



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE TECNOLOGÍA DE PETRÓLEOS**

**TEMA:
“ESTUDIO DEL SISTEMA DE BOMBEO
ELECTROSUMERGIBLE, DEL CAMPO LAGO AGRIÓ,
MEDIANTE EL SOFTWARE SUBPUMP 7.0.”**

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGO EN PETRÓLEOS**

**Autor:
Fernando Giovanni Bacón Paredes**

**Director de tesis:
Ing. Vinicio Melo**

**Quito – Ecuador
Junio-2010**

DECLARACIÓN

Del contenido del presente trabajo se responsabiliza el autor.

FERNANDO GIOVANNY BACÓN PAREDES

C.I. 171531587-3

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Quito, DM, 17 de mayo de 2010

Señor Ingeniero
Jorge Viteri Moya MSc. - MBA
Decano de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Universidad Tecnológica Equinoccial
Presente

Señor Decano:

Por medio de la presente informo que la Tesis **“ESTUDIO DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTRO SUMERGIBLE, DEL CAMPO LAGO AGRIO, MEDIANTE EL SOFTWARE SUBPUMP 7.0.”**, realizada por el señor **FERNANDO GIOVANNY BACÓN PAREDES**, previa a la obtención del Título de Tecnólogo en Petróleos, ha sido concluida bajo mi dirección y tutoría, por lo que solicito el trámite subsiguiente.

Por la atención a la presente, me suscribo.

Atentamente,

Ing. Vinicio Melo
Director de Tesis

CERTIFICADO DE LA EMPRESA



CERTIFICADO

A quien corresponda:

Por la presente CERTIFICO que el señor: FERNANDO GIOVANNY BACÓN PAREDES, portador de la cédula de ciudadanía # 171531587-3 estudiante de la Universidad Tecnológica Equinoccial, realizó su trabajo de tesis **“Estudio Del Sistema de Bombeo Electro Sumergible, del Campo Lago Agrio, Mediante el Software Subpump 7.0”**. Durante el período comprendido desde el 18 de marzo hasta el 19 de abril del 2010.

Atentamente:

Tecnólogo: Germán Cárdenas C.

Supervisor de Base - Coca.

Fco. De Orellana (Coca) 20 de abril del 2010.



FCO. DE ORELLANA: Av. Alejandro Labaka vía Coca- Lago Agrio km 5 ½.
Telf: (593-6)2882163, Mobile: (593-9) 4190717, E-mail: german_cardenas@saps-ec.com

DEDICATORIA

A Dios, mi Padre Celestial, quien me ha dado la vida, las fuerzas, y la sabiduría necesaria, para llegar a cumplir mi anhelo de superación profesional, también me ha mostrado el sendero correcto, por donde mis pasos han caminado, me ha guardado la vida, y con amor me ha guiado hasta llegar a cumplir este logro.

A mi madre, Laura Paredes, quien ha sido mi apoyo y sustento durante el tiempo de mi formación profesional, me ha dado principios morales que siempre los tendré presentes, y gracias a su apoyo hoy he logrado conseguir mi meta.

A mi padre, Jacinto Bacón, que a través de la distancia, me ha ayudado a superar mis miedos, me ha inculcado a ser honorable y recto en mí actuar, también hoy le doy gracias porque sin su apoyo no hubiese llegado a este momento.

A mi hermano, Klever Bacón, quien ha sido importante en mi vida, gracias hermano, porque sé que aunque con diferencias, siempre estaremos unidos.

A mi novia, Daniela Rodríguez, quien ha sido mi compañera en el camino, gracias por serme leal, fiel y respetuosa, pero más que nada gracias por el amor que has brindado, sé que llegaremos lejos tomados de la mano.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Tecnológica Equinoccial, por formarme profesionalmente, seleccionando docentes calificados y aptos para tan gran labor.

A mi Director de tesis el Ing. Vinicio Melo, por su ayuda a realizar este trabajo, por transmitirme su conocimiento, por enseñarme el valor de una verdadera amistad, por su paciencia, y su deseo ferviente de un trabajo bien hecho.

A mis padres, que han sido mi apoyo e inspiración, para salir adelante en los momentos difíciles.

A mi chiquitina, que me ha brindado su amor, y me ha mostrado que las cosas son más fáciles cuando se las hace, con dedicación.

A la señora Cumanda Rodríguez, por apoyarme desinteresadamente, por ayudarme en los momentos difíciles y por permitirme ser su amigo.

A mi familia, que siempre me ha apoyado y ha creído en mí, en todo tiempo.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN	III
CARTA DEL DIRECTOR DE TESIS.....	IV
CERTIFICADO DE LA EMPRESA	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
INDICE.....	VIII
RESUMEN	XVII
SUMMARY	XIX

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I

1. Introducción.....	1
1.1. Objetivos de la investigación.....	2
1.1.1. Objetivo general	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
1.2. Justificación del proyecto	4

1.3. Hipótesis del trabajo	4
1.3.1. Hipótesis general	5
1.3.2. Hipótesis específicas	5
1.4. Aspectos metodológicos	6
1.4.1. Metodología.....	6
1.4.2. Técnicas	6

CAPÍTULO II

2. Marco teórico.....	8
2.1. Conceptos fundamentales de electricidad.....	8
2.1.1. Intensidad de corriente (I)	9
2.1.2. Resistencia (R).....	9
2.1.3. Diferencia de potencial (V)	9
2.1.4. Potencia (P)	9
2.1.5. Frecuencia (F).....	10
2.2. Conceptos fundamentales de hidráulica	11
2.2.1. Hidráulica	11
2.2.2. Carga.....	11
2.2.3. Gravedad Específica	12
2.2.4. Gradiente	12

2.2.5. Viscosidad	13
2.2.6. Relación Gas-Petróleo (GOR).....	13
2.2.7. Densidad	14
2.2.8. Presión de Burbuja	14
2.3. Sistema de Bombeo Electrosumergible	15
2.3.1. Ventajas	17
2.3.2. Desventajas	17
2.3.3. Equipo de superficie	18
2.3.4. Cabezal de Pozo	19
2.3.5. Caja de venteo	19
2.3.6. Variador de frecuencia (VSD).....	20
2.3.7. Tablero de control.....	21
2.3.8. Transformadores	23
2.3.9. Equipo de subsuelo	25
2.3.10. Sensor de fondo	26
2.3.11. Motor Electrosumergible	28
2.3.12. Bastidor o Housing	30
2.3.13. Estator	31
2.3.14. Núcleo del estator	31
2.3.15. Bobinados del estator	31
2.3.16. Rotor	32

2.3.17. Sello protector del motor	33
2.3.18. Separador de gas	35
2.3.19. Bomba centrífuga multietapa	37
2.3.20. Cable eléctrico de potencia.....	39
2.3.21. Conductor	42
2.3.22. Aislamiento.....	42
2.3.23. Barrera	43
2.3.24. Chaqueta	43
2.3.25. Armadura	44
2.3.26. Cable Plano de Extensión del Motor	44
2.3.27. Protectores Para Cable.....	45
2.3.28. Centralizador	47
2.4. Subpump	47
2.4.1. Descripción.....	48
2.4.2. Cuadro de diálogo “Well Description”	50
2.4.3. Cuadro de diálogo “Mode Selection”	52
2.4.4. Cuadro de diálogo “Wellbore”	53
2.4.5. Cuadro de diálogo “Flowline”	54
2.4.6. Cuadro de diálogo “Inflow Data”	55
2.4.7. Cuadro de diálogo “Pressures/Rates”	57
2.4.8. Cuadro de diálogo “Equipment Selection”	58

2.4.9. Cuadro de diálogo “Sensitivities”	63
2.4.10. Cuadro de diálogo “Graph Selections”	64

CAPÍTULO III

3. Descripción del Campo Lago Agrio	65
3.1. Reseña histórica	65
3.2. Ubicación del Campo Lago Agrio	66
3.3. Estructura del Campo Lago Agrio	69
3.4. Formaciones productoras y columna estratigráfica del Campo Lago Agrio ..	70
3.5. Yacimientos del Campo Lago Agrio	73
3.5.1. Formación Hollín	73
3.5.1.1. Hollín Inferior	74
3.5.1.2. Hollín superior	75
3.5.2. Formación Napo	75
3.5.2.1. Arena T	75
3.5.2.2. Arena U	76
3.5.3. Formación Basal Tena	76
3.6. Espesores productores	77
3.7. Reservas volumétricas	78
3.8. Producción histórica del Campo Lago Agrio	80

CAPÍTULO IV

4.	Análisis de las bombas electro sumergibles	81
4.1.	Datos de campo.....	81
4.2.1.	Pozo Lago – 25	83
4.2.2.	Pozo Lago – 33	84

CAPÍTULO V

5.	Conclusiones y recomendaciones	86
5.1.	Conclusiones	86
5.2.	Recomendaciones	88

BIBLIOGRAFÍA.....	89
-------------------	----

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa. No1: Ubicación del Campo Lago Agrío en Ecuador.....	68
---	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico No. 1: Diagrama del equipo de bombeo electrosumergible	16
Gráfico No. 2: Variador de frecuencia	21
Gráfico No. 3: Tablero de control	22
Gráfico No. 4: Transformador	24
Gráfico No. 5: Sensor de fondo	26
Gráfico No. 6: Motor Electrosumergible	29
Gráfico No. 7: Conjunto estator y rotor	30
Gráfico No. 8: Sello o protector del motor	34
Gráfico No. 9: Separador de gas	36
Gráfico No. 10: Bomba centrifuga multietapa	37
Gráfico No. 11: Impulsor y difusor de la bomba centrifuga multietapa	38
Gráfico No. 12: Cable eléctrico de potencia	40
Gráfico No. 13: Componentes del cable eléctrico de potencia redondo y plano	41
Gráfico No. 14: Cable plano de extensión del motor	45
Gráfico No. 15: Protector para cable	46
Gráfico No. 16: Cuadro de diálogo “Well Description”	51
Gráfico No. 17: Cuadro de diálogo “Mode Selection”	52
Gráfico No. 18: Cuadro de diálogo “Wellbore”	54
Gráfico No. 19: Cuadro de diálogo “Flowline”	55

Gráfico No. 20: Cuadro de diálogo “Inflow Data”	56
Gráfico No. 21: Cuadro de diálogo “Pressures/Rates”	58
Gráfico No. 22: Cuadro de diálogo “Equipment Selection”	59
Gráfico No. 23: Cuadro de diálogo “Pump Selection”	60
Gráfico No. 24: Cuadro de diálogo “Motor Selection”	61
Gráfico No. 25: Cuadro de diálogo “Cable Selection”	62
Gráfico No. 26: Cuadro de diálogo “Sensitivities”	63
Gráfico No. 27: Cuadro de diálogo “Graph Selections”	64
Gráfico No. 28: Columna estratigráfica esquemática Napo-Hollín Campo Lago Agrio	71
Gráfico No. 29: Columna estratigráfica cuenca oriente	72
Gráfico No. 30: Historial de producción del Campo Lago Agrio	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1: Ubicación del Campo Lago Agrio	67
Tabla No. 2: Contenido de gas del Campo Lago Agrio	77
Tabla No. 3: Espesores productores del Campo Lago Agrio	78
Tabla No. 4: Reservas volumétricas del Campo Lago Agrio	79
Tabla No. 5: Datos de campo para los pozos con ESP en el Campo Lago Agrio	82
Tabla No. 6: Resultados del análisis del pozo Lago – 25 con el software SubPump 7.0	83
Tabla No. 7: Resultados del análisis del pozo Lago – 33 con el software SubPump 7.0	84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo No. 1: Summary report del pozo Lago - 25.....	90
Anexo No. 2: Summary report del pozo Lago - 33.....	93
Anexo No. 3: Curva de rendimiento de la bomba DN – 725N	96
Anexo No. 4: Curva de rendimiento de la bomba K70.....	97

RESUMEN

En este trabajo, se presenta el análisis del sistema de bombeo electrosumergible del campo Lago Agrio, por consiguiente se describe el desarrollo de la tesis en los siguientes capítulos.

En el primer capítulo, se trata los objetivos de la investigación, así también la justificación del proyecto, se detallan las hipótesis del trabajo y los aspectos metodológicos que se usarán para el desarrollo de la tesis. En el capítulo dos del presente trabajo, se hace una breve descripción de los fundamentos de electricidad, de los fundamentos de hidráulica, se define al sistema de bombeo electrosumergible y se detalla las partes que conforman el sistema de bombeo electrosumergible, además se hace una breve descripción del software que se usará para el análisis de las bombas electrosumergibles.

En el tercer capítulo, se realiza una breve descripción y análisis de la producción del campo Lago Agrio, así mismo se detalla la ubicación, la estructura del campo, la estratigrafía y la litología de las zonas de interés que son las formaciones Hollín, Napo y Tena, también se detalla las reservas volumétricas y el historial de la producción del campo.

En el capítulo cuatro se hace el análisis del sistema de bombeo electrosumergible del campo Lago Agrio, y se muestra parte de los resultados obtenidos con el software.

Para finalizar en el capítulo cinco, se presentan las conclusiones y las recomendaciones, sobre el análisis del sistema de bombeo electrosumergible del campo Lago Agrio.

SUMMARY

This piece of work in its present form is the result of the analysis on the Electrical submersible pump in Lago Agrio oilfield. Therefore the contents of this thesis are explored throughout the following chapters.

In chapter one, the research purposes and project cornerstone are detailed, as well as the overall hypothesis with its mythological aspects implemented. In chapter two, there is a brief description of the electricity and hydraulics fundamentals. Then, the Electrical submersible pump is defined with its parts in detail. After that, there is a short description of the software which will be used for the analysis of the electrical submersible pump.

In chapter three, there is a description and an analysis on Lago Agrio oilfield production. Consequently, it shows its location and structure; stratigraphy and lithography of the interest zones which are Hollín, Napo and Tena ground formations. Furthermore, its volumetric reserves and the background production are explained. In chapter four, the Electrical submersible pump in Lago Agrio oilfield is analyzed and the results obtained with the software are considered in brief.

Finally, in chapter 5, the results of this study will be revealed, and the conclusions and suggestions will be presented.

Ing. Vinicio Melo
Director de Tesis

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El bombeo electrosumergible, es un sistema integrado de levantamiento artificial, actualmente considerado como un medio económico y efectivo para levantar altos volúmenes de fluido, desde grandes profundidades en una variedad de condiciones de pozo. Es más aplicable en yacimientos con altos porcentajes de agua y baja relación gas-petróleo, pero pruebas han demostrado que el sistema de bombeo electrosumergible ha obtenido buenos resultados en la producción de fluidos de alta viscosidad, en pozos gasíferos, en pozos con fluidos abrasivos, en pozos con altas temperaturas y de diámetro reducido.

Los componentes del sistema de bombeo electrosumergible se clasifica en dos grupos, el equipo de fondo y el equipo de superficie. El equipo de fondo está suspendido por la tubería de producción, y cumple con la función de levantar la columna de fluido necesaria para hacer producir al pozo, consiste principalmente de un motor eléctrico, un sello o protector, un separador de gas y una bomba centrifuga.

Los principales componentes de superficie son los transformadores, el tablero o variador de control, la caja de venteo y el cabezal del pozo, cuya función es sostener toda la sarta de tubería. Adicionalmente al sistema de bombeo electrosumergible, se le pueden implementar componentes adicionales, como son empacadores, protectores de cable y flejes, válvulas de retención y drenaje, centralizadores, sensores de fondo, entre otros.

La alimentación de fluido, hacia la succión de la bomba es un factor importante y determinante al momento de asentar la bomba, ya que se debe saber el nivel dinámico del fluido, para colocar la bomba debajo de este nivel, así se garantizará que la bomba este alimentada constantemente de fluido, caso contrario la bomba se puede quemar, y esto implicará un trabajo de workover, para sacar la bomba del pozo y sustituirla por una nueva.

El sistema de bombeo electrosumergible, tiene un rango de capacidades que va desde los 200 a los 9000 BPD, trabaja a profundidades comprendidas entre los 12000 y 15000 pies.

1.1. Objetivos de la investigación

Se dividirá a la investigación en dos tipos de objetivo que son:

1.1.1. Objetivo general

Estudiar el Sistema de Bombeo Electro-sumergible, del campo Lago Agrio, mediante el software SubPump 7.0.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar el volumen de petróleo que se va a levantar hasta la superficie, y por lo tanto analizar las características del petróleo (densidad, viscosidad, punto de burbuja, GOR).
- Determinar las diferentes presiones y temperaturas a las cuales la bomba seleccionada funcionará normalmente.
- Analizar mediante el software Subpump, las diferentes curvas, con la finalidad de entender al yacimiento y saber cómo explotarlo de manera adecuada.

1.2. Justificación del proyecto

Para el correcto funcionamiento del sistema de bombeo electrosumergible, se requiere escoger correctamente todos los componentes que el sistema llevará. Previo a la implementación del sistema BES existen parámetros que deben ser bien calculados, este es el caso de los niveles de fluido tanto dinámico, como estático. El nivel dinámico del fluido es de suma importancia ya que gracias a este nosotros podemos conocer la variación del fluido dentro del pozo. En cambio el nivel estático del fluido nos ayudará a determinar el volumen de petróleo que tendremos constantemente en el pozo, de este factor depende la profundidad de asentamiento de la bomba, es por eso que los parámetros previos deben ser calculados con rigurosa exactitud.

Escoger los componentes adecuados nos ayudará a tener en la superficie el volumen para el cual diseñamos el sistema BES, por lo que mediante el software Subpump 7.0 se diseñará con partes y piezas que las empresas ofrecen.

1.3. Hipótesis del trabajo

A las hipótesis de trabajo, se la dividirá en dos tipos que son:

1.3.1. Hipótesis general

Al aplicar un software para el dimensionamiento del sistema de bombeo electrosumergible, se escogerá de mejor manera las partes y piezas que lo constituirán, mejorando potencialmente la recuperación del petróleo del reservorio.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Si se conoce el volumen de petróleo que está en la columna, y las características físicas y químicas del mismo, se puede implementar un sistema de BES más eficientemente.
- Si existe la presencia de gas en el reservorio, lo cual no es conveniente, se debe instalar un separador de fondo con la finalidad de evitar cavitación por presencia del gas dentro de la bomba.
- Si se mantiene el nivel estático del fluido en el pozo, podemos determinar la profundidad a la cual se debe asentar la bomba, para así evitar daños futuros en la bomba por disminución del nivel estático del fluido.

1.4. Aspectos metodológicos

Los aspectos metodológicos se dividirán en dos grupos que son:

1.4.1. Metodología

Los métodos elegidos para trabajar en el presente trabajo de investigación son:

- El método deductivo ya que se analizará el sistema BES, el funcionamiento, partiendo en el fundamento de sus generalidades.
- Además se utilizará el método analítico, para investigar y caracterizar cada una de las partes del equipo BES, mediante el software SubPump 7.0.

1.4.2. Técnicas

Las técnicas que se usarán para desarrollar el presente trabajo de investigación son: la

entrevista y la observación (observación crítica, registro de datos, analizar e interpretar datos, elaborar conclusiones).

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

Antes de describir el Sistema de Bombeo Electrosumergible y sus partes, es necesario tener en cuenta, ciertos conceptos fundamentales, tanto de electricidad como de hidráulica, para después pasar a la descripción de las partes que conforman el sistema de bombeo electrosumergible, tanto en superficie, como en el fondo del pozo

2.1. Conceptos fundamentales de electricidad

La electricidad en el sistema de bombeo electrosumergible, es muy importante, por lo que se describirá algunos conceptos fundamentales de electricidad, para estar más familiarizados con los términos eléctricos, que se usan en el bombeo sistema de bombeo electrosumergible.

Tener conocimientos básicos de electricidad, es de suma importancia en el sistema de bombeo electrosumergible, ya que para el funcionamiento del sistema se usa electricidad, que es provista en superficie mediante líneas de alta tensión.

2.1.1. Intensidad de corriente (I)

Es la cantidad de electricidad que atraviesa la sección de un conductor por unidad de tiempo su unidad es el amperio (A).

2.1.2. Resistencia (R)

La resistencia eléctrica mide la oposición que ofrece un conductor al paso de la electricidad a través de su masa. Esta magnitud se mide en Ohmio (Ω).

2.1.3. Diferencia de potencial (V)

La diferencia de potencial o voltaje es el trabajo requerido, para transportar una carga de un lugar a otro. La unidad es el Voltio (V).

2.1.4. Potencia (P)

La potencia es la cantidad de energía necesaria para mantener una corriente eléctrica, en

una maquinaria. La unidad utilizada en la industria Petrolera, es el Caballo de fuerza (HP, siglas en inglés Horse Power).

2.1.5. Frecuencia (F)

La frecuencia se define como el número de oscilaciones, dadas en un segundo, de tal manera que si un generador rota con una velocidad de 60 revoluciones por segundo, el voltaje que se genera completará 60 ciclos en un segundo, de esta manera que el voltaje generado tiene una frecuencia de 60 Hertz o de 60 ciclos.

Ecuación No 1: Frecuencia

$$f = \frac{N * P}{120}$$

En donde:

N= velocidad del rotor (rpm)

P= número de polos en el motor

f= Frecuencia (Hertz)

Fuente: Centrilift – Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

2.2. Conceptos fundamentales de hidráulica

La hidráulica en el sistema de bombeo electrosumergible es de suma importancia, ya que de la hidráulica depende el nivel de fluido y por ende la profundidad de asentamiento de la bomba, está determinada, por el nivel de fluido dinámico, y es por eso que se describirán conceptos fundamentales de hidráulica, para estar familiarizados con los términos hidráulicos, que se usan en el sistema de bombeo electrosumergible.

2.2.1. Hidráulica

La hidráulica es el estudio del comportamiento de los líquidos en reposo y movimiento. Para este estudio interesa la información, y los datos de los fluidos que pueden ser manejados satisfactoriamente con las B.E.S.

2.2.2. Carga

Es la columna de líquido que, debido a su peso, ejerce una presión igual a aquella en cualquier punto seleccionado de la columna. Generalmente se la expresa en pies de líquido.

2.2.3. Gravedad Específica

La gravedad específica de un fluido se la define como la relación, de su densidad con la de un fluido estándar. El Instituto Americano de Petróleo, define a la gravedad específica como:

Ecuación No 2: Gravedad específica

$$SG = \frac{141.5}{131.5 + API}$$

Fuente: Centrilift – Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

2.2.4. Gradiente

Es la presión que ejerce un líquido, por pie de columna. Para los cálculos se toma como referencia la gradiente del agua, que es 0,433 (psi/pie).

2.2.5. Viscosidad

La viscosidad es la oposición que muestran los fluidos al movimiento. Esta propiedad varía en función de la temperatura.

2.2.6. Relación Gas-Petróleo (GOR)

Es la cantidad de pies cúbicos estándar de gas, contenidos en un barril de petróleo.

Ecuación No 3: Relación Gas-Petróleo

$$R.G.P = \frac{\textit{Volumen de Gas}}{\textit{Volumen de petróleo}}$$

Fuente: Centrilift – Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

2.2.7. Densidad

Densidad es la masa de una sustancia por unidad de volumen, se mide en kilogramos por litro o en libras por pie cúbico. La densidad del agua es 62.4 lb/ft³ o 1.00 kg/l a condiciones estándar. La densidad del aire es 0.0752 lb/ft³ o 0.001207 kg/l.

La densidad del petróleo, varía de acuerdo a los cambios en temperatura y presión, al igual que a los cambios en la cantidad de gas en solución. Si el punto de interés se encuentra por encima de la presión del punto de burbuja (P_b) todo el gas disponible se encuentra en solución, por lo tanto un incremento de la presión simplemente comprimirá el líquido aumentando su densidad.

2.2.8. Presión de Burbuja

La presión de burbuja de un hidrocarburo es la presión más alta a la cual las primeras moléculas de gas salen de solución y forman una burbuja de gas.

2.3. Sistema de Bombeo Electrosumergible

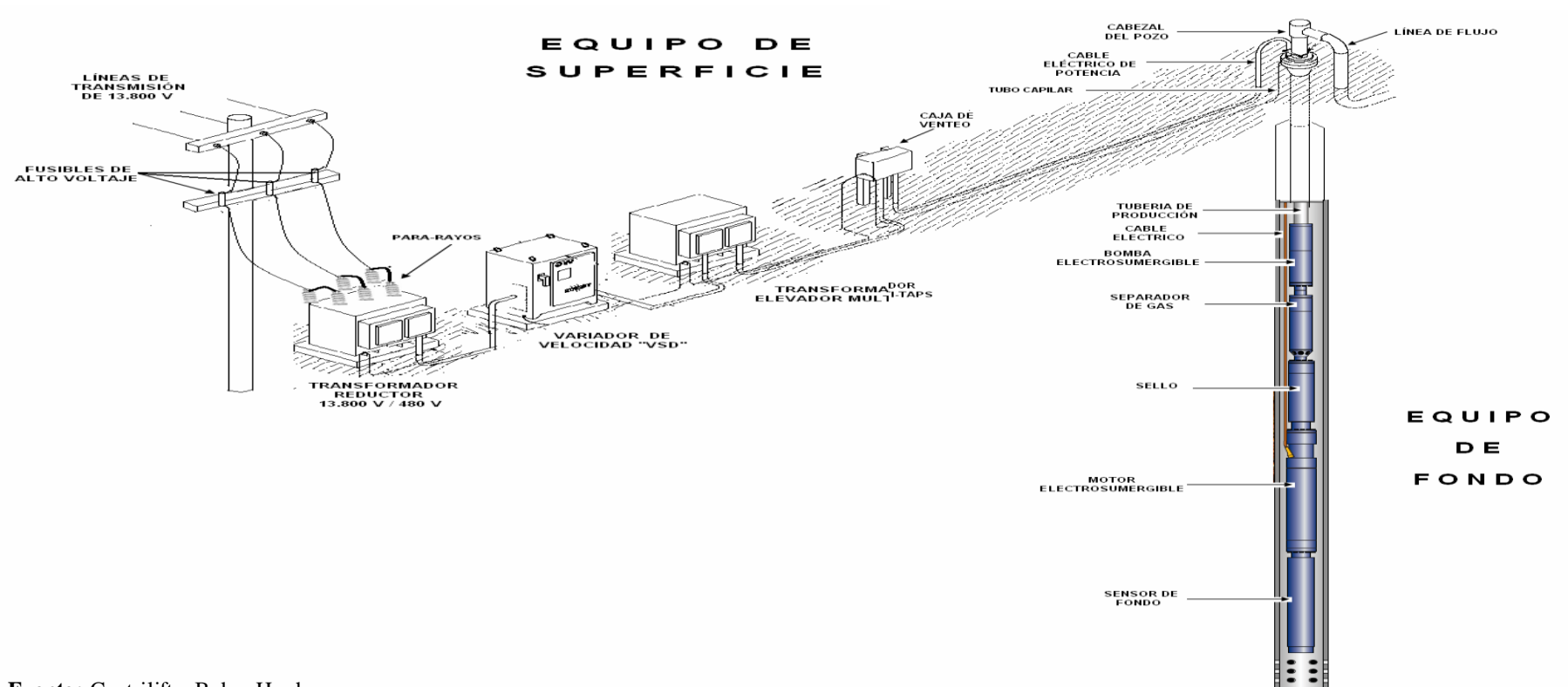
El sistema de bombeo electrosumergible, (ver Gráfico No. 1), es un medio efectivo y económico para lograr recuperar considerables volúmenes de fluidos a grandes profundidades.

Su aplicación es mayor en yacimientos con altos volúmenes de fluido, porcentajes de agua y una baja relación gas-petróleo (GOR), sin embargo en la actualidad estos equipos han tenido excelentes resultados en la producción de fluidos de alta viscosidad, en pozos con fluidos abrasivos, altas temperaturas, y que disponen de un diámetro reducido.

La principal función del sistema de bombeo electrosumergible para la extracción de petróleo, es proporcionar una energía adicional al fluido del yacimiento, mediante el uso de bombas centrifugas multietapas, donde su caudal de operación es controlado mediante variadores de velocidad instalados en la superficie del pozo.

La instalación del sistema del bombeo electrosumergible, consta de dos grupos, el equipo de superficie, y el equipo de fondo, los cuales se detallaran a continuación.

Gráfico No. 1: Diagrama del equipo de bombeo electrosumergible



Fuente: Centrilift - Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

2.3.1. Ventajas

- Se pueden manejar grandes volúmenes (>100000 bbl/D) y altos cortes de agua.
- Normalmente el costo de levantamiento por barril disminuye, con el incremento de la tasa de flujo.
- No dispone de partes móviles en la superficie, siendo muy convenientes en áreas urbanas.
- La ausencia de goteras en estos equipos de superficie, disminuye el impacto ambiental.
- Se pueden monitorear, mediante controles automatizados.
- Aplicable en pozos direccionales y horizontales, (dependiendo del Angulo de desviación. Normalmente <de 9°/100 pies).

2.3.2. Desventajas

- El costo inicial del sistema es relativamente alto.
- Su aplicación se limita a profundidades medias, principalmente por la degradación del aislamiento del cable y limitaciones de temperatura de motor/sello.
- Requiere una fuente estable y fiable de electricidad.

- El funcionamiento de la bomba se ve afectado significativamente por el gas libre, no siendo conveniente para pozos, con GOR altas.
- Para reparar los componentes del equipo de subsuelo, se requiere sacar todo el sistema usando una torre de reacondicionamiento.
- Aunque existen algunos equipos especiales, la vida útil del sistema se ve muy afectada, por la producción de arenas.

2.3.3. Equipo de superficie

El equipo de superficie consta de un transformador reductor de 13.8 Kv a 480 V, voltaje necesario para la operación del variador de velocidad (VSD), el cual provee el voltaje trifásico variable al transformador elevador, multi-taps, elevando al voltaje necesario para la operación del motor en el fondo del pozo. La caja de venteo es un punto de conexión del equipo de superficie con el equipo de fondo, finalmente junto a la caja de venteo se instala un registrador de amperaje del motor electrosomergible.

Los componentes en la superficie de los pozos son:

- Cabezal de pozo
- Caja de venteo (Caja de empalme)

- Transformadores
- Controlador del motor electrosumergible (Variador de velocidad VSD)

2.3.4. Cabezal de Pozo

El cabezal cierra mecánicamente el pozo en la superficie, soporta el peso del equipo electrosumergible instalado, además mantiene el control sobre el espacio entre el casing y la tubería de producción del pozo.

La conexión del cable de potencia que viene de la caja de venteo, se realiza mediante un conector llamado “Quick Conector”, donde se realiza el empalme de los cables eléctricos de superficie y de fondo.

2.3.5. Caja de venteo

Por lo general junto a la caja de venteo se ubica un registrador amperimétrico, donde se registra de forma gráfica la corriente del motor electrosumergible, en cartas amperimétricas.

Cumple con tres funciones importantes:

- Proveer un punto de conexión, entre el bobinado secundario del transformador elevador multitaps y el cable eléctrico de potencia proveniente del fondo del pozo.
- Ventea a la atmosfera cualquier gas, que se encuentre en la armadura de protección del cable eléctrico de potencia que proviene del pozo.
- Facilita puntos de prueba, accesibles para realizar mediciones eléctricas del equipo de fondo.

2.3.6. Variador de frecuencia

El controlador del motor electrosumergible VSD (Variable Speed Driver), se instala en la superficie del pozo, entre los transformadores reductor y elevador multitaps, este controla la velocidad de rotación del eje del motor electrosumergible, que se encuentra axialmente acoplado al eje de la bomba centrífuga multietapa. El VSD, (ver Gráfico No. 2), proporciona la potencia suficiente al equipo de fondo, para que este funcione en óptimas condiciones, ofrece además numerosas opciones de protección, control y monitoreo del respectivo equipo que varían de acuerdo al fabricante.

Gráfico No. 2: Variador de frecuencia



Fuente: Reda - Schlumberger

Elaborado por: Fernando Bacón

Cuando se cambia la frecuencia, la velocidad de operación de la bomba se afectará significativamente, el rendimiento, la capacidad de potencia del motor cambiará, directamente con la variación de frecuencia.

2.3.7. Tablero de control

Hay tres tipos básicos de controladores para motores utilizados en las aplicaciones con equipos electrosumergibles: el panel de control, el “arrancador suave” (soft-start), y el controlador de velocidad variable (VSC).

Normalmente, todos utilizan un sistema de circuitos de estado sólido que proporcionan protección, lo mismo que un medio de control, para el sistema electrosumergible. Los controladores varían en tamaño físico, diseño y niveles de potencia.

Gráfico No. 3: Tablero de control



Fuente: Centrilift – Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

Algunos controladores de motor, (ver Gráfico No. 3), son simples en su diseño, mientras que otros pueden ser extremadamente sofisticados y complejos, ofreciendo numerosas opciones que fueron diseñadas para aumentar los métodos de control, protección, y monitoreo del equipo BES.

La selección de un tipo de tablero de control a comparación de otro depende de la aplicación, la economía y el método preferido de control.

2.3.8. Transformadores

Existen dos tipos de transformadores: reductor y elevador multitaps, se instalan en la superficie del pozo de bombeo electrosumergible. En el gráfico No. 4, se puede observar un transformador.

El transformador reductor, reduce el voltaje de distribución de 13,8 kV al voltaje de 480 V, necesario para el funcionamiento del variador de velocidad, mientras que el transformador elevador, eleva el voltaje de salida del variador de (480 V, variable en frecuencia), al voltaje que requiere el motor electrosumergible con las respectivas conexiones (DELTA o ESTRELLA), y el tap que se selecciona en el transformador elevador.

Gráfico No. 4: Transformador



Fuente: Centrilift – Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

Para la selección de los taps adecuados se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- La caída del voltaje, que se tiene por la longitud del cable eléctrico de potencia, la frecuencia de operación del VSD.
- El consumo del voltaje en el motor electrosumergible, a la frecuencia del trabajo.
- La caída del voltaje debido a la temperatura de fondo del pozo.

Los taps son dos selectores (números y letras), que mediante su combinación selecciona

el voltaje en el bobinado secundario, del respectivo transformador elevador, que se ha seleccionado para el funcionamiento del equipo de fondo, las posibles combinaciones junto con los voltajes se aplican en la placa del respectivo equipo.

Cabe recalcar que, si se usa un tablero de control, el voltaje de salida será el voltaje corregido, que sea requerido por el motor. Si se usa un variador de velocidad, el voltaje de salida será el requerido por este equipo y se necesitara un transformador secundario.

Puede ser un solo auto-transformador trifásico, o un banco de tres transformadores de una sola fase.

2.3.9. Equipo de subsuelo

Se identifica como equipo de fondo, los componentes que se encuentran en el subsuelo del pozo, acoplados a la tubería de producción, estos componentes se mencionan en orden ascendente empezando desde el fondo del pozo: sensor de fondo, motor electrosumergible, sello o protector, separador de gas, bomba centrifuga multietapa, y el cable eléctrico de potencia.

2.3.10. Sensor de fondo

El sensor de fondo, (ver Gráfico No. 5), se encuentra instalado en la base del motor electrosumergible, se encarga de monitorear la temperatura del motor y la presión de entrada a la bomba electrosumergible.

Gráfico No. 5: Sensor de fondo



Fuente: Centrilift – Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

Las señales de temperatura y de presión del fondo, son previamente acondicionadas por el propio sensor en el fondo del pozo y transmitidas a través del cable eléctrico de potencia hacia la superficie.

El sensor de fondo, está constituido de: un paquete sensor, paquete inductor y paquete indicador.

Paquete sensor: se instala en la base del motor electrosumergible y es el que se encarga de sensar y acondicionar la señal de presión y temperatura de fondo a una señal eléctrica, para ser transmitida a través del cable eléctrico de potencia hacia la superficie.

Paquete inductor: Se ubica junto al variador de velocidad en la superficie, proporciona la energía eléctrica, al sensor de fondo para su funcionamiento.

Paquete indicador: Se encuentra formado por un display, con una interface que le permite interactuar con el operador y visualizar la temperatura y la presión de fondo, se ubica junto al “Paquete inductor”.

2.3.11. Motor Electrosumergible

El motor electrosumergible, (ver Gráfico No. 6), provee la energía que necesita la bomba para rotar y acelerar los fluidos que están siendo bombeados hacia la superficie, consta básicamente de un estator bobinado de inducción, bipolar trifásico y rotor jaula de ardilla, que gira a una velocidad sincrónica.

Ecuación No 4: RPM del motor electrosumergible

$$N = \frac{120 * f}{P}$$

Donde:

N= Revoluciones por minuto (rpm)

F= Frecuencia en línea (60 Hz)

P= Número de polos en el motor (2polos)

Fuente: Reda – Schlumberger

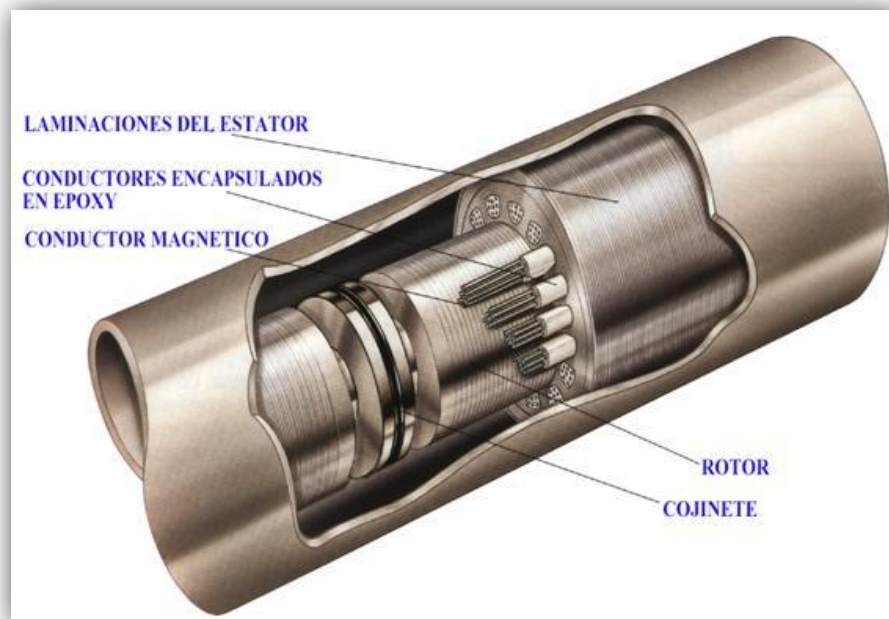
Elaborado por: Fernando Bacón

Debido al diámetro reducido de los pozos, el motor electrosumergible se encuentra constituido por pequeños estatores que se encuentran internamente acoplados de forma mecánica.

2.3.12. Bastidor o Housing

El bastidor es la cubierta del motor, está provisto de roscas en ambos extremos para facilitar la instalación del cabezal y base del motor electrosumergible, los diámetros varían según los fabricantes y principalmente del diámetro que se dispone en cada pozo.

Gráfico No. 7: Conjunto estator y rotor



Fuente: Centrilift – Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

2.3.13. Estator

Cada estator interno del motor electrosumergible, se encuentra formado por:

- Núcleo del estator
- Bobinados del estator

2.3.14. Núcleo del estator

Cada núcleo estator, está formado de laminaciones comprimidas entre sí para asegurar una estabilidad mecánica a lo largo de todo el estator.

2.3.15. Bobinados del estator

El bobinado por fase, para cada estator interno se realiza mediante conductores de cobre revestidos de esmalte (Polyamido PEEK).

2.3.16. Rotor

El rotor del motor electrosumergible, gira libremente acoplado al eje del motor. La refrigeración del motor electrosumergible, se realiza mediante la circulación de aceite mineral altamente refinado, con una alta rigidez dieléctrica (30kV), y conductividad térmica, ofreciendo además una buena lubricación de los componentes mecánicos, adicionalmente el motor se refrigera, por la circulación del fluido del pozo, que debe tener una velocidad mínima de 1 pie/segundo.

El motor electrosumergible, suministra exactamente tantos HP (Horse Power), como la bomba multietapa necesite, la mayoría de los motores están diseñados, para ser más eficientes en el “punto de diseño”, se encuentra en función de la carga, típicamente tiene valores entre el 80% y 90%, en condiciones normales de funcionamiento.

Las curvas de velocidad (RPM), eficiencia y factor de potencia del motor electrosumergible, están en función de la carga.

Los parámetros importantes, que se deben tomar en cuenta para la operación del motor electrosumergible son:

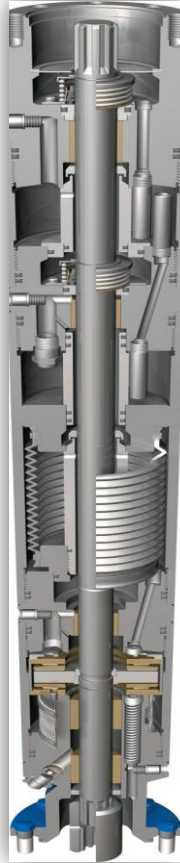
- **Potencia Nominal.-** Es la potencia máxima, que genera el motor electrosumergible, bajo condiciones nominales de funcionamiento, generalmente a la frecuencia de 60 o 50 Hz.
- **Voltaje Nominal.-** Es el voltaje necesario que se debe suministrar a los terminales del motor electrosumergible para su correcto funcionamiento.
- **Corriente Nominal.-** Es la corriente que circula por los bobinados del estator del motor electrosumergible, en condiciones nominales de funcionamiento, si la corriente es menor, el motor no se encuentra totalmente cargado, mientras si la corriente es mayor a la nominal, el motor se encuentra sobrecargado, condiciones de baja y sobre carga se deben corregir rápidamente, para que el motor no sufra daños mecánicos o eléctricos o deje de funcionar.

Cuando el sistema es energizado por primera vez, no es raro observar que el motor electrosumergible consuma una corriente mayor a la nominal, hasta cuando el pozo se estabilice y la corriente es menor al valor nominal.

2.3.17. Sello protector del motor

El protector, o sello del motor, (ver Gráfico No. 8) está ubicado entre la parte superior del motor, y la parte inferior de la bomba.

Gráfico No. 8: Sello o protector del motor



Fuente: Reda – Schlumberger

Elaborado por: Fernando Bacón

Las funciones básicas del protector, se describen a continuación:

- Provee el volumen necesario, para permitir la expansión del aceite dieléctrico, contenido en el motor debido al incremento de la temperatura del motor, cuando se encuentra funcionando.

- Iguala la presión externa del fondo de pozo, con el fluido dieléctrico interno del motor.
- Protege al motor de la contaminación de los fluidos del pozo, mediante secciones sellantes que evitan que ingresen por el eje de acoplamiento.
- Absorbe los movimientos axiales al eje, producidos por las etapas de la bomba.

2.3.18. Separador de gas

El separador de gas, (ver Gráfico No. 9), está instalado entre el protector y la bomba, su función es la de separar el gas libre, para ventearlo por el espacio anular, y evitar que ingrese a la succión de la bomba.

El gas que se encuentra presente en los pozos, disminuye la eficiencia de la bomba electrosumergible y cuando la presión de fondo es menor, a la presión de burbuja del petróleo (P_b), las partículas de petróleo y gas se empiezan, a separar incrementando la posibilidad de cavitación o bloqueo por gas en la bomba electrosumergible, siendo necesaria, la instalación del separador de gas.

Gráfico No. 9: Separador de gas



Fuente: Reda – Schlumberger

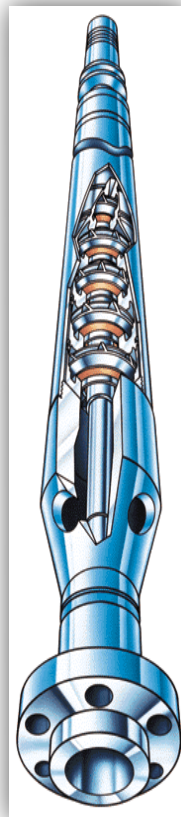
Elaborado por: Fernando Bacón

La aplicación del separador de gas, se realiza, en los pozos con una elevada relación gas-petróleo (GOR), tomando en cuenta que la bomba electrosumergible, puede operar normalmente, con un porcentaje de gas libre menor al 10%, del volumen de fluido que está siendo bombeado.

2.3.19. Bomba centrífuga multietapa

La bomba electrosumergible, (ver Gráfico No. 10), es del tipo centrífuga multietapa, donde su diámetro de fabricación depende del espacio que se dispone en cada pozo, el caudal de descarga depende de: la carga hidrostática, la velocidad de giro del motor electrosumergible, diseño de etapas internas y propiedades del fluido.

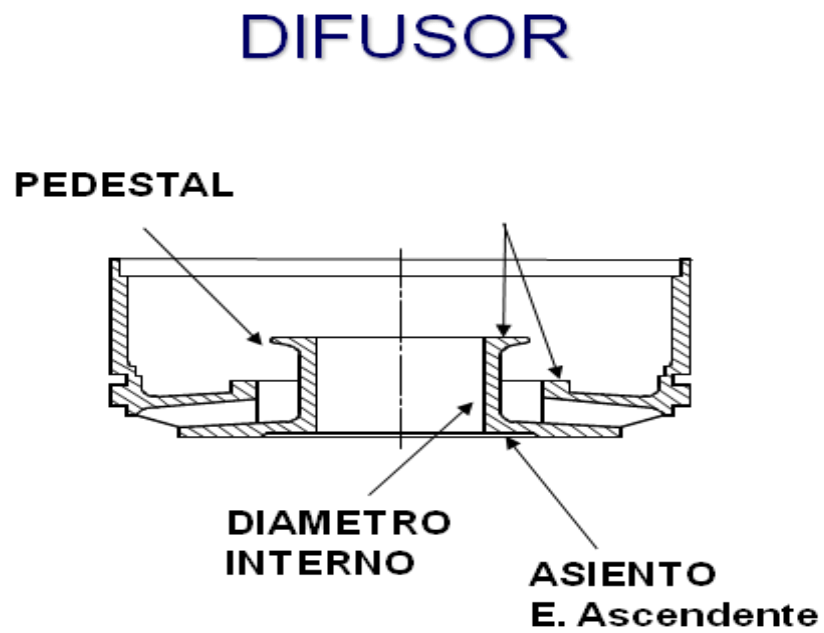
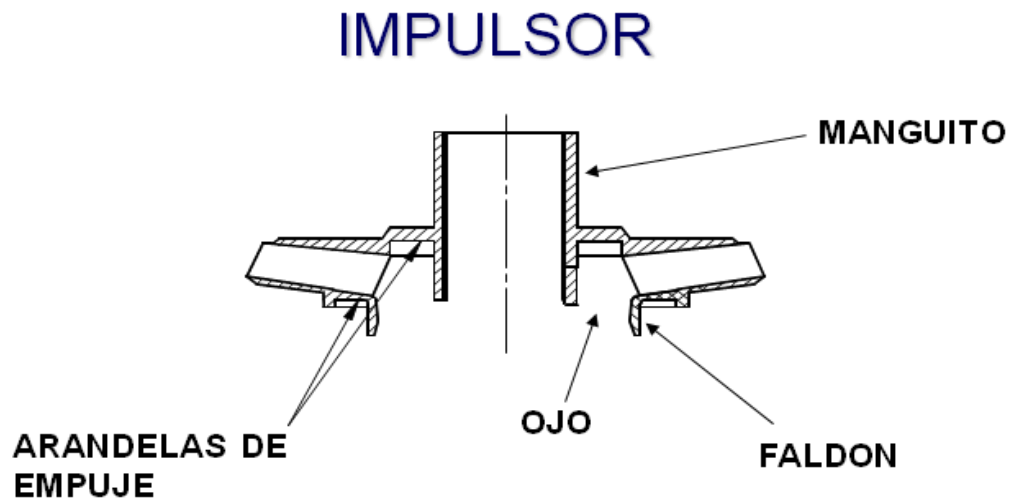
Gráfico No. 10: Bomba centrífuga multietapa



Fuente: Centrilift – Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

Gráfico No. 11: Impulsor y difusor de la bomba centrífuga multietapa



Fuente: Centrilift – Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

Los componentes mecánicos, de cada etapa de la bomba son: impulsor rotatorio y un difusor estacionario, (ver Gráfico No. 11).

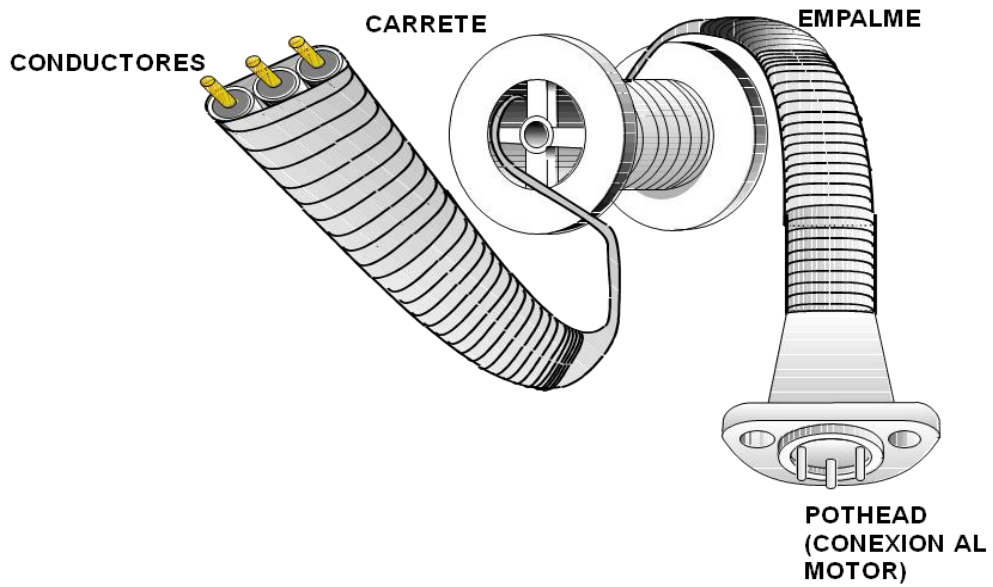
El movimiento del fluido a través de las etapas de la bomba electrosumergible, se produce por el movimiento rotatorio del impulsor, proporcionando al fluido la energía cinética necesaria, para que circule por el difusor y la suma de etapas genera la adición de presiones, produciendo suficiente energía potencial elevando el fluido hasta la superficie.

2.3.20. Cable eléctrico de potencia

La energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del motor electrosumergible es transmitida, desde la caja de venteo a través de un cable eléctrico de potencia, (ver Gráfico No. 12), que puede ser plano o redondo, de forma simple, con o sin tubo capilar, que sirve para la inyección de químicos dentro del pozo.

El cable debe elegirse, de manera que satisfaga los requisitos de voltaje y amperaje, y que reúna las propiedades de aislamiento que impone el tipo de fluidos producidos. El aislamiento de los cables debe resistir las altas temperaturas y presiones de operación en el pozo.

Gráfico No. 12: Cable eléctrico de potencia



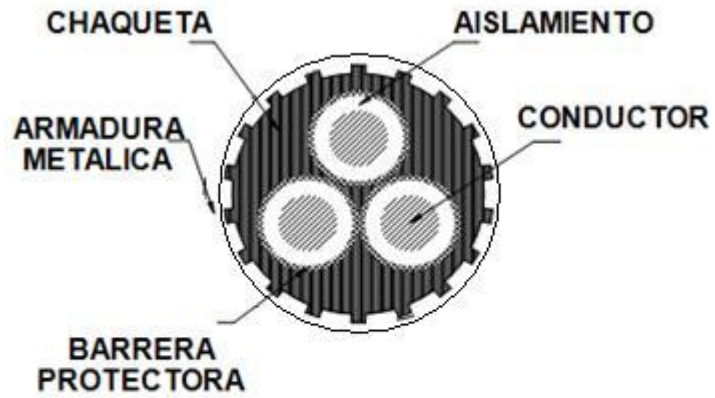
Fuente: Centrilift – Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

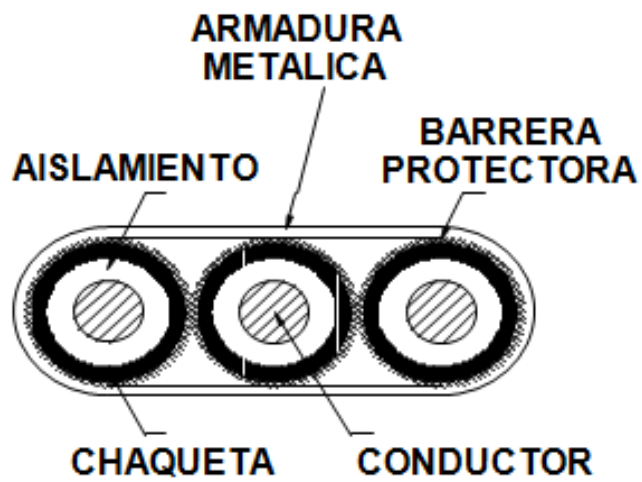
Los componentes internos del cable eléctrico de potencia, (Gráfico No. 13), son:

- Conductor
- Aislamiento
- Barrera
- Chaqueta
- Armadura

Gráfico No. 13: Componentes del cable eléctrico de potencia redondo y plano



Cable Redondo



Cable Plano

Fuente: Centrilift – Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

2.3.21. Conductor

El conductor interno del cable eléctrico de potencia, se fabrica de tres tipos, solido, trenzado y compacto, el calibre que más se utiliza en las instalaciones de BES es el AWG #2.

2.3.22. Aislamiento

El aislamiento del conductor interno del cable eléctrico de potencia, se encuentra fabricado de:

- PPE o P: Polipropileno/etileno
- E: EPDM (Etileno propileno dienometileno)
- K: Poliamida (Kaptom)
- T: Cinta semi-conductora
- S: Especial

2.3.23. Barrera

La barrera protectora del conductor interno del cable eléctrico de potencia, está fabricada de:

- PVDF (Fluoruro de polivinidileno)
- Cinta para envolver resistente a altas temperaturas.

2.3.24. Chaqueta

La chaqueta de protección de la barrera del cable eléctrico, originalmente es fabricada de materiales resistentes a las altas temperaturas, ya que como se sabe, en los pozos disponemos de altas temperaturas, por lo que se necesita que la chaqueta sea sumamente resistente.

- HDPE (Polietileno de alta densidad).
- Formación base goma de nitrilo resistente a altas temperaturas.

2.3.25. Armadura

La armadura del cable electro de potencia, está fabricada de:

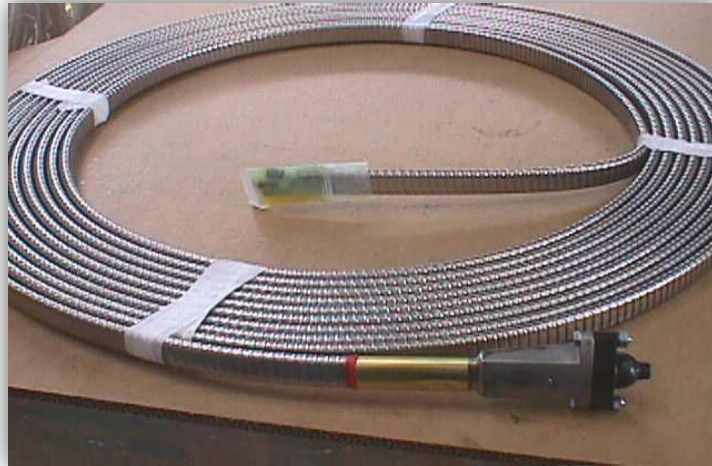
- Acero Galvanizado
- Acero fuertemente galvanizado.
- Monel

2.3.26. Cable Plano de Extensión del Motor

El cable plano de extensión, (ver Gráfico No. 14), del motor pasa desde el motor a lo largo de la sección sello, el separador de gas, y la bomba, más un mínimo de 6 pies por encima de la cabeza de descarga de la bomba.

Es normalmente necesario utilizar una construcción de cable plano debido al limitado espacio anular entre el diámetro exterior del equipo y el diámetro interior de la tubería de revestimiento, aunque, si hay espacio suficiente, también se puede utilizar cable redondo.

Gráfico No. 14: Cable plano de extensión del motor



Fuente: Centrilift – Baker Hughes

Elaborado por: Fernando Bacón

2.3.27. Protectores Para Cable

Se utilizan protectores especiales, (ver Gráfico No. 15), para el cable aportándose mayor protección mecánica en aquellos casos donde los pozos son desviados.

Los materiales que se usan para construir los protectores para cable, pueden variar bastante, pero los protectores son generalmente de metal colado (acero común, inoxidable, etc.) o de algún tipo de caucho.

Gráfico No. 15: Protector para cable



Fuente: Reda – Schlumberger

Elaborado por: Fernando Bacón

Estos protectores son básicamente de dos tipos:

- Protectores en las uniones de la tubería (“cross-coupling”), protegen y sujetan al cable en la zona de mayor riesgo, donde el diámetro de la tubería de producción es mayor.
- Protectores para el medio de cada tubo, proveen protección adicional.

2.3.28. Centralizador

Los centralizadores son frecuentemente utilizados en aplicaciones del sistema BES, para ubicar el equipo en el centro del pozo y son especialmente útiles en pozos desviados, para eliminar el daño externo y para asegurar la refrigeración uniforme del equipo. Hay varios tipos de centralizadores disponibles en la industria, diseñados para proteger al cable y el equipo electrosumergible evitando la fricción con las tuberías del pozo.

En ambientes corrosivos donde se utilizan revestimientos para proteger el diámetro exterior del equipo BES, los centralizadores pueden ser muy efectivos en la prevención del daño mecánico al revestimiento durante la instalación del equipo. La experiencia ha demostrado que si el revestimiento se daña durante la instalación, la corrosión se acelera en el punto donde se localiza el daño.

2.4. Subpump

A continuación, se hará una breve descripción de los diferentes cuadros de diálogo, que se usan para ingresar la información al software, con la finalidad de realizar el análisis.

2.4.1. Descripción

SUBPUMP, es un software o herramienta informática, que se usa para el diseño y análisis de bombas electrosumergibles. Se lo puede usar en dos casos diferentes que son:

- En pozos nuevos, para diseñar la nueva instalación de una bomba electrosumergible, o
- Evaluar una instalación existente, con el objetivo de maximizar la eficiencia del sistema del pozo, y minimizar el costo de la producción total por barril.

El software SUBPUMP, con sus tres modos de diseño, ofrece la flexibilidad, para manejar los escenarios, más comunes, en los requisitos para el diseño de bombas electrosumergibles. Cuando se posee toda la información del pozo, es decir, datos del yacimiento, características del fluido contenido en el yacimiento, diámetros del casing y tubing, profundidades, y demás datos, se puede acceder al modo de diseño riguroso que ofrece el software; pero cuando la información es limitada, el software nos permite usar, el modo de diseño rápido. No obstante, si ya se posee un sistema de bombeo electrosumergible instalado, se puede analizar el desempeño de producción del pozo, con mayor eficiencia y rapidez.

El software posee información acerca de, motores, bombas y demás componentes, del sistema de bombeo electrosomergible, facilitando al usuario elegir la marca del componente que se va a instalar. Además el software incluye, diferentes unidades de medidas, para cada una de las entradas de datos que se vayan a realizar, por lo que se pueden ingresar las unidades de medida, con las que se esté familiarizado.

En las diferentes bases de datos que contiene el programa, se puede encontrar catálogos, que tienen las especificaciones, para varios fabricantes, tanto de bombas, de motores, cables, etc.

Una vez, que se han ingresado los datos en el software SUBPUMP, se genera una lista de bombas de acuerdo a los datos del reservorio ingresados, de esta lista se puede seleccionar la bomba que se va a instalar en el pozo. Después de seleccionar la bomba, se puede seleccionar uno o más gráficos, para ver el desempeño de la bomba. Adicionalmente, se puede ingresar el número de etapas de la bomba, o a su vez el software SUBPUMP, recomendará un número de etapas calculadas en el software. Cuando se han ingresado los datos del motor y la bomba, se puede evaluar un tamaño de cable de acuerdo a las condiciones del pozo.

Los cuadros de diálogo, de ingreso de datos se detallan a continuación:

- Well Description (Descripción del Pozo)
- Mode Selection (Modo de selección)
- Wellbore (Pozo)
- Flowline (Línea de flujo)
- Fluid (Fluido)
- Inflow
- Pressures/Rates (Presiones/Caudales)
- Equipment
- Sensitivities

2.4.2. Cuadro de diálogo “Well Description”

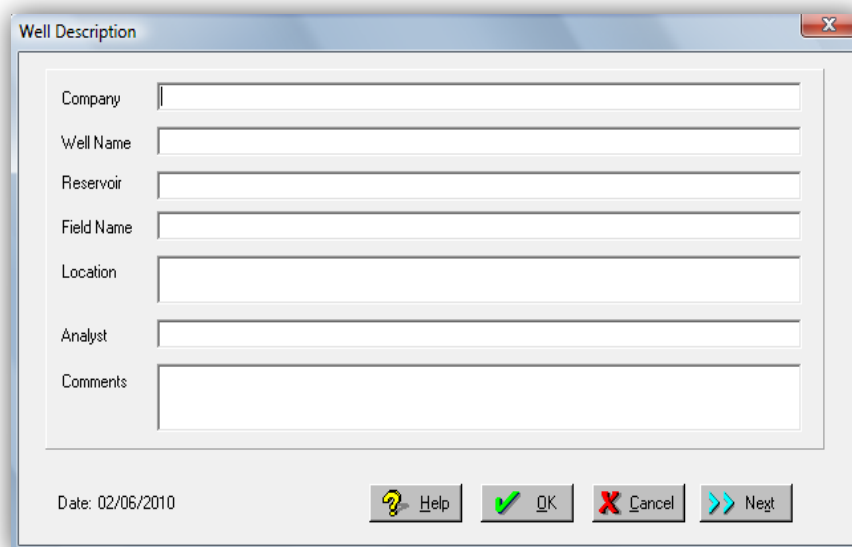
En el cuadro de diálogo “Well Description”, (ver Gráfico No. 16), se tendrá que ingresar los datos generales del pozo, los datos que se ingresen en este cuadro de diálogo, no influyen en los cálculos para el análisis que se realizará.

El cuadro de diálogo “Well Description”, consta de las siguientes partes:

- Company.- En esta casilla, se debe poner, el nombre de la empresa operadora del pozo.

- Well Name.- En esta casilla, se debe poner, el nombre del pozo.
- Reservoir.- En esta casilla, se debe poner, el nombre del reservorio o yacimiento, del cual se va a extraer petróleo.
- Field Name.- En esta casilla, se debe poner, el nombre del campo, en donde se encuentra el pozo.
- Location.- En esta casilla, se debe poner, el lugar donde se encuentra el pozo.
- Analyst.- En esta casilla, se debe poner, el nombre de la persona que está haciendo el análisis.
- Comments.- En esta casilla, se debe poner, datos que sirvan para aclarar alguna duda o alguna observación adicional.

Gráfico No. 16: Cuadro de diálogo “Well Description”



The image shows a software dialog box titled "Well Description". It features seven input fields stacked vertically, each with a label to its left: "Company", "Well Name", "Reservoir", "Field Name", "Location", "Analyst", and "Comments". The "Comments" field is a larger text area. At the bottom of the dialog, there is a "Date:" label followed by the text "02/06/2010". To the right of the date are four buttons: "Help" (with a question mark icon), "OK" (with a green checkmark icon), "Cancel" (with a red X icon), and "Next" (with a blue right-pointing arrow icon).

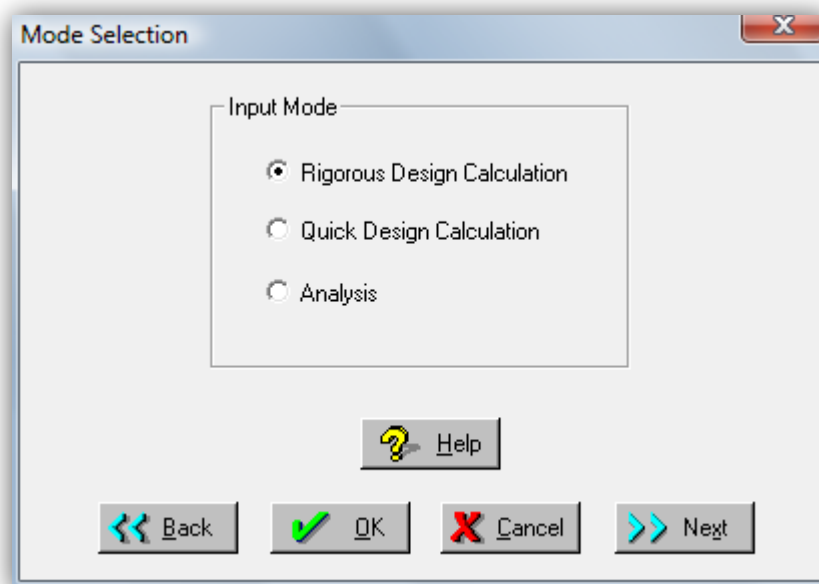
Fuente: Ihs Energy – Software Subpump 7.0

Elaborado por: Fernando Bacón

2.4.3. Cuadro de diálogo “Mode Selection”

El cuadro de diálogo, “Selección de Modo”, (ver Gráfico No. 17), nos ayuda a elegir el tipo de cálculo que se va a realizar.

Gráfico No. 17: Cuadro de diálogo “Mode Selection”



Fuente: Ihs Energy – Software Subpump 7.0

Elaborado por: Fernando Bacón

Los modos de selección se detallan a continuación:

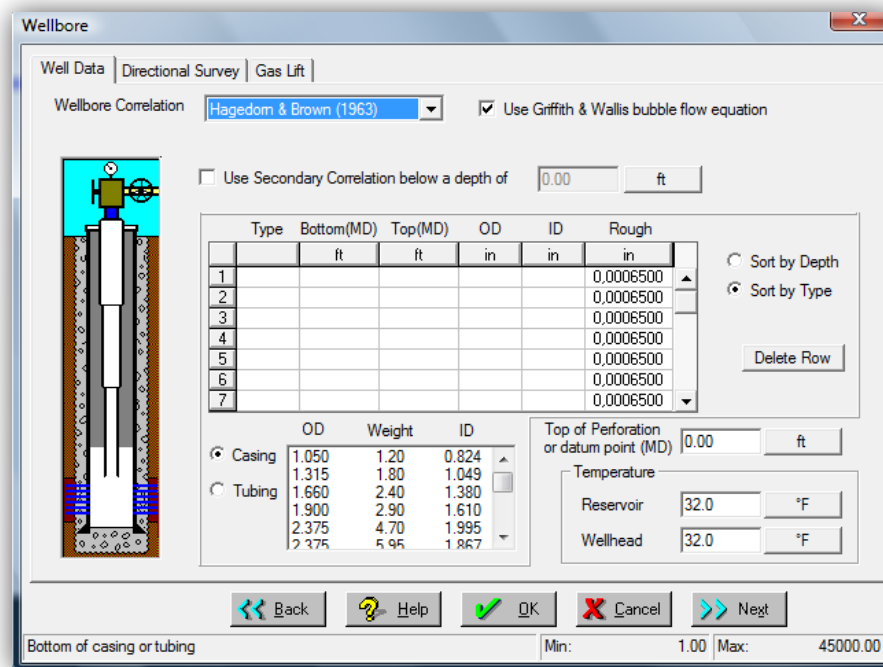
- Rigorous Desing Calculation.- El modo de diseño riguroso, nos permite hacer un análisis profundo, se lo usa siempre y cuando se tengan todos los datos que exige el software.
- Quick Desing Calculation.- El modo de diseño rápido, nos permite hacer un análisis rápido, se lo usa cuando la información que se posee es escasa, o se necesita un diseño rápido y sin exigencias.
- Analysis.- El modo de diseño análisis, nos permite analizar una instalación ya existente, es muy útil cuando se quiere comparar, un pozo con diferentes bombas, para analizar el desempeño.

2.4.4. Cuadro de diálogo “Wellbore”

El cuadro de diálogo, “Wellbore”, (ver Gráfico No. 18), nos permite ingresar información acerca del casing y del tubing que se tiene en el pozo, cabe señalar que existen todos los diámetros de casing y tubing estandarizados, con sus respectivos pesos y la rugosidad. En este cuadro de diálogo, se debe también ingresar la información de la profundidad de las perforaciones, en pies.

Adicionalmente en este cuadro de diálogo, se debe ingresar, la temperatura del reservorio, y la temperatura que se tiene en la cabeza del pozo, en grados Fahrenheit.

Gráfico No. 18: Cuadro de diálogo “Wellbore”



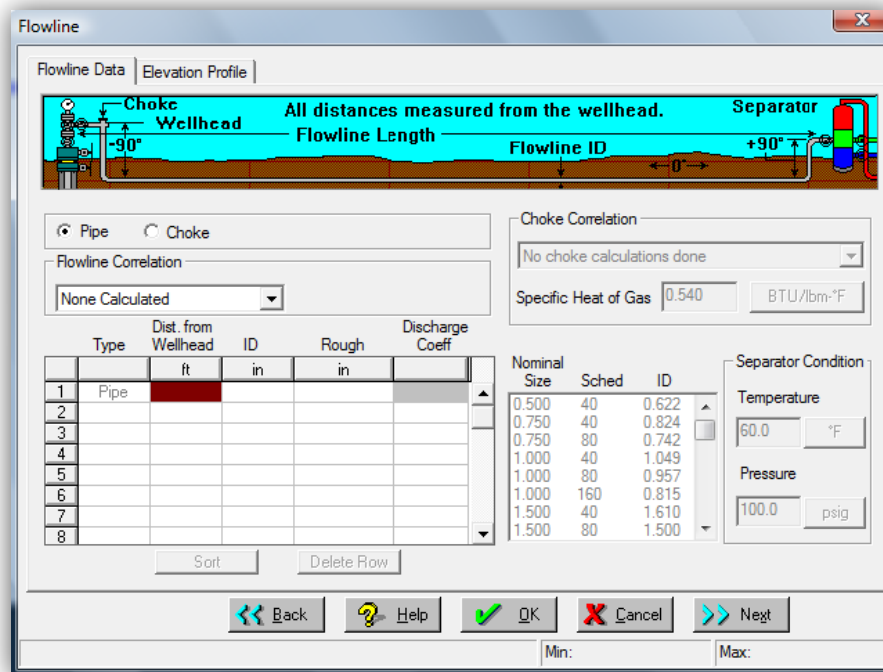
Fuente: Ihs Energy – Software Subpump 7.0

Elaborado por: Fernando Bacón

2.4.5. Cuadro de diálogo “Flowline”

El cuadro de diálogo, “Flowline”, (ver Gráfico No. 19), nos permite ingresar información, acerca de la tubería en la superficie, así también se puede introducir información acerca del estrangulamiento y los cambios de elevación, que se tiene en la superficie.

Gráfico No. 19: Cuadro de diálogo “Flowline”



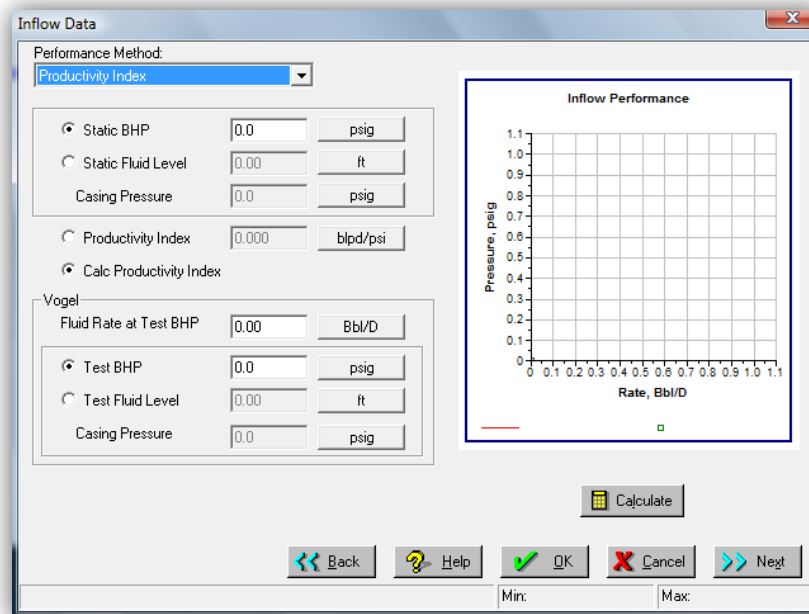
Fuente: Ihs Energy – Software Subpump 7.0

Elaborado por: Fernando Bacón

2.4.6. Cuadro de diálogo “Inflow Data”

El cuadro de diálogo, “Inflow Data”, (ver Gráfico No. 20), nos permite la entrada de datos, de tal manera que se pueda evaluar el método correcto, para crear la curva de rendimiento del pozo. Dependiendo de las propiedades del yacimiento que se tenga, se debe seleccionar un método para el cálculo del IP, una vez seleccionado el método, debemos calcular, con los datos ingresados, y una vez hechos los cálculos, podremos observar la curva del IP, realizada en la pantalla.

Gráfico No. 20: Cuadro de diálogo “Inflow Data”



Fuente: Ihs Energy – Software Subpump 7.0

Elaborado por: Fernando Bacón

Los métodos para evaluar la curva de rendimiento, que el software ofrece son:

- Productivity Index
- Vogel
- Vogel Corrected for Water Cut
- Import IPR Data from a File
- Pump Intake Pressure

Como se conoce, para seleccionar el mejor método, para evaluar la curva de rendimiento, se debe considerar las condiciones del yacimiento, ya que cada método es específico, para un tipo de yacimiento.

2.4.7. Cuadro de diálogo “Pressures/Rates”

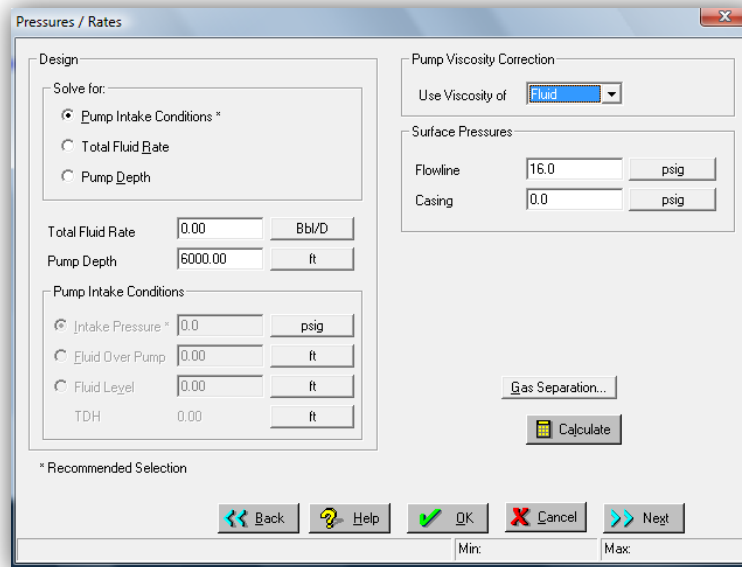
El cuadro de diálogo “Pressures/Rates”, (ver Gráfico No. 21), nos permite ingresar datos que serán específicamente, tomados en cuenta para el diseño de la bomba, ya que podemos determinar de cualquiera de las formas, la siguiente información:

- Presión de intake de la bomba
- Fluido sobre la bomba
- Nivel del fluido
- TDH

Para que el software calcule, los datos antes mencionados, es necesario que ingresemos la información, siguiente:

- Caudal total del fluido
- Profundidad de asentamiento de la bomba

Gráfico No. 21: Cuadro de diálogo “Pressures/Rates”



Fuente: Ihs Energy – Software Subpump 7.0

Elaborado por: Fernando Bacón

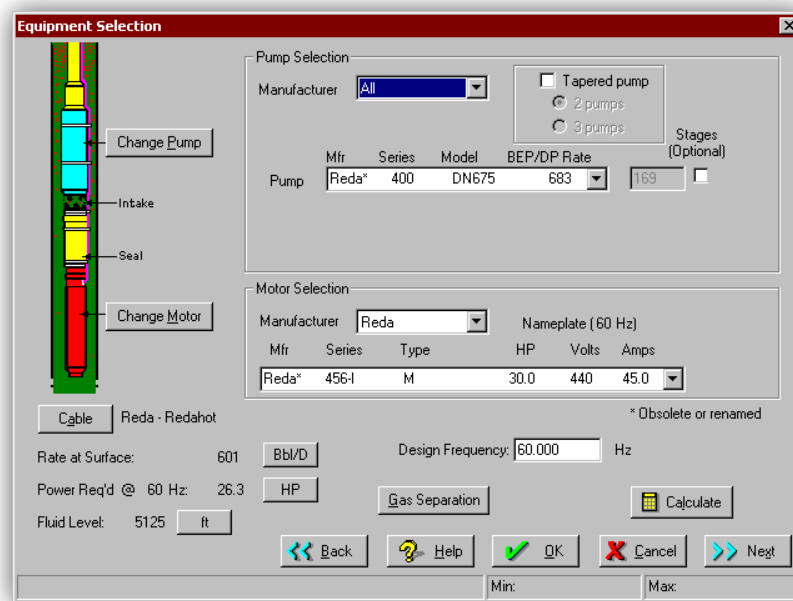
La ficha “corrección de la viscosidad de la bomba”, se la usa siempre y cuando se tenga un pozo nuevo.

2.4.8. Cuadro de diálogo “Equipment Selection”

El cuadro de diálogo “Equipment Selection”, (ver Gráfico No. 22), nos permite seleccionar, los siguientes componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible:

- Bomba
- Motor
- Cable

Gráfico No. 22: Cuadro de diálogo “Equipment Selection”



Fuente: Ihs Energy – Software Subpump 7.0

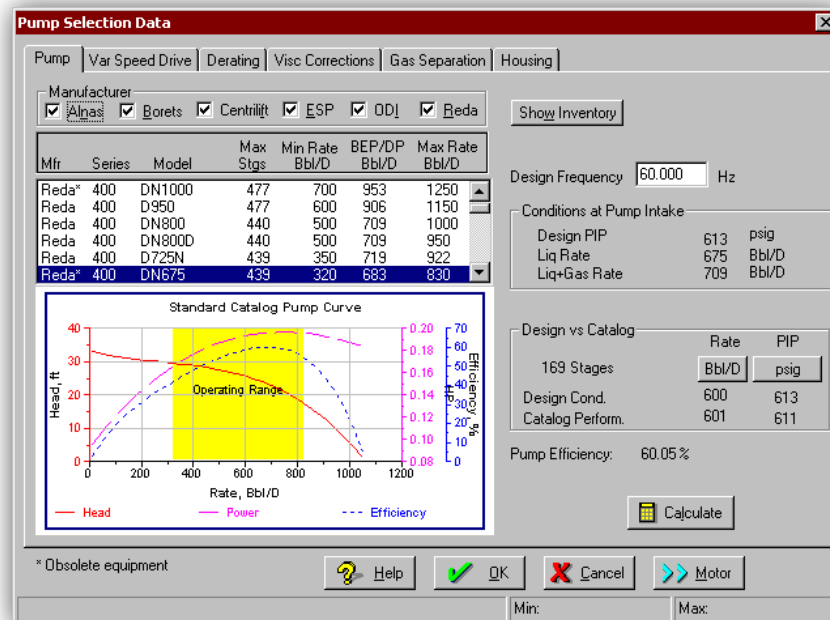
Elaborado por: Fernando Bacón

La selección de la bomba se la puede hacer en el cuadro de diálogo “Equipment Selection”, o también en una nueva ventana independiente, (ver Gráfico No. 23).

La información que se ingresó en los cuadros de diálogo anteriores, permiten al software, recomendar bombas que cumplan con los requerimientos, que hemos

ingresado, de tal manera, se debe seleccionar una bomba adecuada, para el diámetro del tubing, el caudal que se va a levantar y las demás condiciones, y seguir seleccionando los demás componentes.

Gráfico No. 23: Cuadro de diálogo “Pump Selection”

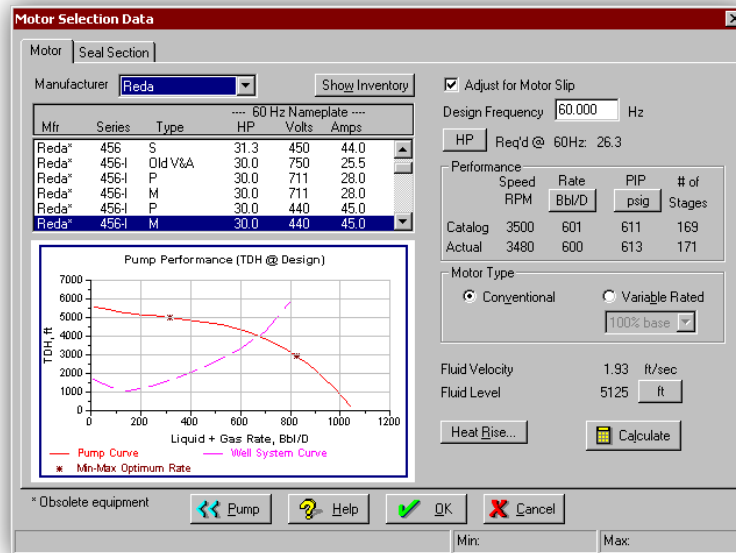


Fuente: Ihs Energy – Software Subpump 7.0

Elaborado por: Fernando Bacón

Al igual que para la bomba, la selección del motor se la puede hacer en el cuadro de diálogo “Equipment Selection”, o también en una nueva ventana independiente.

Gráfico No. 24: Cuadro de diálogo “Motor Selection”



Fuente: Ihs Energy – Software Subpump 7.0

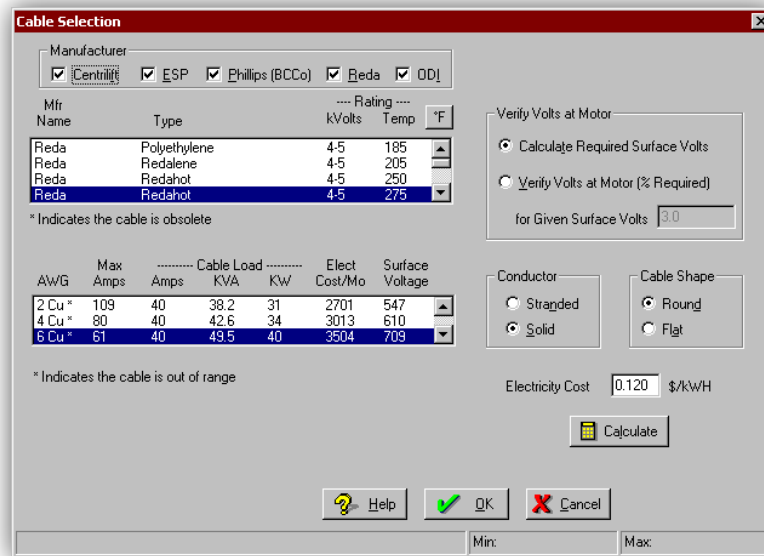
Elaborado por: Fernando Bacón

Como se puede observar en el gráfico No. 24, el motor a ser usado en la instalación, se lo puede seleccionar de una amplia gama de fabricantes, con la única opción de selección, que se cumpla, con los requerimientos del sistema. Además se puede ingresar una frecuencia de diseño o también el software puede recomendar una frecuencia de diseño calculada.

La selección del cable, se la puede realizar, en el cuadro de diálogo “Equipment Selection”, o también en una nueva ventana independiente, (ver Gráfico No. 25). Como se puede observar en el gráfico, la selección del cable se puede hacer en función del fabricante deseado, o a su vez se puede escoger todos los fabricantes, con la finalidad de

establecer un punto de comparación.

Gráfico No. 25: Cuadro de diálogo “Cable Selection”



Fuente: Ihs Energy – Software Subpump 7.0

Elaborado por: Fernando Bacón

Cuando se ha seleccionado un fabricante de cable de la lista, se despliega en la parte inferior, las características de los cables, es decir:

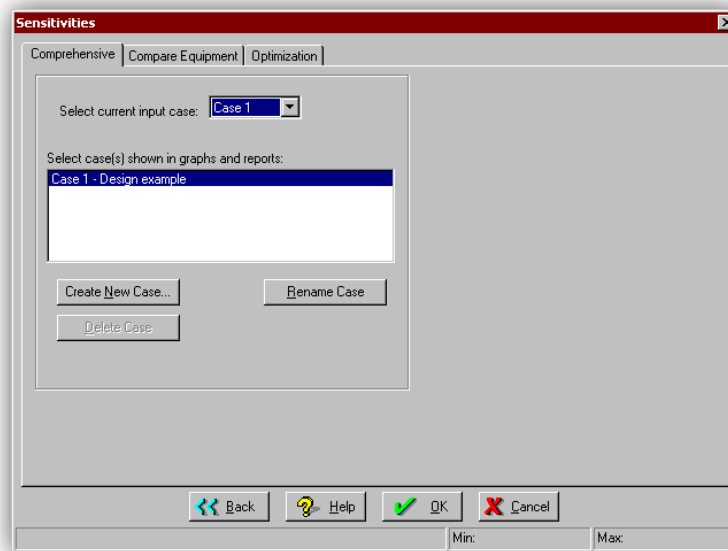
- AWG
- Max Amps
- Amps
- Kva
- Kw

- Surface Voltage

2.4.9. Cuadro de diálogo “Sensitivities”

El cuadro de diálogo “Sensitivities”, (ver Gráfico No. 26), permite el análisis y la comparación, de un Sistema de Bombeo Electrosomergible.

Gráfico No. 26: Cuadro de diálogo “Sensitivities”



Fuente: Ihs Energy – Software Subpump 7.0

Elaborado por: Fernando Bacón

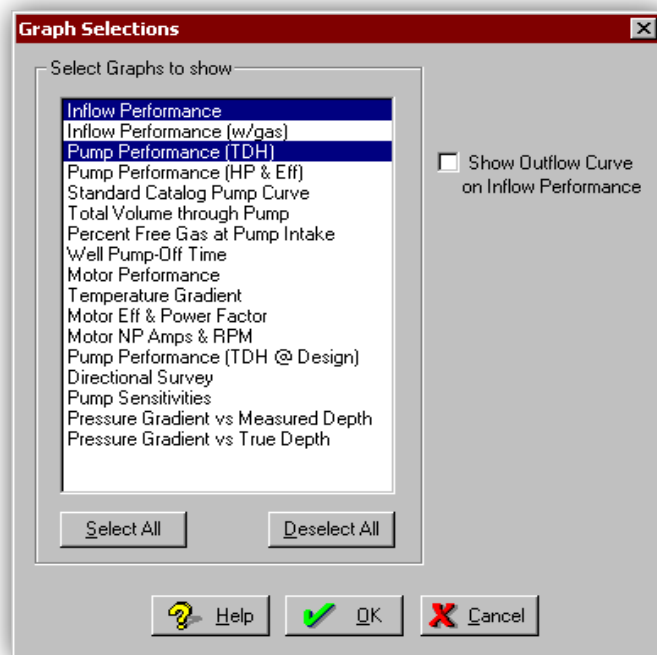
Aquí se podrá evaluar el efecto y se podrá optimizar el rendimiento del sistema, creando nuevos casos, o simplemente comparando el rendimiento del sistema, con diferentes

componentes del sistema, es decir colocando más opciones de bomba y motor.

2.4.10. Cuadro de diálogo “Graph Selections”

En este cuadro de diálogo, se puede seleccionar los gráficos, que se desean visualizar, en pantalla, (ver Gráfico No. 27).

Gráfico No. 27: Cuadro de diálogo “Graph Selections”



Fuente: Ihs Energy – Software Subpump 7.0

Elaborado por: Fernando Bacón

CAPÍTULO III

CAPÍTULO III

3. Descripción del Campo Lago Agrio

En este capítulo se hará una breve descripción y análisis de la producción del campo Lago Agrio, en donde se detallara la ubicación, la estructura, la estratigrafía y litología de las zonas de interés, y la producción histórica del campo Lago Agrio.

3.1. Reseña histórica

Texaco, como operadora de consorcio Texaco-Gulf, perforó con una torre helitransportable el pozo Lago Agro 1, entre febrero y abril de 1967, alcanzando los 10175` de profundidad. Este pozo dio una producción por flujo natural de 2955 bpd de 29° API, provenientes de la Formación Hollín. Este pozo seguía produciendo a inicios de 2003, a una tasa de aproximadamente 85 bpd. La ubicación del pozo, según el reporte del geólogo J.B. Taylor Jr., fue definida el 7 de noviembre de 1966 por él y R.D. Hall, como el flanco oeste de la estructura determinada por sísmica, sobre la base de un mapa “contorneado a un probable horizonte de caliza Napo que muestra la cresta de la estructura algo más hacia el sur”, y ubicada a 15,3 km del campamento base de Sta. Cecilia en dirección N 75° E. dicha ubicación fue cambiada unos 350m hacia el sur, por

logística y por encontrarse estructuralmente más alta en 20°. En el programa de perforación se define como objetivo primario la formación Hollín y como secundario las areniscas y calizas Napo y los conglomerados Tiyuyacu, este primer descubrimiento confirmó el potencial petrolífero de la cuenca Oriente y marcó el inicio de una agresiva etapa de exploración, que culminó en los años siguientes con el descubrimiento de los más grandes campos de la cuenca.

Lago Agrio es el primer campo de la Cuenca Oriente, que se incorporó a la producción en mayo de 1972, con una producción promedio diaria de 10450 barriles de crudo de la formación Hollín. Durante los primeros años, muestra una producción errática con fuertes altibajos. En noviembre de 1973, el campo alcanza su máximo pico de producción histórica con 53 618 bpd en promedio, la producción sigue inestable hasta marzo de 1975 en que cae a 4893 BPPD, incrementándose al mes siguiente hasta 30 210 BPPD. Recién a partir del año 1980, empieza a mostrar una declinación paulatina sin altibajos. A inicios de 2003, se reportaba una producción promedio diaria alrededor de 5 600 barriles.

3.2. Ubicación del Campo Lago Agrio

El campo Lago Agrio, está situado en la Región Amazónica Ecuatoriana, en la provincia de Sucumbíos, cantón Nueva Loja, (ver Mapa No.1). Es atravesado por el río

Aguarico y se enmarca en las siguientes coordenadas que se encuentran en la Tabla No.1.

Tabla No. 1: Coordenadas geográficas y métricas de la ubicación del Campo Lago Agrio

PUNTO	COORDENADAS			
	GEOGRÁFICAS		MÉTRICAS	
1	76°58'28,53 W	00°09'43,85"N	10.017.936'88	280.225.86
2	76°44'45,63 W	00°09'43,85"N	10.017.936'88	305.675,86
3	76°44'45,63 W	00°03'49,94"S	9.992.936,88	305.675'86
4	76°58'28,53 W	00°03'49,94" S	9.992.936,88	280.225'86

Fuente: Petroproducción

Elaborado por: Fernando Bacón

En el campo se encuentran las estaciones Lago Agrio Norte y Lago Agrio Central, que son estaciones de recepción, tratamiento, sistema de bombeo a oleoducto secundario. El campo también posee una Central de Generación Eléctrica, ubicada en la Estación Lago Agrio Central. La Central de Generación Eléctrica, está formada por el área de generadores, sala de control y la subestación, y utiliza el gas residual que se obtiene de la estación de producción y el auxiliar utiliza diesel que viene desde Lago Agrio en tanqueros.

Geológicamente se encuentra alineado al conjunto de campos Tigüino, Cononaco, Auca, Sacha, Palo Azul-Rojo y Charapa que entrapa hidrocarburo en tres etapas migratorias en las secuencias detríticas de las formaciones Hollín, Napo y Tena. Sus reservas remanentes son 32'421.003 barriles de petróleo, con una producción diaria promedio de 4.441 BPPD aproximadamente, provenientes de 26 pozos. Sus niveles productivos son: Formación Hollín Superior, Formación Napo (T y U) y Basal Tena, cada uno de los cuales presenta sus propias características litológicas estructurales y de fluidos de formación, como consecuencia del Ambiente paleontológico en que fueron depositados y de los fluidos migrados acumulados.

Mapa. No 1: Ubicación del Campo Lago Agrio en Ecuador



Fuente: Petroproducción

Elaborado por: Fernando Bacón

3.3. Estructura del Campo Lago Agrio

¹El campo Lago Agrio se presenta como una estructura anticlinal fallada, alargada en dirección preferencial norte-noreste, sur-suroeste, las dimensiones aproximadas son de 8 kilómetros de largo, 4 kilómetros de ancho, 150 pies de cierre vertical, y su superficie es de 32 kilómetros cuadrados.

El campo Lago Agrio, yace sobre el lado levantado (oeste) el cual es controlado por una falla regional inversa al este, con ligero buzamiento al oeste, la cual afecta incluso a sedimentos del terciario (base de la formación Tiyuyacu), generando así el cierre estructural, que dio lugar al campo Lago Agrio.

La estratigrafía del campo Lago Agrio, (ver gráfico 28 y 29), se halla representada por sedimentos, que van desde el tope jurásico, donde fue cortado un núcleo de fondo (Lago 02), representando litológicamente por andesitas rojas, hasta sedimentos recientes del Plioceno. El yacimiento principal de producción de petróleo del campo Lago Agrio, es la arena Hollín, con un gran acuífero de fondo y como yacimientos secundarios tenemos, Basal Tena, Napo “T” y “U”.

¹ Ramírez Espín, Fernando, Dimensionamiento de un separador para la Estación Lago Agrio Central del Campo Lago Agrio. Pág. 7.

3.4. Formaciones productoras y columna estratigráfica del campo Lago Agrio

Los principales reservorios productivos de este campo son:

Hollín Superior, Hollín Inferior

Ambas con 30 API y pertenecientes a la formación Hollín.

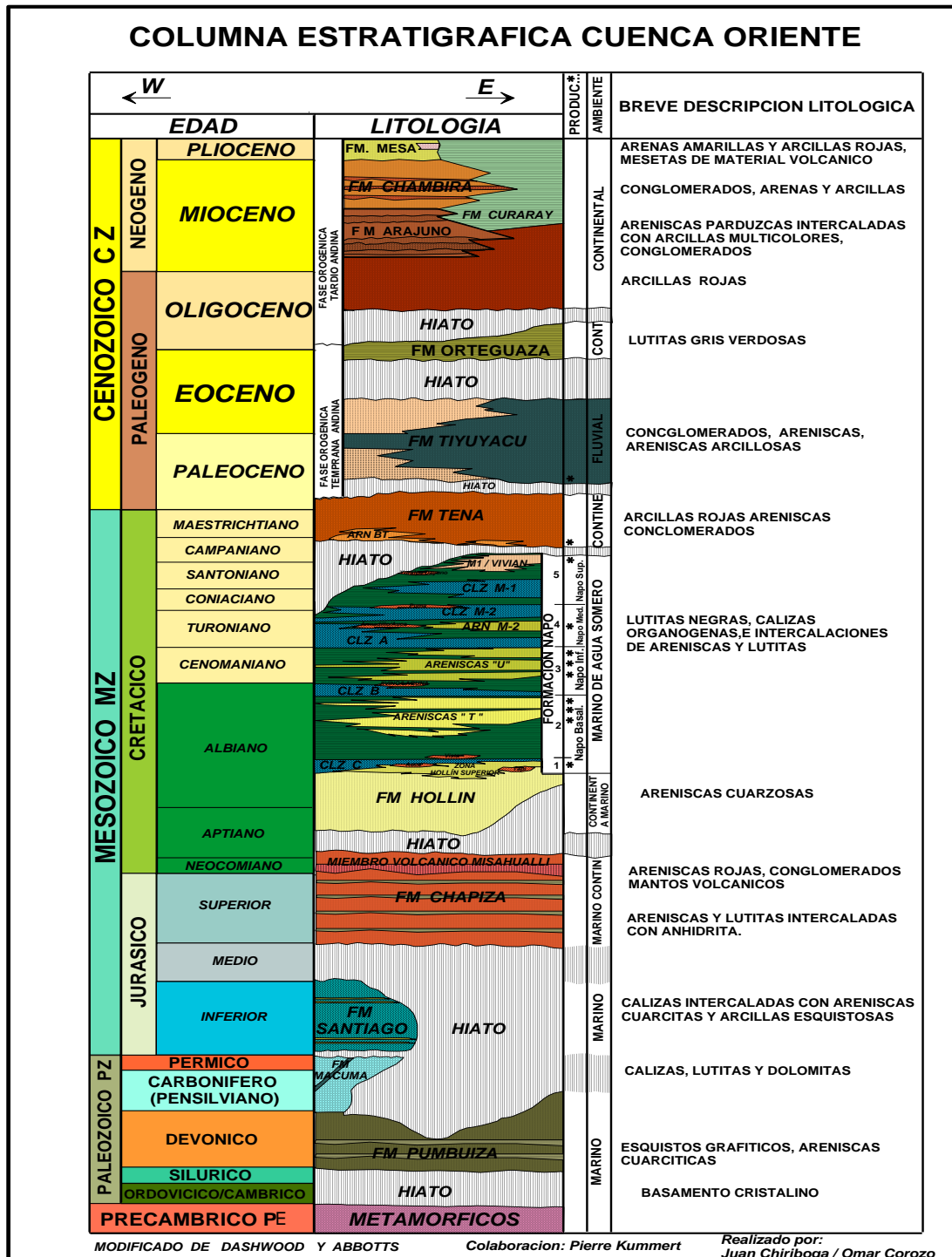
Napo “T” y “U”

La formación Napo T con 31 API y Napo U con 30 API.

Basal Tena

Finalmente la arenisca Basal Tena con 29 API, los contactos agua-petróleo, son variables en todas las arenas.

Gráfico No. 29: Columna estratigráfica Cuenca Oriente



Fuente: Petroproducción

Elaborado por: Fernando Bacón

El yacimiento que mayor aporta a la producción del campo Lago Agrio, es el yacimiento Hollín con el 95% del total de la producción.

La relación pristano/fitano para los crudos Hollín es de 1.17 en una muestra analizada que indica una materia orgánica depositada en condiciones marino-marginales, con gran componente terrestre².

3.5. Yacimientos del Campo Lago Agrio

A continuación se describirán los diferentes yacimientos del campo Lago Agrio.

3.5.1. Formación Hollín

Es el principal reservorio de petróleo de edad Albeano-Cenomaniano y Paleo, ambiente transicional deltaico, se lo ha subdivido en superior e inferior, predomina la parte inferior con una secuencia deltaica, pasando por un LAGOON, y en la parte superior, por dos secuencias estuarinas, una dominada por mareas y otra por olas.

²² La Cuenca Oriente, Geología y Petróleo, PETROECUADOR. Pág. 262.

3.5.1.1. Hollín Inferior

El tope de este reservorio se encuentra entre 9040 y 1088 pies, tiene un espesor promedio regular en todo el campo de 32 pies, en Lago-15 a 184 pies, el Lago-23. Está constituida fundamentalmente de una arenisca limpia con poca presencia de arcilla, con espesores de saturación de crudo de 27 pies en Lago-30 a 122 pies, en Lago-11, con una porosidad del 8% en Lago-25 a 20%, en Lago-11 y Lago-12.

Este reservorio está afectado por un contacto agua-petróleo, y posiblemente trabajen como unidades hidráulicas diferentes en el campo, una unidad en la parte norte-oeste, está afectada por el contacto agua-petróleo del pozo Lago-41 (-9095pies), y otra unidad hidráulica en la parte sur afectada por el contacto agua-petróleo del pozo Lago-38 (-9088pies), considerando horizontal con inclinaciones a los flancos, existe un empuje hidráulico lateral a la parte central del flanco este del yacimiento por la invasión del agua por la falla, afectando a los pozos Lago-23, Lago-37, Lago-29, Lago-10 y a la altura de los pozos Lago-26, Lago-34, mientras que en el flanco oeste el yacimiento está afectado por un empuje hidráulico de fondo, llegando a unirse estos avances de agua a la altura de los pozos Lago-16, Lago-31, Lago-12, Lago-10, desarrollando conificaciones en la parte norte, centro y sur de la estructura.

3.5.1.2. Hollín superior

El tope de este yacimiento se ubica entre 9892 pies +a 10058 pies y tiene un espesor de 6 pies, en el pozo Lago-3 a 48 pies en el pozo Lago-6, con espesor de saturaciones de 5 pies, en el pozo Lago-12 a 26 pies en el pozo Lago-6, con una porosidad de 6% en el pozo Lago-30 a 20% en el pozo Lago 11, constituida por arenisca cuarzosa de grano fino a grueso y muy grueso hacia la base, color gris claro blanco, granos translucidos y hialinos.

3.5.2. Formación Napo

Dentro de la Formación Napo se subdivide en dos zonas como son la zona T y zona U.

3.5.2.1. Arena T

Este reservorio se ubica entre 9746 pies a 9958 pies, con un espesor de 35 pies en el pozo Lago 29 a 100 pies, en pozo Lago-25, con espesores irregulares de saturación de crudo de cuatro pies en el pozo Lago-11 a 38pies en el pozo Lago-32.

Su porosidad está en el orden 9% en el pozo Lago-20 a 18% en el pozo Lago-15, está constituida, por una arenisca cuarzosa glauconítica, gris verdosa, de grano fino a medio, subredondeada, con presencia de cemento silicio a veces calcáreo.

3.5.2.2. Arena U

Este reservorio se ubica entre 9558 pies a 9720 pies con un espesor de 44 pies en el pozo Lago-33 a 102 pies en el pozo Lago-35, con espesores irregulares de saturación de crudo en 3 pies en el pozo Lago-33 a 28 pies en el pozo Lago-30. Su porosidad está en el orden del 9% en el pozo Lago-22 a 20% en el pozo Lago-17, está constituida, por una arenisca cuarzosa, gris clara a café, grano fino a grueso de glauconita.

3.5.3. Formación Basal Tena

El tope de este reservorio se ubica entre 8873 pies a 9002 pies, con espesores irregulares depositados en el yacimiento de 8 pies en el pozo Lago-16 a 32 pies en el pozo Lago-28, con espesores de saturación de crudo de dos pies en el pozo Lago-31 a 17 pies en el pozo Lago-33.

Su porosidad está en el orden del 9% en el pozo Lago-8 a 21% en el pozo Lago-20 y en

el pozo Lago-25. Está constituida por arenisca cuarzosa, grano fino a grueso, color café claro, a veces, microconglomerática, mal seleccionado, cemento silicio a veces calcáreo.

El gas de este campo tiene importante contenido de CO₂ lo que es característico de los campos que se ubica cerca al borde occidental de la cuenca, los datos obtenidos se encuentran tabulados en la Tabla No. 2.

Tabla No. 2: Contenido de gas del Campo Lago Agrio

Reservorio	CO ₂	CL&N ₂ (%)	C ₂ -C ₆	C ₇ ⁺
Hp	52	27	21	0,12
Hs	34	29	37	0,3
T	11	38	50	0,3

Fuente: La Cuenca Oriente Geología y Petróleo

Elaborado por: Fernando Bacón

3.6. Espesores productores

La formación Hollín aporta la mayor parte de la producción, del campo Lago Agrio, también se tiene un aporte considerable de la arena U inferior como superior, a continuación se presenta, en la Tabla No. 3.

Tabla No. 3: Espesores productores del Campo Lago Agrio

YACIMIENTO	PROFUNDIDAD	ESPESOR PROMEDIO
	(Pies)	(Pies)
BASAL TENA	8.873 – 9.002	6 – 10
NAPO U	9.508 – 9.720	9 – 12
NAPO T	9.746 – 9.958	10 – 15
HOLLÍN SUPERIOR	9.892 – 10.058	40
HOLLÍN INFERIOR	9.904 – 10.088	20

Fuente: Petroproducción

Elaborado por: Fernando Bacón

3.7. Reservas volumétricas

Las reservas originales y remanentes a Abril del 2008 por arena se encuentran tabuladas en la Tabla No 4.

Tabla No. 4: Reservas volumétricas del Campo Lago Agrio

ARENA	S_o %	Ø %	API	B_{oi} (BR/BF)	Volumen In Situ (STB)	FR %	Reservas Iniciales (BLS)	Np (BLS)	Reservas Remanentes (BLS)
BASAL TENA	78,0	15,0	24,00	1,1863	34'760.000	22,00	7'647.200	3'555.589	4'091.611
NAPO U	65,0	14,4	30,00	1,2441	45'593.985	24,00	10'942.556	1'869.446	9'073.110
NAPO T	75,0	11,6	31,30	1,2622	49'148.888	24,00	11'795.733	2'272.242	6'523.491
HOLLÍN	81,3	14,4	28,10	1,1476	391'840.045	40,00	156'726.018	140'682.524	16'053.494
TOTAL					521'342.918		187'111.507	148'379.801	35'741.706

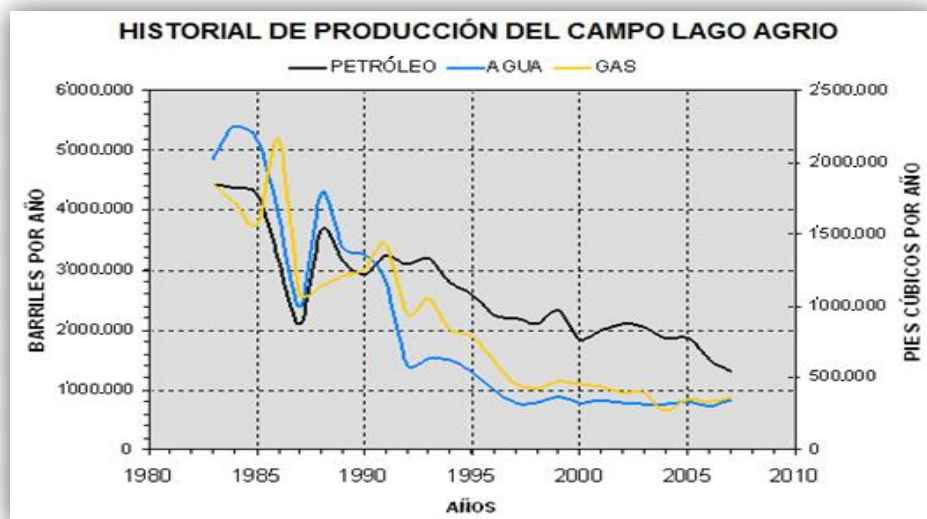
Fuente: Petroproducción

Elaborado por: Fernando Bacón

3.8. Producción histórica del Campo Lago Agrio

El campo Lago Agrio tuvo una producción inicial de 2.955 BPPD con su primer pozo perforado en 1967. Por falta de registros el historial de producción comienza en 1983 (Ver Gráfica 2.1), desde ahí los datos fueron sacados de la sumatoria de las pruebas de producción mensuales de cada pozo. Desde aquel año, la producción anual ha disminuido notablemente casi en un 60%, pero aun así continua siendo una cantidad importante dentro de la producción nacional considerando la antigüedad del campo y el creciente precio actual del petróleo. La gráfica del historial de producción del campo Lago Agrio es presentada a continuación en el Gráfico No. 30

Gráfico No. 30: Historial de producción del Campo Lago Agrio



Fuente: Petroproducción

Elaborado por: Fernando Bacón

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV

4. Análisis de las bombas electro sumergibles

En el siguiente capítulo se hará el análisis de las bombas electrosumergibles, que se encuentran instaladas en los pozos LAGO – 25 y LAGO – 33, partiendo de la información recopilada en el campo, y posteriormente ingresada al software SubPump 7.0, el cual nos proporcionará los resultados que se necesitan para el análisis.

4.1. Datos de campo

Los datos que se muestran en la Tabla No. 5, fueron proporcionados por el Departamento de Ingeniería de Petróleos del campo Lago Agrio, dichos datos fueron obtenidos en cada uno de los pozos, a los cuales se les realizará el análisis.

Posteriormente, los datos obtenidos en el campo, serán ingresados en el software SubPump 7.0, para realizar el respectivo análisis y comprobar si el equipo electrosumergible, que se encuentra instalado en cada uno de los pozos, está funcionando de manera óptima, es decir verificar que los caudales estén dentro del

rango de funcionamiento, que especifica el fabricante, así como también analizar que las bombas no se encuentren en up thrust o en down thrust.

Tabla No. 5: Datos de campo para los pozos con ESP en el Campo Lago Agrio

POZO	ARENA	BFPD	BSW	P.Burbuja	API	HZ	PWF
LAGO - 25	U + T	775	1	770	29,3	57	1331
LAGO - 33	Hs + i	2486	72	725	27,4	55	2378

Fuente: Ing. de Petróleos del Campo Lago Agrio

Elaborado por: Fernando Bacón

4.2. Análisis del sistema de bombeo electrosumergible de cada uno de los pozos, mediante el software SubPump 7.0

A continuación se realizará, el análisis de cada uno de los pozos equipados con Sistema de Bombeo Electrosumergible, del campo Lago agrio, mediante el software SubPump 7.0, para verificar si los equipos instalados dentro de los pozos, se encuentran en condiciones óptimas de funcionamiento y así aportar con esta información al Departamento de Ingeniería de Petróleos del campo Lago Agrio.

4.2.1. Pozo Lago – 25

Los datos correspondientes al pozo Lago – 25, tomados de la Tabla No. 5, fueron ingresados al software SubPump 7.0, para realizar el análisis respectivo. Con los resultados obtenidos se podrá determinar si el equipo se encuentra trabajando de manera correcta dentro del rango operativo, recomendado por el fabricante del equipo de bombeo electrosumergible. A continuación en la Tabla No. 6 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en el análisis, los resultados completos se los puede observar en el Anexo No. 1.

Tabla No. 6: Resultados del análisis del pozo Lago – 25 con el software SubPump 7.0

Bomba dentro del pozo	(2)DN – 725
Tasa de fluido (bls/día)	775
Tasa de petróleo (bls/día)	643,25
Tasa de agua (bls/día)	131,75
Tasa de gas (Mscf/día)	169,82
Potencia de la bomba (HP)	44,3
Eficiencia de la bomba (%)	53
Eficiencia del motor (%)	48

Fuente: SubPump 7.0

Elaborado por: Fernando Bacón

De acuerdo con los resultados obtenidos y tabulados en la Tabla No. 6 y con la ayuda del Anexo No. 1, se concluye que las bombas DN – 725, que se encuentran instaladas están trabajando dentro de los rangos operacionales correctos, como se puede observar en el Anexo No. 3.

4.2.2. Pozo Lago – 33

Los datos correspondientes al pozo Lago – 33, tomados de la Tabla No. 5, fueron ingresados al software SubPump 7.0, para realizar el análisis respectivo. Con los resultados obtenidos se podrá determinar si el equipo se encuentra trabajando de manera correcta dentro del rango operativo, recomendado por el fabricante del equipo de bombeo electrosumergible. A continuación en la Tabla No. 7 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en el análisis, los resultados completos se los puede observar en el Anexo No. 2.

Tabla No. 7: Resultados del análisis del pozo Lago – 33 con el software SubPump 7.0

Bomba dentro del pozo	(3)K70
Tasa de fluido (bls/día)	2486
Tasa de petróleo (bls/día)	671,22
Tasa de agua (bls/día)	1814,78
Tasa de gas (Mscf/día)	117,46

Potencia de la bomba (HP)	138,9
Eficiencia de la bomba (%)	59,6
Eficiencia del motor (%)	82,8

Fuente: SubPump 7.0

Elaborado por: Fernando Bacón

De acuerdo con los resultados obtenidos y tabulados en la Tabla No. 7 y con la ayuda del Anexo No. 2, se concluye que las bombas K70, que se encuentran instaladas están trabajando dentro de los rangos operacionales correctos, , como se puede observar en el Anexo No. 4.

CAPÍTULO V

CAPITULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

5.1. Conclusiones

- En los pozos equipados con sistema de bombeo electrosumergible, las condiciones de yacimiento no son las mismas, ya que han sufrido cambios debido a la conificación de agua.
- Después de analizar el sistema de bombeo electrosumergible de los pozos Lago – 25 y Lago – 33, se ha observado que los equipos instalados dentro de los pozos, están funcionando dentro de los rangos operativos normales, por ende las bombas no se encuentran en up thrust, ni en down thrust.
- El gas libre dentro de las bombas de los pozos Lago – 25 y Lago – 33, es relativamente bajo, por lo tanto las bombas no están cavitando.

- Los pozos Lago – 25 y Lago – 33, del campo Lago Agrio, están con puntos de burbuja por debajo de la presión del reservorio, por lo tanto están correctamente implementados con sistema de bombeo electrosumergible.
- Se puede observar que en el pozo Lago – 33, el corte de agua es alto, y seguirá incrementándose paulatinamente con el paso del tiempo.
- La frecuencia diseñada, para los motores de las bombas, se encuentra dentro de los rangos de operación normales, además la presencia de los variadores de frecuencia hacen que los motores estén funcionando de tal manera que cumpla los requerimientos.

5.2. Recomendaciones

- Dadas las actuales circunstancias de los pozos Lago - 25 y Lago – 33, del campo Lago Agrio, se recomienda realizar trabajos de estimulación a la formación, para así prolongar la vida útil de los yacimientos, e incrementar la producción.
- Debido al alto corte de agua que se tiene en el pozo Lago – 33, se recomienda realizar pruebas al agua de formación, para determinar la acidez del agua, con el fin de prevenir la corrosión del equipo de fondo instalado, y por ende prolongar el funcionamiento del sistema de bombeo electrosumergible instalado.
- Cuando se realiza el análisis, de los pozos con sistema de levantamiento electrosumergible, es necesario tener a la mano todos los datos requeridos por el software para obtener resultados acordes con la realidad.
- Es recomendable tener en cuenta la presencia de gas en el petróleo, ya que su presencia afecta considerablemente al funcionamiento de la bomba.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAKER HUGHES, “Manual de bombeo electrosumergible”, 2001
2. Corrales Palma, Marco, “Manual de levantamiento artificial” Universidad Tecnológica Equinoccial, Septiembre 2008.
3. Melo, Vinicio, “Folleto de levantamiento artificial”, Escuela Politécnica Nacional, 1900.
4. Baby Patrice, Rivadeneira Marco, Barragán Roberto, “La Cuenca Oriente, Geología y Petróleo” Octubre 2004.
5. SCHLUMBERGER, catálogo: “REDA Electric Submersible Pump Technology” Marzo 2007.
6. SUBPUMP, manual: “Program reference”, Septiembre 2003

ANEXOS

ANEXO No. 1

SUMMARY REPORT DEL POZO LAGO - 25

GENERAL DESCRIPTION

Company Name: PETROPRODUCCIÓN
Well Name: LAGO - 25
Field Name: LAGO AGRIO
Reservoir Name: U + T
Analyst: FERNANDO BACÓN
Date: 04-27-2010

WELLBORE AND FLOWLINE

Casing OD, in:	9.625 (760.00 ft)
	7.000 (10185.00 ft)
Tubing OD, in:	3.500 (9412.00 ft)
Pump Depth MD/TVD, ft:	9412.00/9412.00

Top of Formation MD/TVD, ft:	9698.00/9698.00
Downhole Temp, °F:	232.0
Injection Gas Rate, Mscf/D:	0.00
Oil Rate, Bbl/D:	581.00
Oil Gravity, °API:	29.00 (1.4cP)
Water Rate, Bbl/D:	119.00
Water Sp Grav., (fw=1):	1.003
Gas Rate, Mscf/D:	153.38
Gas Sp Grav., (air=1, 0):	0.800
Liquid (Oil+W) @ Surf., Bbl/D:	700.00
Casing Pressure, psig:	0.0
Tubing Outflow Correlation:	Hagedorn & Brown (1963)
Flowline Correlation:	None Calculated

OPERATION AND PERFORMANCE

Design Frequency, Hz:	57.0
Oper. Motor Load @ Design Hz, HP:	44.6
Oper Motor Load @ 60 Hz, HP:	47.0
Operating Speed, RPM:	3357.7
Operating Current, Amps:	31.8
Operating Voltage, Volts:	1339.5

Operating Power Factor:	0.583
Adjusted for motor Slip:	Yes
Pump Efficiency, %:	53.3
Motor Efficiency, %:	48.3
Operating Thrust Load, lb:	N/A
Maximum Thrust Load, lb:	N/A
Surf. Final Liq. Rate (O+W), Bbl/D:	725.37
Avg. Pump Final Fluid, Bbl/D:	853.61
Avg. Pump Total Rate, Bbl/D:	842.11
Free Gas by Volume @ Pump, %:	16.8
Free Gas by Volume into Pump, %:	5.9
Total Dynamic Head (TDH), ft:	4815.61
Pump Intake Pressure, psig:	1311.4
Pump Operating Power, HP:	44.6

ANEXO No. 2

SUMMARY REPORT DEL POZO LAGO - 33

GENERAL DESCRIPTION

Company Name: PETROPRODUCCIÓN
Well Name: LAGO - 33
Field Name: LAGO AGRIO
Reservoir Name: Hs + i
Analyst: FERNANDO BACÓN
Date: 04-27-2010

WELLBORE AND FLOWLINE

Casing OD, in:	10.750 (2029.00 ft)
	7.000 (10040.00 ft)
Tubing OD, in:	3.500 (9623.00 ft)
Pump Depth MD/TVD, ft:	9623.00/9623.00

Top of Formation MD/TVD, ft:	9966.00/9966.00
Downhole Temp, °F:	239.0
Injection Gas Rate, Mscf/D:	0.00
Oil Rate, Bbl/D:	671.22
Oil Gravity, °API:	27.4 (0.9 cP)
Water Rate, Bbl/D:	1814.78
Water Sp Grav., (fw=1):	1.002
Gas Rate, Mscf/D:	117.46
Gas Sp Grav., (air=1, 0):	0.800
Liquid (Oil+W) @ Surf., Bbl/D:	2486.00
Casing Pressure, psig:	0.0
Tubing Outflow Correlation:	Hagedorn & Brown (1963)
Flowline Correlation:	None Calculated

OPERATION AND PERFORMANCE

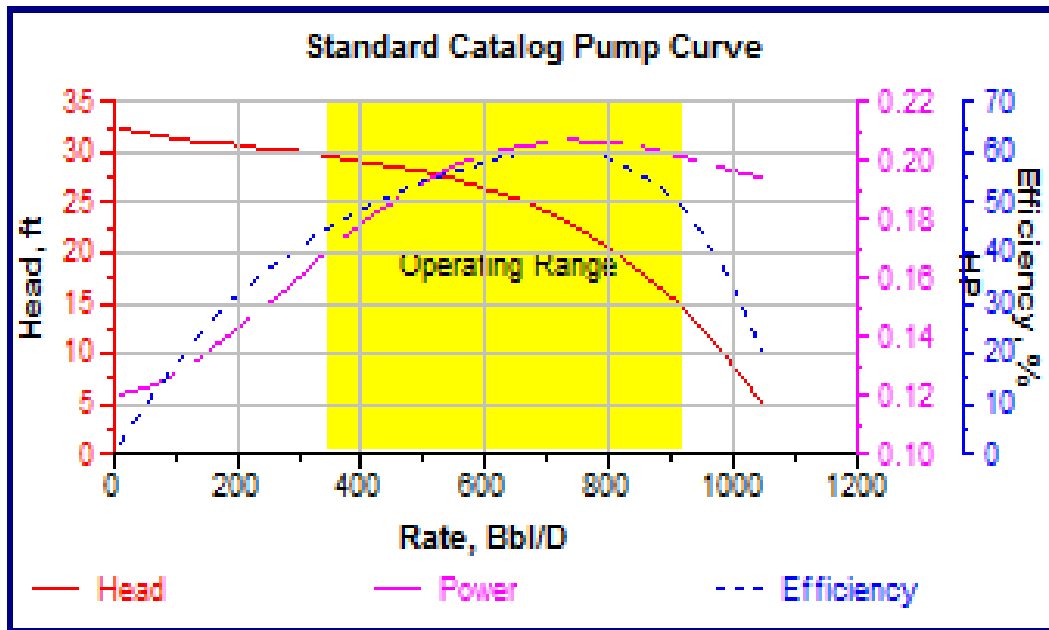
Design Frequency, Hz:	55.0
Oper. Motor Load @ Design Hz, HP:	138.9
Oper Motor Load @ 60 Hz, HP:	151.5
Operating Speed, RPM:	3095.8
Operating Current, Amps:	44.3
Operating Voltage, Volts:	2025.8

Operating Power Factor:	0.840
Adjusted for motor Slip:	Yes
Pump Efficiency, %:	59.6
Motor Efficiency, %:	82.8
Operating Thrust Load, lb:	N/A
Maximum Thrust Load, lb:	N/A
Surf. Final Liq. Rate (O+W), Bbl/D:	1527.07
Avg. Pump Final Fluid, Bbl/D:	1728.09
Avg. Pump Total Rate, Bbl/D:	1832.16
Free Gas by Volume @ Pump, %:	5.4
Free Gas by Volume into Pump, %:	1.0
Total Dynamic Head (TDH), ft:	7500.34
Pump Intake Pressure, psig:	821.9
Pump Operating Power, HP:	138.9

ANEXO No. 3

CURVA DE RENDIMIENTO DE LA BOMBA DN – 725N

Mfr	Series	Model	Max Stgs	Min Rate Bbl/D	BEP/DP Bbl/D	Max Rate Bbl/D
Reda	400	D950	477	570	861	1093
Reda	400	DN800	440	475	674	950
Reda	400	DN800D	440	475	674	903
Reda	400	D725N	439	333	683	876
Reda*	400	DN675	439	304	649	789
Reda*	400	DN610	421	333	581	722



ANEXO No. 4

CURVA DE RENDIMIENTO DE LA BOMBA K70

Mfr	Series	Model	Max Stgs	Min Rate Bbl/D	BEP/DP Bbl/D	Max Rate Bbl/D
CLift	513	GC4100	117	2292	3667	5133
CLift*	513	KA100	135	1833	3025	4217
CLift	513	GC3500	135	2017	3300	4033
CLift*	513	K70	135	1513	2429	3346
CLift	513	GC3000	262	2017	2658	3300
CLift	513	GC2900	135	1650	2613	3208

