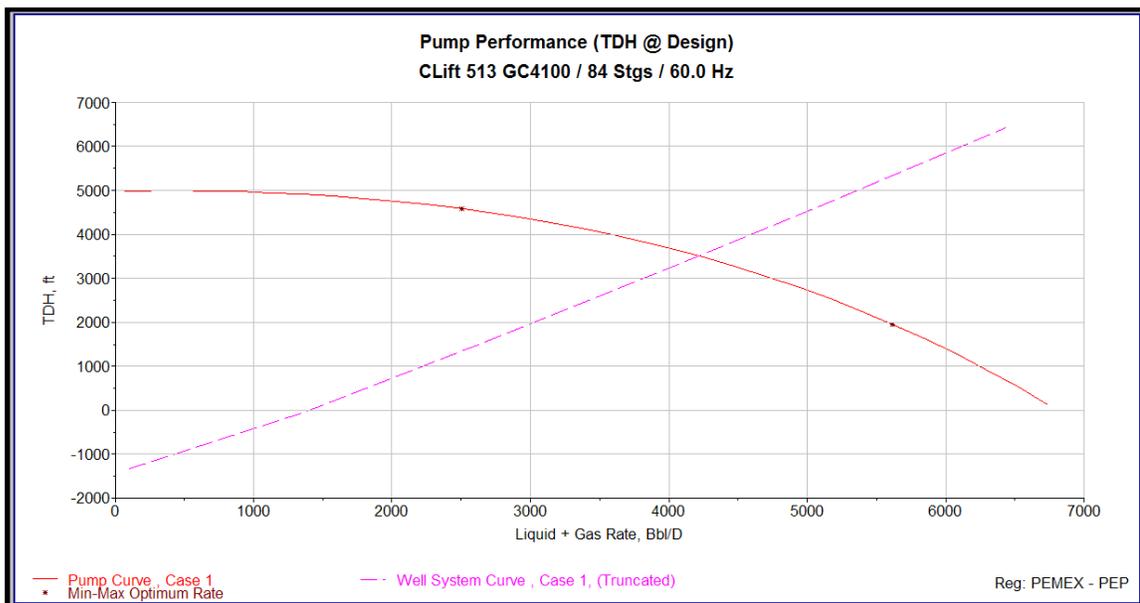


Figura 3.2.6. Comportamiento del Equipo BEC en el Pozo Y-42 para 0% de agua.

En las **Figuras 3.2.7** se muestra el % de gas libre para las condiciones esperadas del equipo y en la **Figura 3.2.8** el comportamiento del equipo variando la frecuencia de operación.

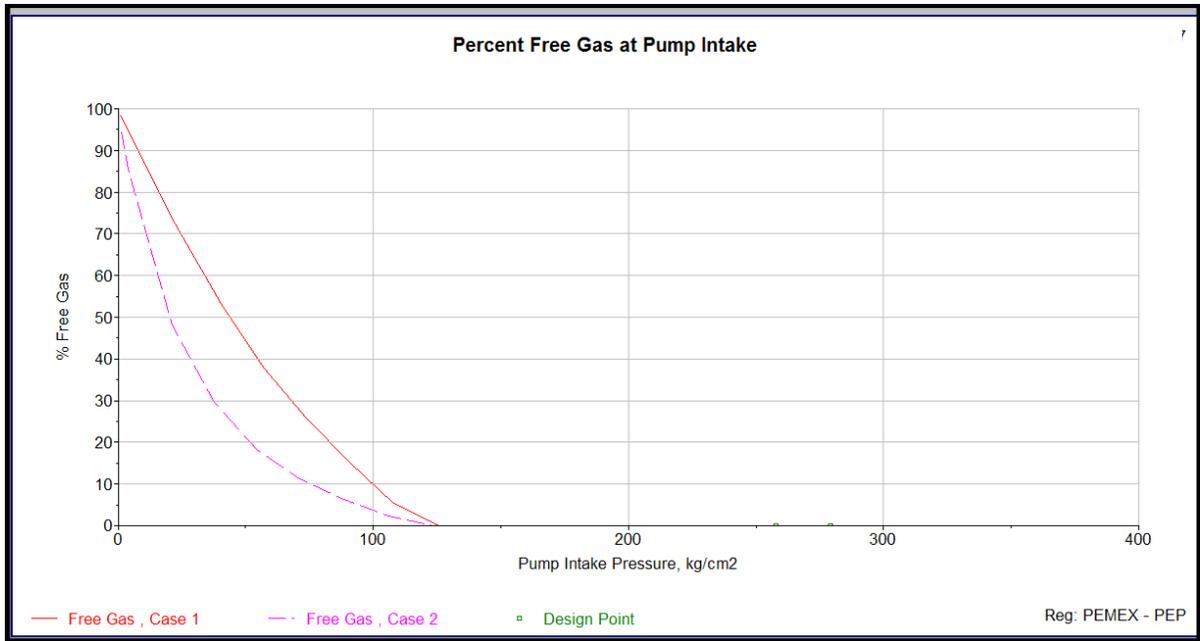


Figura 3.2.7. Comportamiento del % gas libre en la entrada bomba.

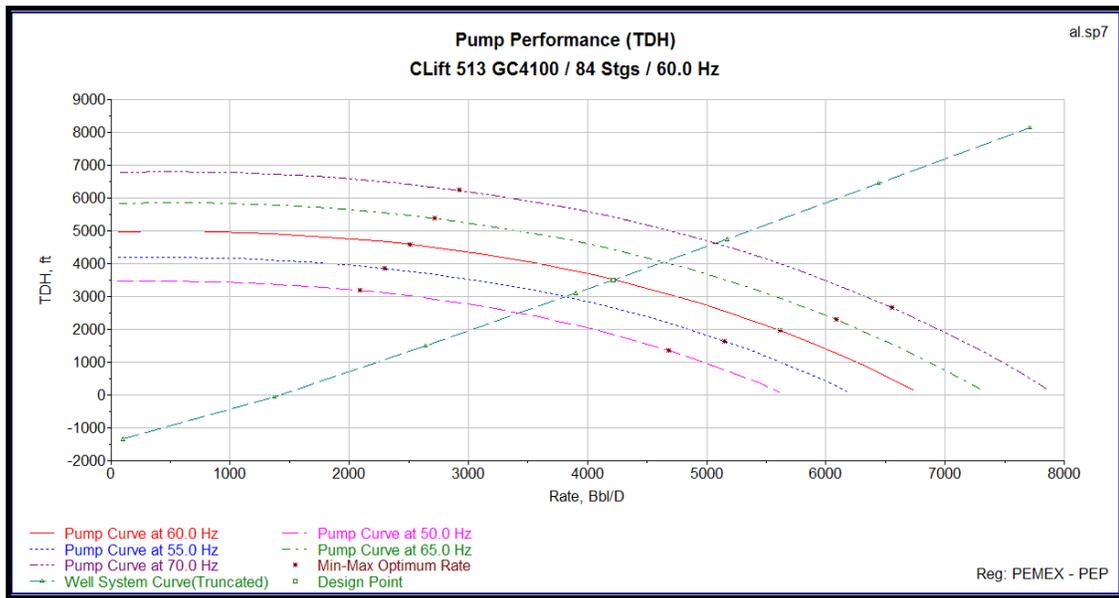


Figura 3.2.8. Comportamiento del Equipo BEC en el Pozo Y-42 variando la frecuencia.

En la **Figura 3.1.9** Se muestra la curva de comportamiento de una bomba, que nos indica el rango de producción recomendado para dicha bomba, y en la Figura 3.1.10 se observa el Funcionamiento de la bomba para varias frecuencias.

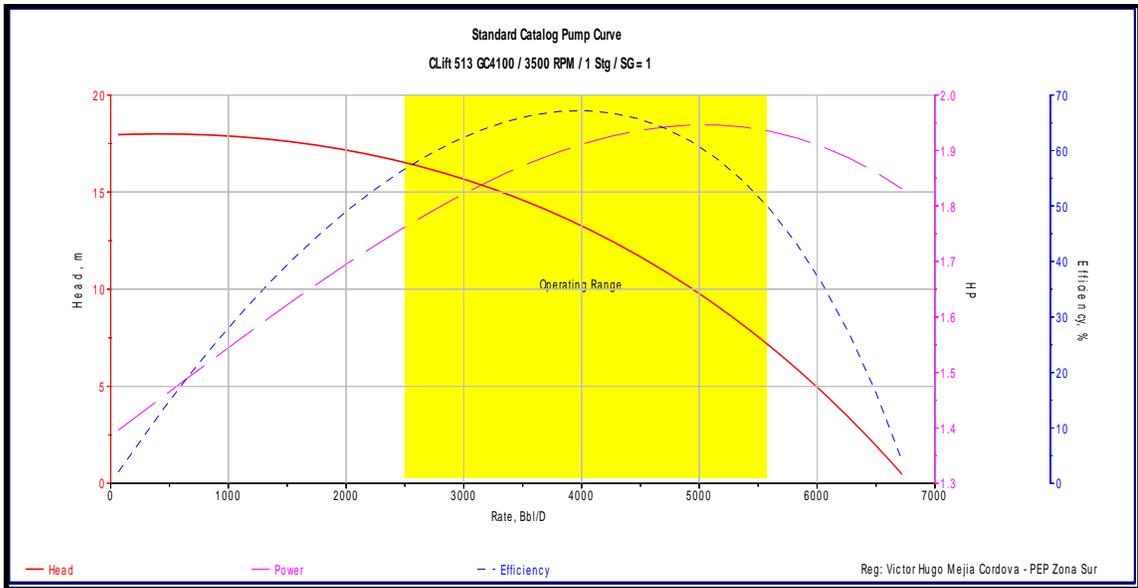


Figura 3.2.9. Curva de operación de la bomba

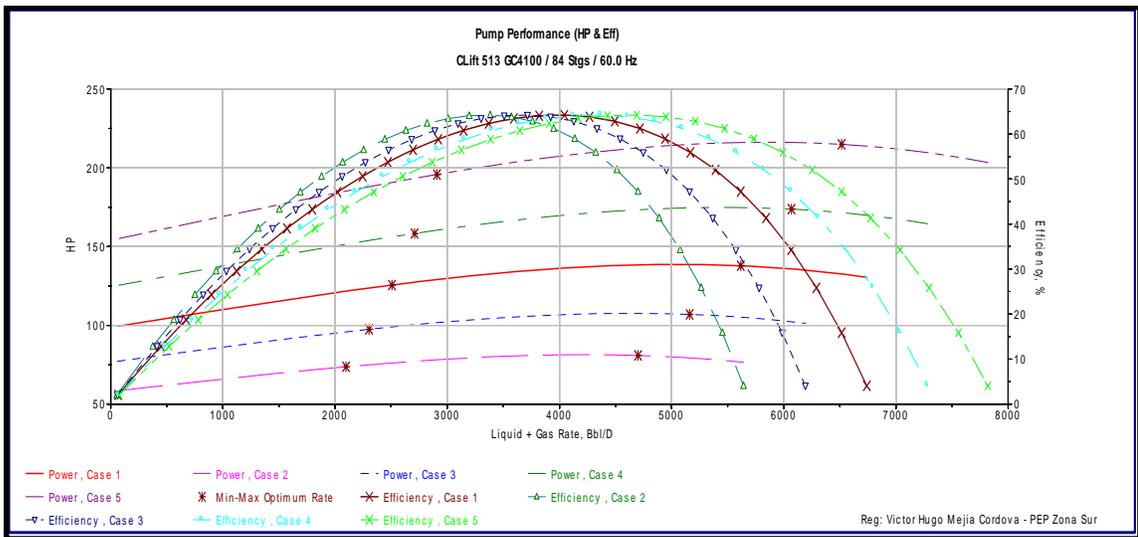


Figura 3.2.10. Funcionamiento de la bomba para varias frecuencias.

3.2.4.- Resultados:

En la **tabla 3.2.11** se muestra el resumen del comportamiento del equipo BEC para los dos escenarios de operación.

Tabla 3.2.11.-Resumen del comportamiento del equipo BEC en el pozo Y-42

COMPORTAMIENTO DEL EQUIPO BEC						
Frecuencia de Operación	Hz	50	55	60	65	70
Potencia del motor @ Diseño	HP	79.6	105.5	135.8	170.7	210.7
Potencia del motor @ 60 Hz		96.1	115.7	137	159.6	183.6
Velocidad de operación	RPM	2938.1	3225.5	3510.7	3793.1	4071.9
Corriente de operación	Amper	28.3	32	36.5	41.6	47.2
Voltaje de operación	Volts	1991.7	2190.8	2390	2589.2	2788.3
Factor de Potencia operando	---	0.768	0.806	0.836	0.859	0.874
Considera ajuste de deslizamiento	---	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Eficiencia de la Bomba	%	64.1	64	63.9	63.8	63.6
Eficiencia del Motor	%	84.7	86.2	86.8	87.1	87.4
Empuje axial operando	lb	536.1	637.1	742.8	852.4	964.6
Máximo empuje axial	lb	751.8	909.7	1082.6	1270.5	1473.5
Gasto de liquido en superficie	BPD	2908.25	3230.49	3565.2	3907.9	4258.6
Gasto promedio de fluidos Total	BPD	3437.59	3818.49	4214.11	4619.2	5033.8
% de gas libre en la entrada de la bomba	%	0	0	0	0	0
Altura Dinámica Total	m	1368.7	767.9	915.4	1230.3	1394.7
Presión en la entrada de la bomba	Kg/cm ²	261.5	281.8	270.149	245.4	232.7

Como se puede observar en la Tabla 3.2.11, a mayor frecuencia de operación se obtiene mayor gasto de líquido, por lo que es recomendable la colocación de un variador de frecuencia..

Características del diseño del equipo BEC:

Datos de Diseño del BEC:

$P_{ws} = 400 \text{ kg/cm}^2$

$Q_o = 3565 \text{ bpd}$

$P_{tp} = 46 \text{ kg/cm}^2$

Aparejo 3 1/2"

Profundidad bomba 3735 m

Resultados del BEC:

Bomba: Centrilift (513) GC4100-84 (1)

Motor: (552) KHM-A 171HP 2390V 44A

Cable: #2 CEL

Variador de frecuencia: 60 Hz

Características especiales del equipo:

- Variador de frecuencia

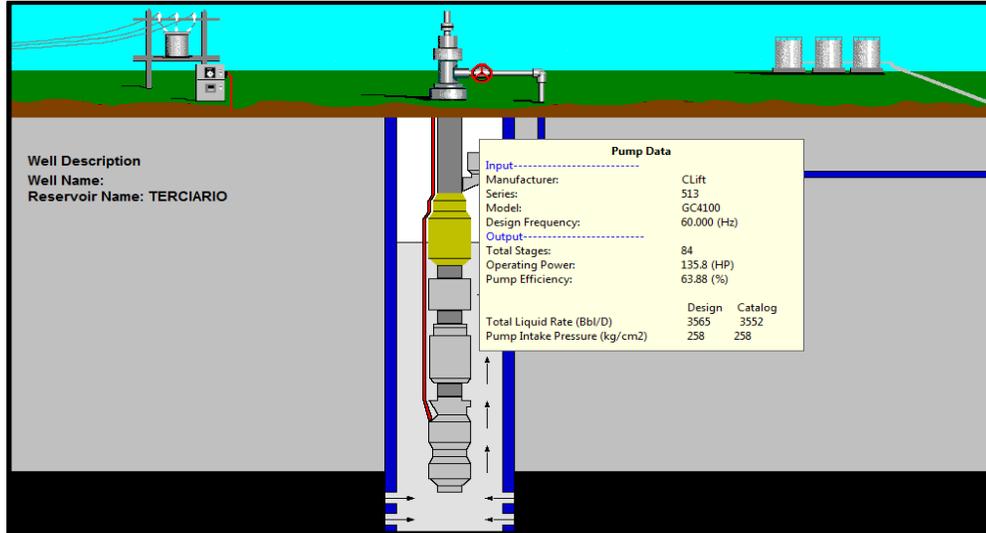


Figura 3.2.12. Características de la bomba.

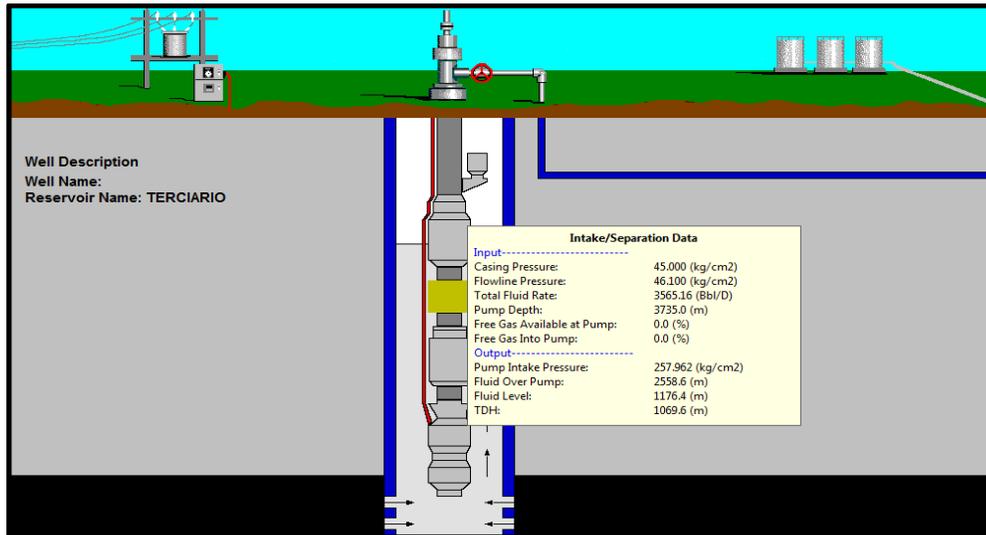


Figura 3.2.13. Características del separador.

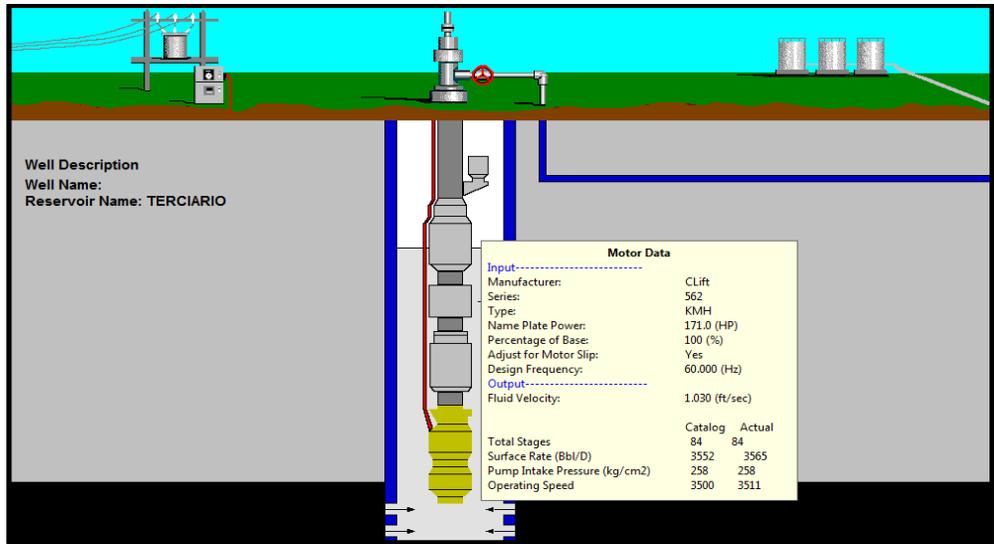


Figura 3.2.14. Características del motor.

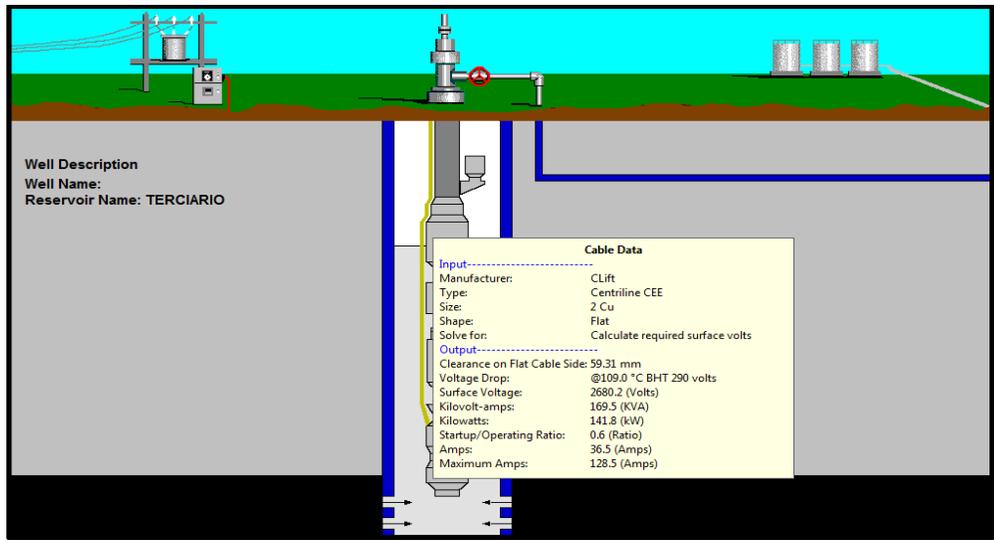


Figura 3.2.15. Características del cable.

3.3 POZO S 118.....

3.3.1 Información del Pozo

El pozo S118 es un pozo productor vertical, su último ajuste se realizó en Febrero del 2009 con ayuda del Software de flujo multifásico WellFlo mediante el modelo de aceite volátil en donde reportó una producción aproximada de 656 bpd con una Relación de Gas Aceite (RGA) de 442.783 m³/m³. Para el diseño del sistema Artificial de Producción (SAP) se incluye: la información general del pozo, PVT, perfil de temperatura como se ilustra de la **Tabla 3.3.1** a la **Tabla 3.3.7**.

Tabla 3.3.1.- Información general del Pozo

Estado actual del Pozo	Productor
Fecha de ajuste:	Feb-09
Tipo de Aceite:	Volátil
Formación:	JSK
Cima de Intervalo productor (m):	5,600
Base de Intervalo productor (m):	5,706
NMD (m):	5,653
Pws @ fecha de ajuste (Kg/cm²):	710
TempYac (°C):	159
IP (bpd/psi)	0.1115
Qmax (bpd)	1117.5
Gravedad especifica del aceite (°API):	37
Gravedad especifica del gas (Adim):	0.7
RGA (m³/m³):	442
Tiene PVT:	No (Corr-S 201)
Pb @ Temp Yac (Kg/cm²):	355
Gradiente geotérmico (°C/m):	0.025

Tabla 3.3.2. Distribución del aparejo de producción

TR	O.D. [pg]	Prof. [m]	#/pie	I.D. [pg]
	9.5/8"	4561	53	8.535
	7 5/8"	5477.5	39	4.494
	5"	5635	17	4.892

TP	O.D. [pg]	Prof. [m]	#/pie	I.D. [pg]
	4 1/2"	119.83	15.2	3.826
	3 1/2"	138.7	12.7	2.75
	4 1/2"	4319.31	12.6	3.958
	3 1/2"	5438	12.7	2.75

A continuación se ilustra el estado mecánico en la **Figura 3.3.1** en la cual se observa que a la profundidad de 5300 md donde se va a colocar el equipo BEC se tiene una Tubería de Revestimiento (TR) de 7 5/8".

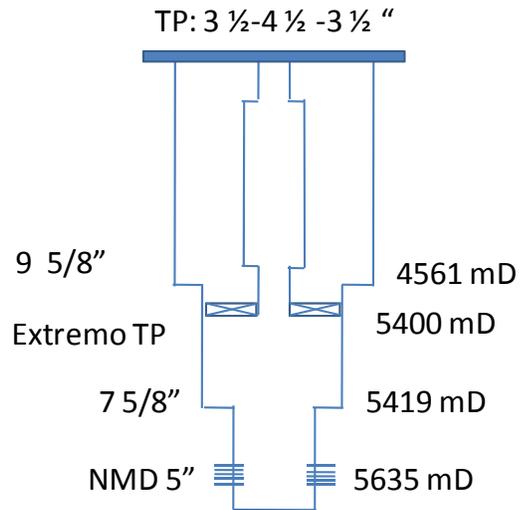


Fig. 3.3.1.- Geometría del pozo

Tabla 3.3.3.- Información del análisis PVT

Presión	Rs	Bo	μo	μg	Bg	Z
Kg/cm ²	m ³ /m ³	m ³ /m ³	cP	cP		Adim
355	442.783	2.471	0.1578			
300	285.4	1.911	0.1733	0.0269	4.795	0.917
250	217.911	1.713	0.1973	0.0214	5.513	0.8954
200	160.138	1.595	0.226	0.0195	6.783	0.884
150	118.332	1.478	0.2662	0.018	8.425	0.8793
100	82.816	1.369	0.3205	0.0159	13.711	0.8919
75	66.201	1.321	0.3527	0.0154	18.031	0.9052
50	47.183	1.265	0.3943	0.0145	27.905	0.9257
25	22.471	1.193	0.4545	0.0138	58.938	0.9553
0	0	1.005	0.52	-----	-----	1

Tabla 3.3.4 Registro giroscópico (pozo vertical)

mD	mV	Desv
0	0	0
5653	5653	0

Tabla 3.3.5 Perfil de temperatura

QL	Temp
bpd	°C
0	30
250	35.242
500	41.152
750	47.366
1000	53.65
1250	59.777
1500	65.588
1750	71
2000	75.987

En la Tabla 3.3.6 se ilustra las condiciones de aforo (Ago-11) a las cuales se ajustó el diseño, donde se puede observar que a esta fecha presenta una producción de 656 BPD, con una Pws de 710 kg/cm². El diseño al que se espera la colocación del equipo BEC es a condiciones actuales para subir la producción a 1000 BPD.

En la figura 3.3.7 se observa que para una la Pws de diseño de 710 kg/cm² para poder tener una producción de 1000 BPD, es necesario un nivel dinámico de 1,778.33 m y una sumergencia de 3,577 m.

Tabla 3.3.6 Aforos y Condiciones de Producción esperadas

Fecha	---	Ago-11	Diseño-1
Edo Pozo	---	Fluyendo	Fluyendo
QL	bpd	656	656
Pwh	Kg/cm ²	112.62	---
Pwh _{p/BEC}	Kg/cm ²	112.62	112.62
QL c/ BEC	bpd	---	1000
Increm QL	bpd	---	344
Ø Est	Pulg	1/4	---
% Agua	%	0	0
RGA	m ³ /m ³	300	300
Ple	Kg/cm ²	59	70
Tsup	°C	45.03	53.65
Ext TP	m	5438	5300
Correlación	---	D&R std	D&R std
Pws	Kg/cm ²	710	710
Pwf	Kg/cm ²	438	438
QL @ IPR	bpd	656.1	656.1
IP	bpd/psi	0.165	0.165
Qmax	bpd	1,510	1,510

Tabla 3.3.7. Nivel de fluidos para la condición de abatimiento

Pws	Kg/cm²	710
Pwf	Kg/cm²	296.431
Pwh	Kg/cm²	112.62
QL @ IPR	BPD	1,000
Nivel Din	m	1,778.33
Sumergencia	m	3,577

3.3.2. Ajuste de los Modelos del Pozo:

3.3.2.1. Modelo de flujo multifásico a la fecha de ajuste.

En la **Figura 3.3.2** se muestra el modelo de flujo multifásico proporcionado por el Activo reproduciendo las condiciones del ajuste (May-11), en donde se considera un modelo de Aceite Volátil, siendo esta la información que se tomó para base del diseño BEC.

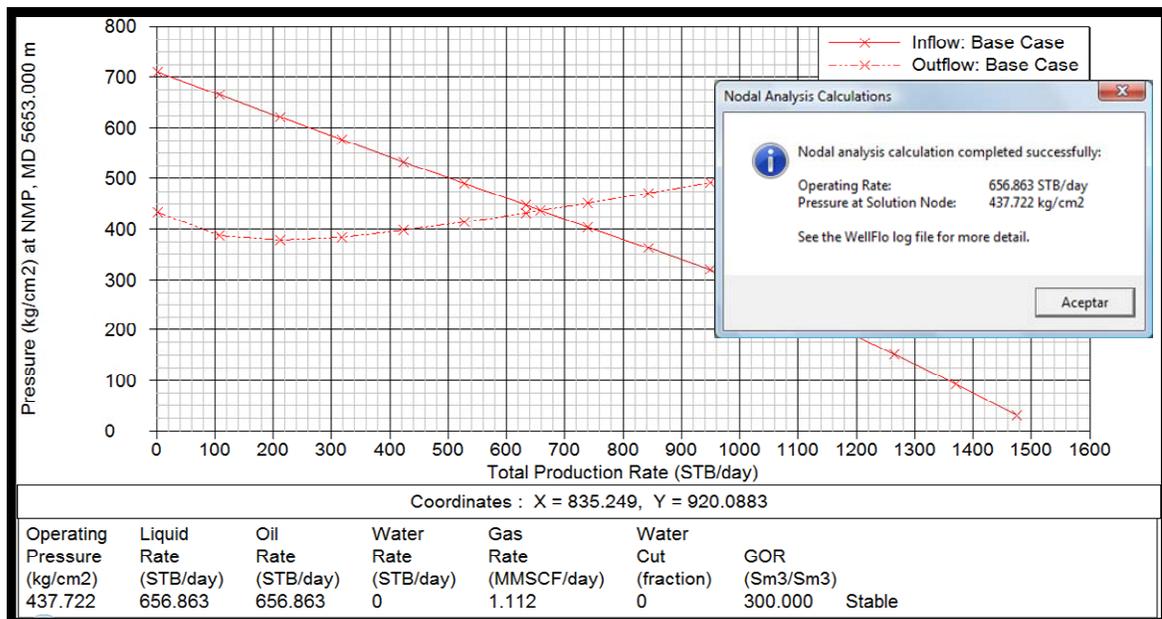


Figura 3.3.2. Análisis nodal del Pozo S-118 a la fecha de ajuste.

3.3.2.2. Condiciones del pozo para la fecha de aplicación del sistema BEC.

En la **Figura3.3.2** se muestran las condiciones a las que se propone aplicar el sistema BEC, cabe resaltar que el diseño BEC se consideró aplicar desde la condición actual de $P_{ws} = 710 \text{ Kg/cm}^2$ debido a que el potencial del pozo es limitado ($Q_{max} = 1,510 \text{ bpd}$).

3.3.2.3. Ajuste de los parámetros del pozo en el Software SubPump para el diseño de sistemas BEC.

A continuación se presenta la **Tabla 3.3.8a** con el análisis preliminar de los parámetros de diseño: Presión en la entrada de la bomba (PIP), % de gas libre en la entrada de la bomba, Altura Dinámica Total (TDH) y Gasto total de fluidos en el fondo (Líquido+Gas), que se obtienen en el Software de flujo multifásico "WellFlo", en donde se observa que existe una gran cantidad de gas libre en la entrada de la bomba (14.2%), con lo cual será necesario obtener un modelo representativo en el software de flujo multifásico "Prosper", esto para poder considerar la aplicación de un separador y/o manejador de gas. En la tabla se presentan los valores de ajuste de los parámetros para obtener dicho modelo.

Tabla 3.3.8a. Ajuste de parámetros del pozo para el diseño del sistema BEC

	0% de Eficiencia		Variable modificada	Valor Anterior	Valor Modificado	Variable ajustada	Nuevo Valor Calculado
	WellFlo	Prosper		WellFlo	Prosper		
% Separación Total:							
Simulador:							
Gasto de Diseño en Superficie:	1,000	1,000		-----	-----		-----
Profundidad de la bomba, m:	5,300	5,300		-----	-----		-----
Presión en la Entrada de la bomba (PIP), Kg/cm^2 :	276.78	263.53	IP	0.165	0.17	PIP	276.4
% de gas libre dentro de la bomba, %:	14.2	15.36	Pb	355	305	% Gas Libre	10.75
Altura Dinámica Total (TDH), m:	2427	2903	Ptp	112.62	-----	TDH	2646
Gasto Total de Fluidos (Liq+Gas), BPD:	2,024	2,215	Bo	2.471	-----	Gasto Total	2,166

A continuación se presenta la **Tabla 3.3.8b** con las variables modificadas del modelo representativo (Prosper) al software especializado en diseño del equipo BEC (SubPump).

Tabla 3.3.8b. Ajuste de parámetros del pozo para el diseño del sistema BEC

	70% de Eficiencia		Variable modificada	Valor Anterior	Valor Modificado	Variable ajustada	Nuevo Valor Calculado
	Prosper	SubPump		Prosper	SubPump		
% Separación Total:							
Simulador:							
Gasto de Diseño en Superficie:	1,000	1,000		-----	-----		-----
Profundidad de la bomba, m:	5,300	5,300		-----	-----		-----
Presión en la Entrada de la bomba (PIP), Kg/cm^2 :	276.4	264.434	IP	0.17	-----	PIP	276.654
% de gas libre dentro de la bomba, %:	10.75	15.9	Pb	305	-----	% Gas Libre	10.9
Altura Dinámica Total (TDH), m:	3009	2829.5	Ptp	112.62	135.5	TDH	3126
Gasto Total de Fluidos (Liq+Gas), BPD:	2,002	1,885	Bo	-----	2.05	Gasto Total	1,991

3.3.2.4. Comportamiento del pozo ajustado en el Software SubPump para las condiciones de diseño.

El potencial del pozo, para las condiciones de diseño, en el software de WellFlo es de 1,510 bpd aproximadamente. El gasto de diseño final, en superficie, con el que se evaluó el sistema fue de 1000 bpd de líquido. En la **Figura 3.3.3** se muestra el potencial del pozo calculado en el software de SubPump (1,700 bpd).

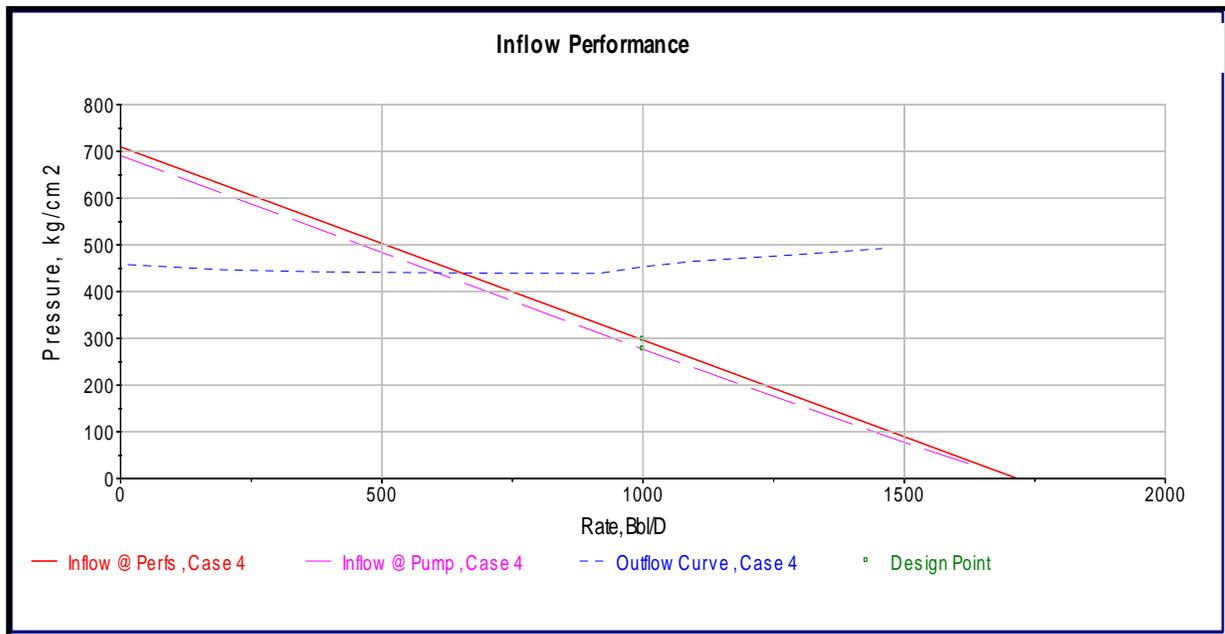


Figura 3.3.3. Potencial del pozo S-118 calculado en SubPump.

En la **Figura 3.3.3** se muestra que el requerimiento de energía (TDH) para llevar los fluidos hasta la superficie con el sistema BEC (3133 m), para el gasto de diseño.

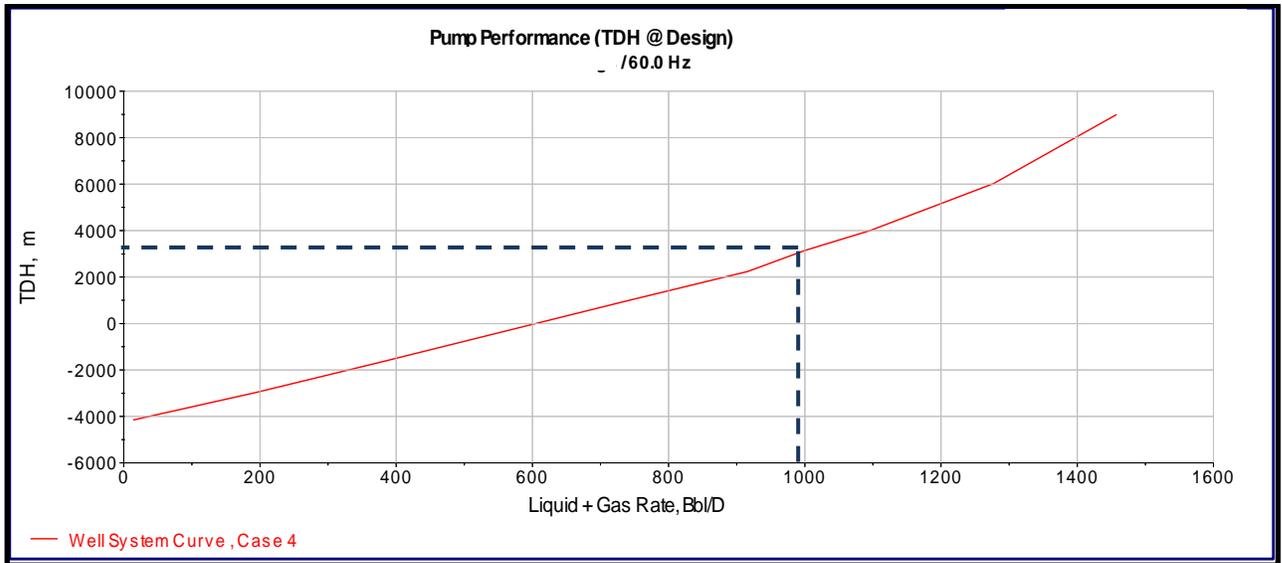


Figura 3.3.3. TDH requerido para el QL= 1000 bpd en el Pozo S118.

3.3.3. Diseño del Sistema BEC para el Pozo S 118:

Las condiciones de diseño finales para el pozo S118 es el que se muestra en la **Tabla 3.3.9**.

Tabla 3.3.9 Condiciones finales de diseño del Pozo S118.

Corte de Agua:	%	0
RGA:	m ³ /m ³	442
QL diseño final:	bpd	1,000
Profundidad Bba.:	m	5300
Presión de salida:	Kg/cm ²	112.62

Bajo estas condiciones de operación el gasto de fluidos total (Liq+Gas) en el fondo es de 1,000 bpd para 0 % de agua, considerando la bomba Centrilift GC2200. Para estas condiciones demanda un requerimiento de 253 etapas y 258.3 Hp respectivamente.

A continuación se presentan las características del equipo seleccionado: bomba, motor, cable de potencia y variador de velocidad (VSD).

Tabla 3.3.10. Características del equipo seleccionado

BOMBA				MOTOR				
Serie	Modelo	Housing Núm.	Etapas Núm.	Serie	Tipo	Pot. hp	Voltaje Volts	Corriente Amper
513	GC2200	2	253	562	KMH	266	2345	69

CABLE					VSD		
Mod.	Tipo	No. AWG	I Max Amper	Temp Max °C	Energía KVA	Voltaje ENT. Volts.	Voltaje Sup. Volts
CEL	Plano	1	135	232	336	480	2814

En las Figuras 3.3.4 se muestran las condiciones de operación esperadas para la condición de $P_{ws} = 710 \text{ Kg/cm}^2$.

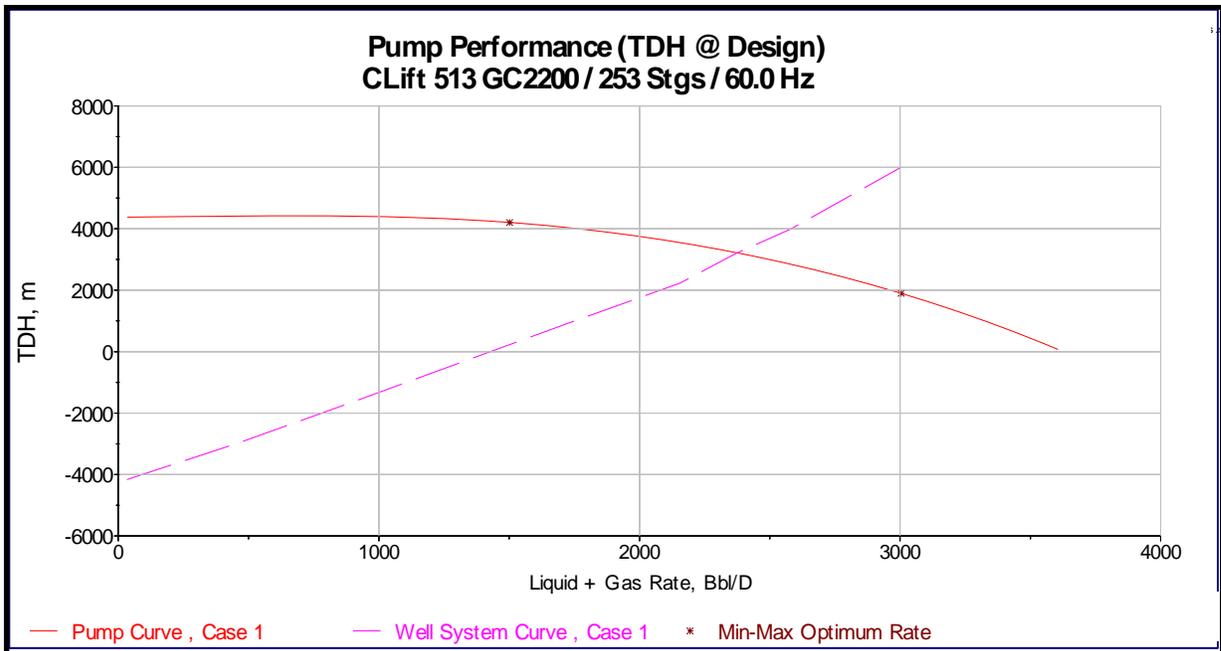


Figura 3.3.4. Comportamiento del Equipo BEC en el Pozo S-118.

En las **Figuras 3.3.5** se muestra el % de gas libre para las condiciones esperadas del equipo.

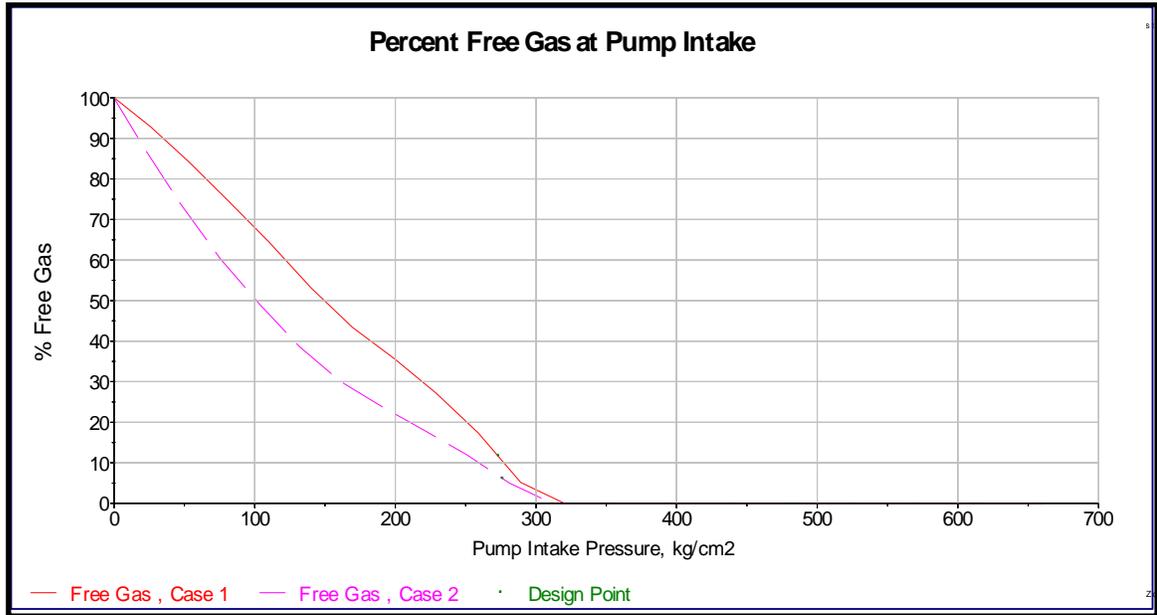


Figura 3.3.5 Comportamiento del % gas libre en la entrada de la bomba.

En la **Figura 3.3.6** se muestra para la condición de $P_{ws} = 710 \text{ Kg/cm}^2$ y el comportamiento del equipo BEC al variar la frecuencia.

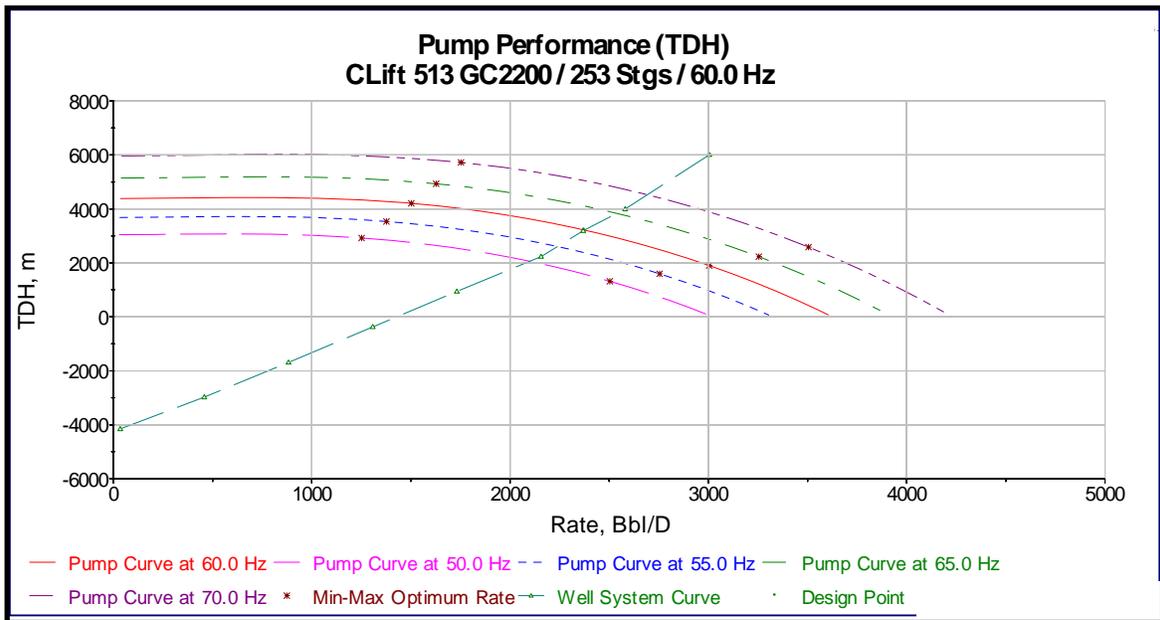


Figura 3.3.6 Comportamiento del Equipo BEC en el Pozo S118 variando la frecuencia.

En la **Figura 3.3.7** Se muestra la curva de comportamiento de una bomba, que nos indica el rango de producción recomendado para dicha bomba, y en la **Figura 3.3.8** se observa el Funcionamiento de la bomba para varias frecuencias.

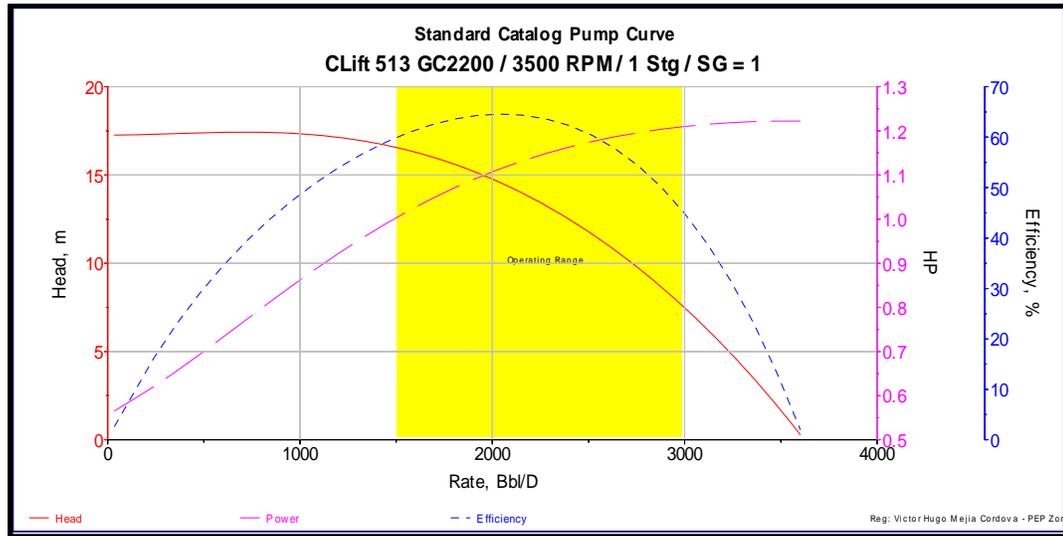


Figura 3.3.7. Curva de operación de la bomba

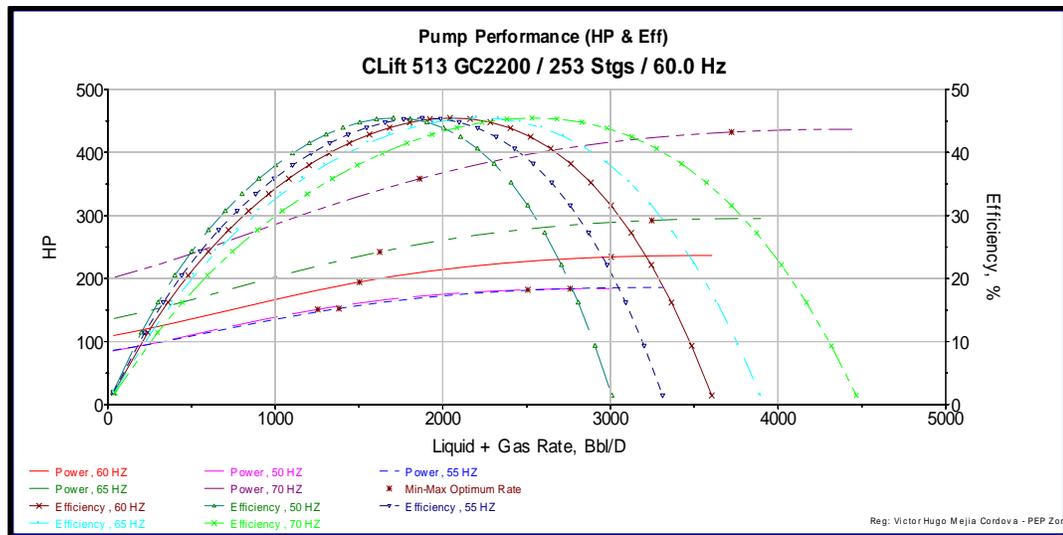


Figura 3.1.10. Funcionamiento de la bomba para varias frecuencias.

3.3.4. Resultados:

En la **Tabla 3.3.11**, se muestra el resumen del comportamiento del equipo BEC para las diferentes presiones de yacimientos y escenarios posibles.

Tabla 3.3.11 Resumen del comportamiento del equipo BEC en el pozo S118

COMPORTAMIENTO DEL EQUIPO BEC						
Frecuencia de Operación	Hz	50	55	60	65	70
Potencia del motor @ Diseño	HP	136.3	176.4	222.7	275.1	333.7
Velocidad de operación	RPM	2932.6	3219.8	3505.1	3787.6	4067.1
Corriente de operación	Amper	46.9	52.9	59.9	67.6	75.9
Voltaje de operación	Volts	1954.2	2149.6	2345	2540.4	2735.8
Factor de Potencia operando	---	0.786	0.819	0.845	0.864	0.876
Eficiencia de la Bomba	%	43.6	43.7	44	44.2	44.4
Eficiencia del Motor	%	85.5	86.5	86.9	87.1	87.4
Empuje axial operando	lb	1168.7	1135.5	1483.5	1874.3	2281.9
Máximo empuje axial	lb	1420	1718.2	2044.8	2399.8	2783.2
Gasto de liquido en superficie	BPD	909.92	955.7	1007.67	1071.2	1132.85
Gasto promedio de fluidos Total	BPD	2155.09	2263.51	2386.59	2537.07	2683.07
% de gas libre en la entrada de la bomba	%	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
% de gas libre que ingresa a la bomba	%	0	0.8	3.8	7.5	10.9
Altura Dinámica Total	m	2184.5	2652.3	3195.9	3764.3	4397
Presión en la entrada de la bomba	Kg/cm ²	313.72	294.714	273.551	247.903	223.114

Como se puede observar en la Tabla 3.3.11, se tiene un % de gas libre por lo que es importante la instalación de un separador de gas en el equipo de BEC

Características del diseño del equipo BEC:

Datos de Diseño del BEC:

Pws = 710 kg/cm²

Qo = 1000 bpd

Ptp = 112 kg/cm²

Aparejo 3 1/2"

Profundidad bomba 5300 m

Resultados del BEC:

Bomba: Centrilift (513) GC2200-253 (2)

Motor: (562) KHM-A 256HP 2345V 69A

Cable: #1 CEL

Variador de frecuencia: 60 Hz

.

Características especiales del equipo:

- Separador de gas

CAPITULO 4

4 Análisis y Discusión

El BEC ha probado ser un sistema artificial de producción eficiente y económico, en la actualidad ha cobrado mayor importancia debido a la variedad de casos en los que es ampliamente aceptado; en la industria petrolera, comparativamente con otros sistemas artificiales de producción tiene ventajas y desventajas, debido a que por diversas razones no siempre puede resultar la mejor opción o ser factible de ser aplicado, es decir, un pozo candidato a producir artificialmente con bombeo electrocentrífugo sumergido, debe reunir características que no afecten su funcionamiento, como son: altas relaciones gas-aceite, altas temperaturas, nivel de profundidad, presencia de arena en los fluidos producidos y medio ambiente de operación agresivo que son los factores con influencias indeseables sobre la eficiencia del aparejo.

Entre las características del sistema están su capacidad de producir volúmenes considerables de fluido desde grandes profundidades, bajo una amplia variedad de condiciones del pozo y particularmente se distingue por que, su unidad de impulso o motor está directamente acoplada con la bomba en el fondo del pozo; su aplicación es particularmente exitosa cuando las condiciones son propicias para producir altos volúmenes de líquidos con bajas relaciones gas-aceite.

Para los pozos B, Y y S, se consideró la aplicación de algún sistema de levantamiento artificial dadas las características del fluido hidrocarburo y la posible producción de agua futuros, aun cuando todavía el yacimiento no ha demostrado indicios del avance de un acuífero activo, según la información de las presiones y de los análisis de muestras.

En los pozos Y, S y B se visualizó sistemas de levantamiento artificial (BEC) para mitigar la declinación de los pozos en su etapa de madurez, donde probablemente la energía de los yacimientos ha declinado considerablemente y el agua ha irrumpido en los pozos incrementando el peso de la columna.

Bajo la Metodología FEL se realizó una selección de escenarios, donde se inicia con la actividad de la descripción de visión del éxito, posteriormente se obtiene con el equipo de trabajo una tabla de tormenta de ideas, la cual fue analizada para la identificación de decisiones y recomendaciones para posteriormente realizar una agrupación de decisiones similares y poder generar una matriz de decisiones de escenarios, los cuales fueron depurados bajo el concepto de eliminación de escenarios no factibles,

con el propósito de obtener una matriz final de decisiones, reduciendo los escenarios de generando finalmente escenarios factibles (Figura 4.1).

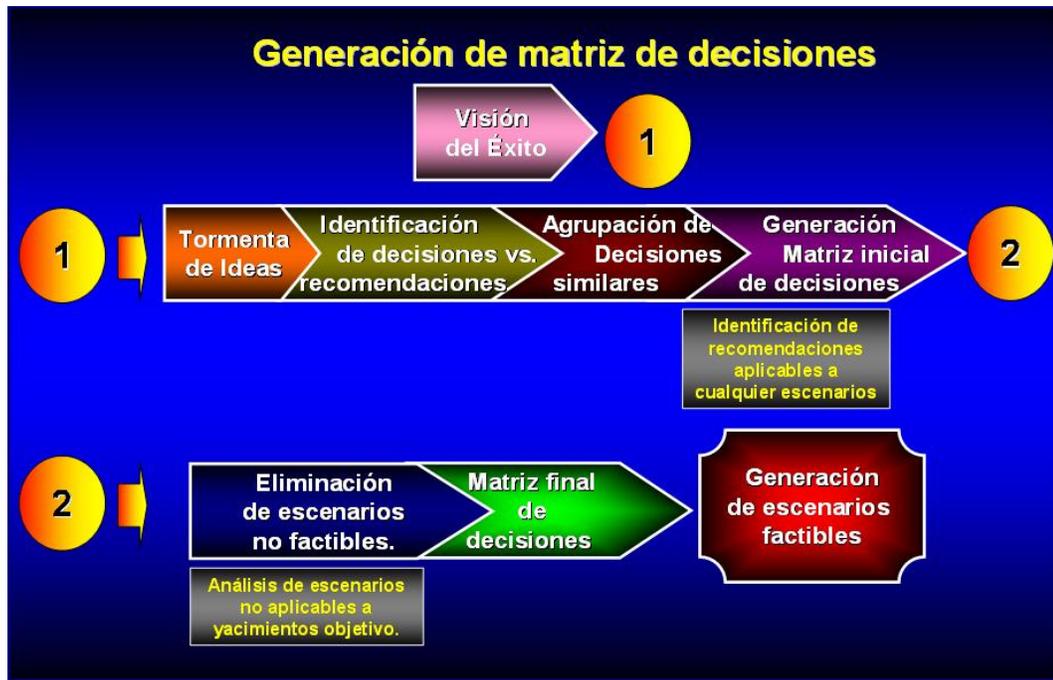


Figura 4.1 Proceso para la generación de escenario.

POZO B

De acuerdo a la matriz de escenarios preseleccionados para el pozo B (Tabla 4.1), contemplan la posible implantación de un sistema artificial de producción (BEC).

Tabla 4.1 Matriz de Escenarios del Pozo B.

POZO	ESCENARIO	SUBSUELO		POZO			
		YACIMIENTO	ESTRATEGIA DE RECUPERACIÓN	TIPO DE POZO	EQUIPO DE PERFORACIÓN	SISTEMAS DE PRODUCCIÓN	TIPO DE TERMINACIÓN
B	1	KM	Primaria	convencional	Auto elevable	BEC	convencional

Actualmente los pozos de B se explotan por flujo natural, mismos que se estima dejen de fluir, cuando la presión de yacimiento sea menor a 470 kg/cm², por lo que en caso de no manifestarse un acuífero o hacerlo con baja energía, se tendría que aplicar un sistema artificial de producción, antes de su abatimiento, que en este caso de estudio serán BEC.

Del diseño se estima que la producción del pozo será de 500 bpd de aceite, la profundidad de la bomba será ajustada del registro de temperatura para prevenir el calentamiento del motor, también para evitar la cavitación de la bomba.

Selección del Equipo:

Tabla 4.2 Especificaciones Técnicas del Equipo BEC.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO BEC											
Pozo	BOMBA			MOTOR			CABLE			VSD	
	Serie	Modelo	Etapas No.	Serie	Tipo	Potencia Hp	Modelo	Tipo	No. AWG	Energia KVA	Volts Sup. Volts
B- 2	400	FC650	225	450	FMH-A	60	CEL	Plano	# 2	87	1639

POZO S

De acuerdo a la matriz de escenarios preseleccionados para los pozos S en la formación JSK (Tabla 4.3), contemplan la posible implantación del sistema BEC.

Tabla 4.3. Matriz de escenarios seleccionados de los pozos S que contemplan BEC

POZO	ESCENARIO	SUBSUELO		POZO			
		YACIMIENTO	ESTRATEGIA DE RECUPERACIÓN	TIPO DE POZO	EQUIPO DE PERFORACIÓN	SISTEMA S DE PRODUCCIÓN	TIPO DE TERMINACIÓN
S	2	JSK	Primaria	convencional	Auto elevable	BEC	convencional
S	3	JSK	Primaria	convenciona	Auto elevable	BN	convenciona

En el Bloque 118 JSK, se perforó el pozo S 118 con objetivo JSK, bajo liner ranurado de 5" equipado con empacadores hinchables, quedando expuesto al flujo el intervalo 5706-553 m, la Ptp de 55 a 80 kg/cm², resultando productor de aceite 37°API, caracterizado como aceite volátil con RGA promedio de 300 m³/m³, con Qo=656 bpd.

Del diseño se estima que la producción del pozo será de 1,000bpd de aceite, la profundidad de la bomba será ajustada del registro de temperatura para prevenir el calentamiento del motor, también para evitar la cavitación de la bomba se utilizará manejador de gas por la alta RGA que presenta el pozo.

Selección del Equipo:

Tabla 4.4 Especificaciones técnicas del equipo BEC

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO BEC											
Pozo	BOMBA			MOTOR			CABLE			VSD	
	Serie	Modelo	Etapas No.	Serie	Tipo	Potencia Hp	Modelo	Tipo	No. AWG	Energía KVA	Volts Sup. Volts
S-118	513	GC2200	253	562	KMH	266	CEL	Plano	# 1	336	2814

El pozo S 118 es productor de aceite con una RGA promedio de 300m³/m³, la cual actúa como un sistema artificial por el alto contenido de gas que aligera la columna de fluidos, por lo que adicionar mayor cantidad de gas con el BN generaría efectos de colgamiento, haciendo ineficiente el sistema al recircular el gas. En caso de implantarse BEC se tendría un incremento de producción de 656 bpd a 1008 bpd, por lo que su implantación sería rentable.

Las limitantes que presenta la formación JSK para el BEC son RGA y temperatura; la RGA provoca alto contenido de gas presentando problemas de cavitación en la bomba, los cuales se pueden reducir adicionando al sistema BEC manejadores y/o separadores de gas además de la utilización de bombas multifásicas de fondo. Mientras que la temperatura del yacimiento al ser alta de 160°C, provoca calentamiento del motor, por lo que la instalación del BEC dependerá del gradiente de temperatura dentro del pozo +/-125°C el cual se encuentra a profundidades someras restringiendo la optimización del sistema mediante la profundización del equipo a medida que decline la presión del yacimiento.

POZO Y

De acuerdo a la matriz de escenarios preseleccionados para el pozo Y en la formación JSK (Tabla 4.5), contemplan la posible implantación del sistema BEC.

Tabla 4.5 Matriz de escenarios seleccionados del pozo Y que contemplan BEC

POZO	ESCENARIO	SUBSUELO		POZO			
		YACIMIENTO	ESTRATEGIA DE RECUPERACIÓN	TIPO DE POZO	EQUIPO DE PERFORACIÓN	SISTEMAS DE PRODUCCIÓN	TIPO DE TERMINACIÓN
S	1	JSK	Primaria	convencional	Auto elevable	BEC	convencional

Del diseño se estima que la producción del pozo será de 3500 bpd de aceite, la profundidad de la bomba será ajustada del registro de temperatura para prevenir el calentamiento del motor.

Selección del Equipo:

Tabla 4.6 Especificaciones técnicas del equipo BEC

CONDICIONES DE AJUSTE						
Pozo	Fecha	Tipo Aceite	Pws Kg/cm ²	RGA m ³ /m ³	Agua %	QL fluy bpd
Y-42	Enero de 2009	Negro	526	94.28	2	3,489

En caso de implantarse BEC se tendría un incremento de producción de 1188 bpd a 3500 bpd, por lo que su implantación sería rentable.

En la siguiente tabla se puede observar los incrementos de producción al variar la frecuencia de operación.

COMPORTAMIENTO DEL EQUIPO BEC							
Pozos	Frecuencia de Operación	Hz	50	55	60	65	70
B- 2	Gasto de líquido en superficie	BPD	394	450	507	565	624
Y-42			2,908	3,230	3,565	3,907	4,258
S-118			909	955.	1,007	1,071	1,132

Tabla 4.4 Comportamiento del equipo BEC

Como se puede observar en la tabla 4.4 con mayor frecuencia de operación se presenta una mayor producción en los tres casos de diseño, por lo tanto es importante el que se considere ocupar en el equipo un variador de frecuencia.

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Con la experiencia obtenida durante este proyecto, pude concluir que la aplicación del sistema de bombeo electrocentrífugo sumergido, en los tres casos de análisis, se observa atractiva, hasta cuando la presión del yacimiento se reduce a la presión de abatimiento, o simplemente cuando éste se encuentra produciendo con muy bajos gastos comparados con los que siempre han manejado.
- En los 3 pozos la implementación del sistema Artificial de bombeo electrocentrífugo sumergido resulta rentable.
- Solo los pozos de aceite negro son aquellos que presentan condiciones ideales para el sistema BEC, en cuanto al porcentaje de gas libre en la entrada de la bomba, los pozos con modelo de aceite volátil requerirán separadores y manejadores de gas.
- Las limitantes que presenta la formación JSK para el BEC son RGA y temperatura.
- Los beneficios de producción que podrían alcanzarse con la aplicación de los sistemas BEC, en estos pozos sería de 5,485 BPD.

Recomendaciones.

- Con la simulación del comportamiento de un sistema artificial de producción que en este caso se realizó BEC, puede servir para la realización de la matriz de decisiones que se plasma, en la metodología FEL, esto para seleccionar el mejor escenario y de esa forma optimizar el desarrollo del proyecto.
- Como se pudo observar en el diseño de BEC, es necesario contar con un variador de frecuencia para los tres casos de análisis, ya que con esto se puede tener una mayor producción de aceite.
- En dos de los estados mecánicos de los pozos se dispuso de TR de diámetros amplios (7 5/8 o mayor) permitiendo introducir el equipo más grande, eficiente y robusto excepto en el B-2.
- Es importante que se cuente con toda la información necesaria y actualizada como son los PVT, Aforos, Estados mecánicos, etc.
- La RGA provoca alto contenido de gas presentando problemas de cavitación en la bomba, los cuales se pueden reducir adicionando al sistema BEC manejadores y/o separadores de gas además de la utilización de bombas multifásicas de fondo.
- El número de cuerpos de bombas (housing) que resulto en cada pozo vario entre uno y dos y el número de etapas entre 83 y 254. Esto reduce considerablemente el riesgo de problemas por presiones de estallamiento elevadas (> 4900 psi).
- Los requerimientos de consumo de energía (KVA) que deberán considerarse para la aplicación de los sistemas BEC, varía entre 87 y 337 KVA.
- Los beneficios de producción que podrían alcanzarse con la aplicación de los sistemas BEC, en estos pozos seria de 5,485 BPD.

BIBLIOGRAFÍA

1. Díaz Zertuche Héctor, C", Ediciones Graficas Zeta S.A de C.V", Septiembre 2002.
2. Schlumberger, " Sistema de Bombeo Electrocentrífugo", 2003.
3. J. Reyes Firo Reyes, " BombeoElectrocentrífugo y Bombeo Mecanico", Tesis , 1988.
4. IHS Energy, Submersible Pump Analysis and Design Technical Reference Manual, 2004.
5. IHS Energy, Submersible Pump Design and Analysis, 2004.