



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

MAESTRÍA EN PETRÓLEOS

**DISEÑO DE SISTEMA BES PARA POZOS DE ALTO GRADO
DE INCLINACIÓN Y BAJO GRADO API DEL PETRÓLEO,
MEDIANTE LA APLICACIÓN ADECUADA AL POZO TPTC-006
DEL BLOQUE 43**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGISTER EN
PETRÓLEOS, MENCIÓN EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN E
INDUSTRIALIZACIÓN DE HIDROCARBUROS**

MARÍA CRISTINA VÉLEZ VICHE

DIRECTOR: ING. FAUSTO RAMOS AGUIRRE

Quito, noviembre 2019

© Universidad UTE. 2019

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

TRABAJO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0802823724
APELLIDO Y NOMBRES:	Vélez Viche María Cristina
DIRECCIÓN:	Urbanización Mastodontes
EMAIL:	crisvel_24@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	062011713
TELÉFONO MOVIL:	0994775532

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño de sistema BES para pozos de alto grado de inclinación y bajo grado api del petróleo, mediante la aplicación adecuada al pozo tptc-006 del bloque 43
AUTOR O AUTORES:	Vélez Viche María Cristina
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	noviembre de 2019
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Fausto René Ramos Aguirre
PROGRAMA:	PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO <input checked="" type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Magister en Petróleos, Mención en Procesos de Producción e Industrialización de Hidrocarburos
RESUMEN:	El presente trabajo consiste en demostrar el proceso completo para un diseño y propuesta de mejora de tecnología y su aplicabilidad en un sistema de levantamiento artificial por


bombeo electrosumergible (BES) en pozos con alto grado de inclinación operados por Petroamazonas EP junto con la prestadora de servicio Alkhorayef Petroleum. Para el diseño del sistema BES se seleccionó el pozo TPTC-006 en el campo Tiputini C del Bloque 43 el cual tiene una inclinación de 49°. Esta pronunciada inclinación causó daños en la bomba actualmente instalada. Producto de lo antes descrito se tuvieron que realizar 4 workovers con sus costos implícitos y el lucro cesante que esto implica. Para el desarrollo del diseño del sistema BES se recopiló datos del pozo TPTC-006, presiones estáticas y fluyentes, datos petrofísicos de la arena M1, propiedades PVT de los fluidos, datos de producción y estado mecánico actual del pozo, el cual se detalla en la metodología. Para efectuar este diseño se calculó paso a paso el Índice productividad, TDH, PIP, número de etapas, tipo de cable, tamaño, tipo y longitud. Se construyó la curva de eficiencia de la bomba nueva WE- 5000 calculando el levantamiento, potencia y eficiencia de la bomba. El lector podrá comparar los cálculos manuales con un diseño elaborado mediante el software Sub Pump proporcionado por Alkhorayef Petroleum Company. Mediante una tabla comparativa con las bombas anteriormente instaladas, se analizó que la nueva bomba seleccionada para el pozo TPTC-006 es más eficiente, también se determinó que la diferencia entre un diseño manual y el diseño gestado mediante el software antes mencionado es mínima y ambos son aplicables para el caso de estudio. Además, se logró demostrar

	<p>las ventajas de la nueva tecnología de las bombas de la empresa patrocinadora versus la tecnología utilizada actualmente, así como el impacto económico de usar una tecnología que ha demostrado ser superior. Después del diseño realizado, se concluye que la bomba actual WE5500 tiene una eficiencia inferior a la que se proyecta que tendrá la bomba propuesta WE5000 (65% < 69.8%). Al ser más eficiente su requerimiento de energía será menor, es decir, el voltaje del motor actual es de 3 224 V y el del nuevo motor es de 1 860 V. La bomba propuesta es mucho más corta lo que proporcionará un ahorro en cuanto a la necesidad de workovers al disminuir los daños generados por el alto grado de inclinación del pozo, los cuales tienen un costo promedio de \$ 230 000 más el lucro cesante.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Bombeo Electrosumergible, Diseño Pozo alta Inclinación, Campo Tiputini.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The present work consists of demonstrating the complete process for a design and proposal of improvement of technology and its applicability in an artificial lifting system by electrosubmersible pumping (ESP) in wells with a high degree of inclination operated by Petroamazonas EP together with the service provider Alkhorayef Petroleum. For the design of the ESP system, the TPTC-006 well was selected in the Tiputini C field of Block 43 which has an inclination of 49 °. This steep inclination caused damage to the pump currently installed. As a result of the aforementioned, 4</p>

workovers had to be carried out with their implicit costs and the lost profits that this implies. Data from the TPTC-006 well, static and flowing pressures, petrophysical data of the M1 sand, PVT properties of the fluids, production data and current mechanical state of the well, which is detailed in the methodology, were collected for the development of the ESP system design. To carry out this design, the Productivity Index, TDH, PIP, number of stages, cable type, size, type and length were calculated step by step. The efficiency curve of the new WE-5000 pump was constructed by calculating the lift, power and efficiency of the pump. The reader will be able to compare manual calculations with a design developed using the Sub Pump software provided by Alkhorayef Petroleum Company. By means of a comparative table with the previously installed pumps, it was analyzed that the new pump selected for the TPTC-006 well is more efficient, it was also determined that the difference between a manual design and the design created by the aforementioned software is minimal and both are applicable to the case study. In addition, it was possible to demonstrate the advantages of the new pump technology of the sponsoring company versus the technology currently used, as well as the economic impact of using a technology that has proven to be superior. After the design carried out, it is concluded that the current WE5500 pump has a lower efficiency than the projected pump WE5000 will have ($65\% < 69.8\%$). Being more

	efficient your energy requirement will be lower, that is to say, the current motor voltage is 3 224 V and that of the new motor is 1 860 V. The proposed pump is much shorter which will provide savings in terms of the need for workovers by reducing the damage caused by the high degree of inclination of the well, which have an average cost of \$ 230 000 plus lost profits.
KEYWORDS	Submersible Pumping, Design, High Inclination Well, Tiputini Field.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f: _____

VÉLEZ VICHE MARÍA CRISTINA

0802823724

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **VÉLEZ VICHE MARÍA CRISTINA**, CI: **0802823724** autora del trabajo de titulación: **DISEÑO DE SISTEMA BES PARA POZOS DE ALTO GRADO DE INCLINACIÓN Y BAJO GRADO API DEL PETRÓLEO, MEDIANTE LA APLICACIÓN ADECUADA AL POZO TPTC-006 DEL BLOQUE 43** previo a la obtención del título de **MAGISTER EN PETRÓLEOS, MENCIÓN EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DE HIDROCARBUROS** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación de grado para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de titulación de grado con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, noviembre 2019



f: _____

VÉLEZ VICHE MARÍA CRISTINA

0802823724

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de titulación que lleva por título **DISEÑO DE SISTEMA BES PARA POZOS DE ALTO GRADO DE INCLINACIÓN Y BAJO GRADO API DEL PETRÓLEO, MEDIANTE LA APLICACIÓN ADECUADA AL POZO TPTC-006 DEL BLOQUE 43** para aspirar al título de **MAGISTER EN PETRÓLEOS, MENCIÓN EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN E INDUSTRIALIZACIÓN DE HIDROCARBUROS** fue desarrollado por **VÉLEZ VICHE MARÍA CRISTINA**, bajo mi dirección y supervisión, en la Maestría en Petróleos de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y que dicho trabajo cumple con las condiciones requeridas para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Jurado examinador que se designe.



Ing. Fausto René Ramos Aguirre, Mgt, MGH

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1705134102

Quito, noviembre 2019

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **JAIRO VERA** con cédula de identidad N.-1002521951 en calidad de Gerente General de ALKHORAYEF autorizo a **VÉLEZ VICHE MARÍA CRISTINA**, realizar la investigación para la elaboración de su proyecto de titulación “**DISEÑO DE SISTEMA BES PARA POZOS DE ALTO GRADO DE INCLINACIÓN Y BAJO GRADO API DEL PETRÓLEO, MEDIANTE LA APLICACIÓN ADECUADA AL POZO TPTC-006 DEL BLOQUE 43**”, basada en la información proporcionada por la compañía.



Alkhorayef Petroleum C
Firma del Contacto
SE-100252195-1

f: _____

VERA JAIRO

1002521951

CARTA DE CONFORMIDAD DE LA EMPRESA AUSPICIANTE



Where there is a WELL, there is a WAY... there is ALKHORAYEF

www.alkhorayefpetroleum.com

Quito, 17 Junio 2019

Ing. Fausto Ramos
COORDINADOR DE LA MAESTRIA EN PETROLEOS
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA E INDUSTRIA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Presente:


Dando respuesta a la solicitud de la Ingeniera Cristina Velez para desarrollar el tema para su trabajo de titulación en la maestría de petróleos: DISEÑO DE SISTEMA BES PARA POZOS DE ALTO GRADO DE INCLINACIÓN Y BAJO GRADO API DEL PETRÓLEO, MEDIANTE LA APLICACIÓN ADECUADA AL POZO TPTC-006 EN EL BLOQUE 43.

Expresamos lo siguiente:

1. La aceptación a conformidad del tema propuesto por parte del maestrante.
2. Compromiso de Petroamazonas EP a proporcionar información Técnica necesaria.
3. Autorización para utilizar los datos técnicos con debidas restricciones en el trabajo de titulación, que una vez que es aprobado para la graduación, es de información pública.

Estos compromisos se mantendrán hasta la culminación de este trabajo de titulación.

Atentamente


Ing. Luis Quiñonez
JEFE DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL
PETROAMAZONAS EP

DECLARACION JURAMENTADA DEL AUTOR

Yo, María Cristina Vélez Viche, portador(a) de la cédula de identidad N° 0802823724,

declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en ese documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



f: _____

VÉLEZ VICHE MARÍA CRISTINA

0802823724

DEDICATORIA

A mis padres Mónica Viche y Juan Vélez que con su amor, sabiduría y paciencia me apoyaron siempre y en todo momento para cumplir la meta. Los quiero.

A mi hermana mayor María Eugenia quien supo apoyarme en todos los momentos difíciles y supo enseñarme la mejor forma de estudiar y ser una buena persona siendo mi mayor ejemplo a seguir, Te quiero.

A mi hermana menor María Belén que siempre estuvo a mi lado brindándome cariño y amor, te agradezco por escuchar mis dramas sin sentido una y otra vez, Te adoro.

A mis dos sobrinas preciosas Mónica y Dahara fueron mis más grandes motivos de terminar más rápido este proyecto, Las amo.

A mi hija Danielita que viene en camino, la amo.

¡¡ Lo Logramos Familia!!

Cristina V.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, quien me ha guiado con su amor espiritual en cada momento de mi vida para poder llegar a culminar una de mis metas. GRACIAS DIOS.

A mis papitos que con sus sabios consejos y apoyo incondicional me dieron las fuerzas necesarias para estudiar y terminar mi carrera. GRACIAS PAPITOS.

A mis hermanitas que siempre confiaron en mí. GRACIAS ÑAÑITAS.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial, autoridades y docentes que con su experiencia supieron enseñarme los conocimientos necesarios para enfrentar los problemas en la industria.

A mi querida empresa Alkhorayef., que me dio la oportunidad de trabajar y vivir experiencias únicas en la vida laboral y a mis jefes Jesús Viloría y Jairo Vera que con sus conocimientos me ayudaron a lograr mi objetivo.

A mi tutor el Ing. Fausto Ramos y mis asesores Ing. Luis Calle, Ing. Iván Andrade que me supieron dar su tiempo y dedicación transmitiéndome sus conocimientos para llegar a la meta.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
ÍNDICE DE CONTENIDOS	i
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2. METODOLOGÍA	12
2.1. DISEÑO DE BOMBA BES	12
2.1.1. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS DISPONIBLES	13
2.1.1.1. Datos del Pozo	13
2.1.1.2. Datos de Producción	13
2.1.1.3. Características de los Fluidos & Propiedades PVT	13
2.1.1.4. Datos de Energía Eléctrica	14
2.1.2. PASOS PARA EL DISEÑO DE BOMBA BES	14
2.1.2.1. Analizar los Datos e Identificar el Tipo de Problema.	14
2.1.2.2. Determinar la gravedad específica y el gradiente de presión del fluido.	15
2.1.2.3. Determinar la presión de succión de la bomba o la profundidad de asentamiento de la bomba.	15
2.1.2.4. Determinar la temperatura de admisión de la bomba.	16
2.1.2.5. Determinar las propiedades PVT y las condiciones del fluido en la admisión de la bomba.	17
2.1.2.6. Determinar la tasa de flujo total a las condiciones de la admisión de la bomba.	17
2.1.2.7. ¿Necesitaremos un separador de gas?	18
2.1.2.8. Fracción de gas que ingresa a la bomba.	18
2.1.2.9. Tasa de flujo volumétrico total ingresando a la bomba.	19

	PÁGINA
2.1.2.10. Determinar la Carga Dinámica Total (Total Dynamic Head).	19
2.1.2.11. Seleccionar una bomba y determinar el número de etapas.	20
2.1.2.12. Determinar el requerimiento de potencia para el motor.	20
2.1.2.13. Seleccionar un motor del catálogo.	21
2.1.2.14. Seleccionar el cable eléctrico para esta aplicación.	21
2.1.2.15. Selección del Transformador	22
2.2. DISEÑO DE BOMBA BES MEDIANTE SIMULACIÓN SOFTWARE SUB PUMP V9.91	23
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1. RESULTADOS DISEÑO MANUAL	24
3.1.1. DISCUSIONES PASO 1	26
3.1.2. DISCUSIONES PASO 2	26
3.1.3. DISCUSIONES PASO 3	26
3.1.4. DISCUSIONES PASO 4	26
3.1.5. DISCUSIONES PASO 5	26
3.1.6. DISCUSIONES PASO 6	26
3.1.7. DISCUSIONES PASO 7	27
3.1.8. DISCUSIONES PASO 8	27
3.1.9. DISCUSIONES PASO 9	27
3.1.10. DISCUSIONES PASO 10	27
3.1.11. DISCUSIONES PASO 11	27
3.1.12. DISCUSIONES PASO 12	28
3.1.13. DISCUSIONES PASO 13	29
3.1.14. DISCUSIONES PASO 14	30
3.1.15. DISCUSIONES PASO 15	30
3.2 RESULTADOS DISEÑO CON SOFTWARE SUB PUMP	31
3.2.TABLA COMPARATIVA BOMBA ACTUAL VS BOMBA PROPUESTA	34
3.3. ANÁLISIS ECONÓMICO	34
3.3.1. IMPACTO ECONOMICO DE LOS WORKOVERS	35

	PÁGINA
3.4. SISTEMA BES FINAL	37
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
4.1. CONCLUSIONES	37
4.2. RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	41

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Ubicación pozo y configuración mecánica.	7
Tabla 2. Especificación Bomba WE-5500.	8
Tabla 3. Datos requeridos para diseño BES Pozo TPTC-006.	24
Tabla 4. Tabla final de resultados para la Bomba WE5000	25
Tabla 5. Comparativo de Bombas WE5000 y WE 5500.	34
Tabla 6. Costo bomba WE5500.	35
Tabla 7. Costo bomba WE5000.	35
Tabla 8. Costo total workovers	36
Tabla 9. Resultados BES Final.	38

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Mapa ubicación geográfica bloque 43 (ITT).	5
Figura 2. Ubicación de los pozos de la plataforma Tiputini C en el mapa estructural al tope de la arenisca M1.	6
Figura 3. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible.	9
Figura 4. Curvas de pérdidas por fricción.	20
Figura 5. Head/etapa bomba actual (WE5500) vs bomba propuesta (WE5000).	28
Figura 6. HP/etapa bomba actual (WE5500) vs bomba propuesta (WE5000).	29
Figura 7. Gráfica de pérdida de voltaje en el cable.	30
Figura 8. Captura de pantalla – Resultados software Sub Pump.	31
Figura 9. Gráficas de simulación de desempeño de la bomba. Software Sub Pump.	32
Figura 10. Curvas estándar de la bomba WE5000 (según catálogo). Software Sub Pump.	32
Figura 11. Curvas de desempeño del motor	33
Figura 12. Gráficas de proyección de desempeño de la bomba a 1 año. Software Sub Pump.	33
Figura 13. Completación ESP WE5000.	37

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. CAPTURAS SOFTWARE SUB PUMP	41
ANEXO 2. IMPUT DISEÑO BES PROPUESTO	51
ANEXO 3. DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA SELECCIONADO	52
ANEXO 4. SURVEY DE POZO TPTC-006	53

RESUMEN

El presente trabajo consiste en demostrar el proceso completo para un diseño y propuesta de mejora de tecnología y su aplicabilidad en un sistema de levantamiento artificial por bombeo electrosumergible (BES) en pozos con alto grado de inclinación operados por Petroamazonas EP junto con la prestadora de servicio Alkhorayef Petroleum. Para el diseño del sistema BES se seleccionó el pozo TPTC-006 en el campo Tiputini C del Bloque 43 el cual tiene una inclinación de 49°. Esta pronunciada inclinación causó daños en la bomba actualmente instalada. Producto de lo antes descrito se tuvieron que realizar 4 workovers con sus costos implícitos y el lucro cesante que esto implica. Para el desarrollo del diseño del sistema BES se recopiló datos del pozo TPTC-006, presiones estáticas y fluyentes, datos petrofísicos de la arena M1, propiedades PVT de los fluidos, datos de producción y estado mecánico actual del pozo, el cual se detalla en la metodología. Para efectuar este diseño se calculó paso a paso el Índice productividad, TDH, PIP, número de etapas, tipo de cable, tamaño, tipo y longitud. Se construyó la curva de eficiencia de la bomba nueva WE- 5000 calculando el levantamiento, potencia y eficiencia de la bomba. El lector podrá comparar los cálculos manuales con un diseño elaborado mediante el software Sub Pump proporcionado por Alkhorayef Petroleum Company. Mediante una tabla comparativa con las bombas anteriormente instaladas, se analizó que la nueva bomba seleccionada para el pozo TPTC-006 es más eficiente, también se determinó que la diferencia entre un diseño manual y el diseño gestado mediante el software antes mencionado es mínima y ambos son aplicables para el caso de estudio. Además, se logró demostrar las ventajas de la nueva tecnología de las bombas de la empresa patrocinadora versus la tecnología utilizada actualmente, así como el impacto económico de usar una tecnología que ha demostrado ser superior. Después del diseño realizado, se concluye que la bomba actual WE5500 tiene una eficiencia inferior a la que se proyecta que tendrá la bomba propuesta WE5000 ($65\% < 69.8\%$). Al ser más eficiente su requerimiento de energía será menor, es decir, el voltaje del motor actual es de 3 224 V y el del nuevo motor es de 1 860 V. La bomba propuesta es mucho más corta lo que proporcionará un ahorro en cuanto a la necesidad de workovers al disminuir los daños generados por el alto grado de inclinación del pozo, los cuales tienen un costo promedio de \$ 230 000 más el lucro cesante.

Palabras Clave: Bombeo Electrosumergible, Diseño, Pozo alta Inclinación, Campo Tiputini.

ABSTRACT

The present work consists of demonstrating the complete process for a design and proposal of improvement of technology and its applicability in an artificial lifting system by electrosubmersible pumping (ESP) in wells with a high degree of inclination operated by Petroamazonas EP together with the service provider Alkhorayef Petroleum. For the design of the ESP system, the TPTC-006 well was selected in the Tiputini C field of Block 43 which has an inclination of 49 °. This steep inclination caused damage to the pump currently installed. As a result of the aforementioned, 4 workovers had to be carried out with their implicit costs and the lost profits that this implies. Data from the TPTC-006 well, static and flowing pressures, petrophysical data of the M1 sand, PVT properties of the fluids, production data and current mechanical state of the well, which is detailed in the methodology, were collected for the development of the ESP system design. To carry out this design, the Productivity Index, TDH, PIP, number of stages, cable type, size, type and length were calculated step by step. The efficiency curve of the new WE-5000 pump was constructed by calculating the lift, power and efficiency of the pump. The reader will be able to compare manual calculations with a design developed using the Sub Pump software provided by Alkhorayef Petroleum Company. By means of a comparative table with the previously installed pumps, it was analyzed that the new pump selected for the TPTC-006 well is more efficient, it was also determined that the difference between a manual design and the design created by the aforementioned software is minimal and both are applicable to the case study. In addition, it was possible to demonstrate the advantages of the new pump technology of the sponsoring company versus the technology currently used, as well as the economic impact of using a technology that has proven to be superior. After the design carried out, it is concluded that the current WE5500 pump has a lower efficiency than the projected pump WE5000 will have (65% < 69.8%). Being more efficient your energy requirement will be lower, that is to say, the current motor voltage is 3 224 V and that of the new motor is 1 860 V. The proposed pump is much shorter which will provide savings in terms of the need for workovers by reducing the damage caused by the high degree of inclination of the well, which have an average cost of \$ 230 000 plus lost profits.

Keywords: Submersible Pumping, Design, High Inclination Well, Tiputini Field.

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto de titulación dará un aporte a la industria petrolera en el área de producción de Hidrocarburos y será de utilidad para el departamento de Levantamiento Artificial de Petroamazonas debido a que la implementación de este diseño electrosumergible con una bomba más corta y eficiente para pozos con alto grado de inclinación y bajo grado API de petróleo.

Para Alkhorayef Petroleum, el desarrollo del Bloque 43 y mantener la producción cuidando la integridad de los equipos electrosumergibles es muy importante como empresa de servicio; es por ello que mediante el análisis de las variables y parámetros del pozo TPTC-006 del Bloque 43 se diseñará el sistema BES más adecuado tomando en cuenta que el reservorio se encuentra a profundidades relativamente someras (TVD < 6 000 pies), lo que implicó la construcción de trayectorias con tangentes largas (Almeida, 2017).

Estos pozos tienen ángulos de inclinación entre 28° a 50° esto involucra retos para las empresas que proveen equipos electrosumergibles.

Como parte de la innovación tecnológica y pensando en los nuevos desafíos en el Bloque 43 operado por Petroamazonas EP, en dónde por la geometría del pozo requiere un sistema más corto y eficiente, Alkhorayef cuenta con la nueva bomba WE-5000 que vienen en etapas de 62 y 92. Estas bombas pueden ser utilizadas con motor de 391 Hp.

En Ecuador, para la mayoría de las aplicaciones se necesitan equipos que puedan manejar alto caudal para crudo pesados; esto debe evaluarse para estimar el uso de una nueva tecnología en comparación con los equipos que actualmente se están instalando.

Con el software SUB PUM se verificará que todos los cálculos realizados se cumplan para el sistema BES que más se ajuste a las condiciones operativas del pozo con alto grado de inclinación y bajo grado API del Petróleo.

El diseño de un conjunto BES, al igual que otros métodos de levantamiento artificial, no es una ciencia exacta e involucra un gran número de factores, este varía con las condiciones mecánicas del pozo, características del reservorio y los fluidos que van a ser bombeados. Debido a esto, es importante obtener información detallada acerca del pozo y la historia de producción. La obtención de data confiable antes de realizar un buen diseño del set de los equipos BES a usar. Una vez que el equipo BES ha sido diseñado y su operación ha sido monitoreada adecuadamente, el equipo instalado empieza a ser relativamente económico y libre de problemas.

Este proyecto de titulación pretende aumentar el run life de los equipos electrosumergibles instalados en el Bloque 43 en base a los problemas presentados durante y después de la instalación del Equipo BES en pozos de alto ángulo de inclinación y un API de 14.0 mediante el uso de correlaciones

matemáticas y el uso de simuladores de compañías prestadora de servicios permitirá demostrar los resultados deseados.

En los campos del Bloque 43, operados por Petroamazonas EP existen problemas como: altos cortes de agua de formación (90%), presiones de fondo fluyente bajas, reducción de la tasa producción de petróleo, alto grado de inclinación, tubería de producción de 3 ½ pulgadas, trayectoria de pozos con altos Dog Legs y un crudo de 14.4 grado API, además de otros factores que generan altos costos operativos en los sistemas de levantamiento artificial. (Rivera, 1998).

Por el problema antes descrito, en el pozo TPTC-006 la bomba instalada actualmente (WE-5500) no es la adecuada, es decir es muy grande para pozo de alto grado de inclinación (49°), esto ha provocado que la empresa deba realizar un promedio de 4 workovers al año, por causa de daños a un costo promedio de \$230 000 por cada WO; sumado a esto, la operadora Petroamazonas EP, deja de percibir por la producción de 10 días de para de producción del pozo lucro cesante.

La investigación en este proyecto tiene como finalidad mostrar una comparación en el diseño de sistema BES en una nueva bomba más eficaz a las bombas anteriormente instaladas beneficiando en gran medida a la empresa estatal Petroamazonas EP. Esto brindará a futuro el aumento de la tasa producida y disminución de costos operativos además de eliminar limitantes de diseño y operación en los sistemas de levantamiento artificial debidas a la instalación en pozos horizontales, bloqueos por gas entre otros.

El término workover es usado para referirse al mantenimiento y reparación del pozo en el cual se utilizan varios servicios y materiales dependiendo del tipo de reacondicionamiento que se va a realizar con el fin de incrementar la producción de petróleo de los pozos. La gravedad API varía de 10.0 a 14.0; y la trayectoria de pozo con alto ángulo; la temperatura de fondo de 110° a 290° F; la salinidad del agua producida varía entre 5 000 ppm y 150 000 ppm de cloruros; los índices de productividad entre 0.2 a 60 bfpd/psi. Debido a todas estas dificultades operacionales, la empresa estatal Petroamazonas EP), siente la necesidad de bajar equipos que se adapten a estas condiciones de los pozos, siendo necesario que se presente propuestas de diseño con nuevas tecnologías de equipos de levantamiento artificial para manejar estas condiciones adversas en forma económica.

Petroamazonas EP. Empresa pública ecuatoriana dedicada a la exploración y producción de hidrocarburos, opera en veintiún (21) bloques, dieciocho (18) ubicados en la Cuenca Oriente del Ecuador y tres (3) en la zona del Litoral. (Petroamazonas, 2017)

Alkhorayef Petroleum Co. (APC) compañía líder en el medio oriente en BES con servicios y productos únicos en el mercado y grandes ventajas Competitivas.

El bloque 43 está ubicado al este de la región Amazónica, en la provincia de Orellana, cantón Francisco de Orellana, abarca una superficie de 189 889 Hectáreas aproximadamente. (Petroamazonas, 2017)

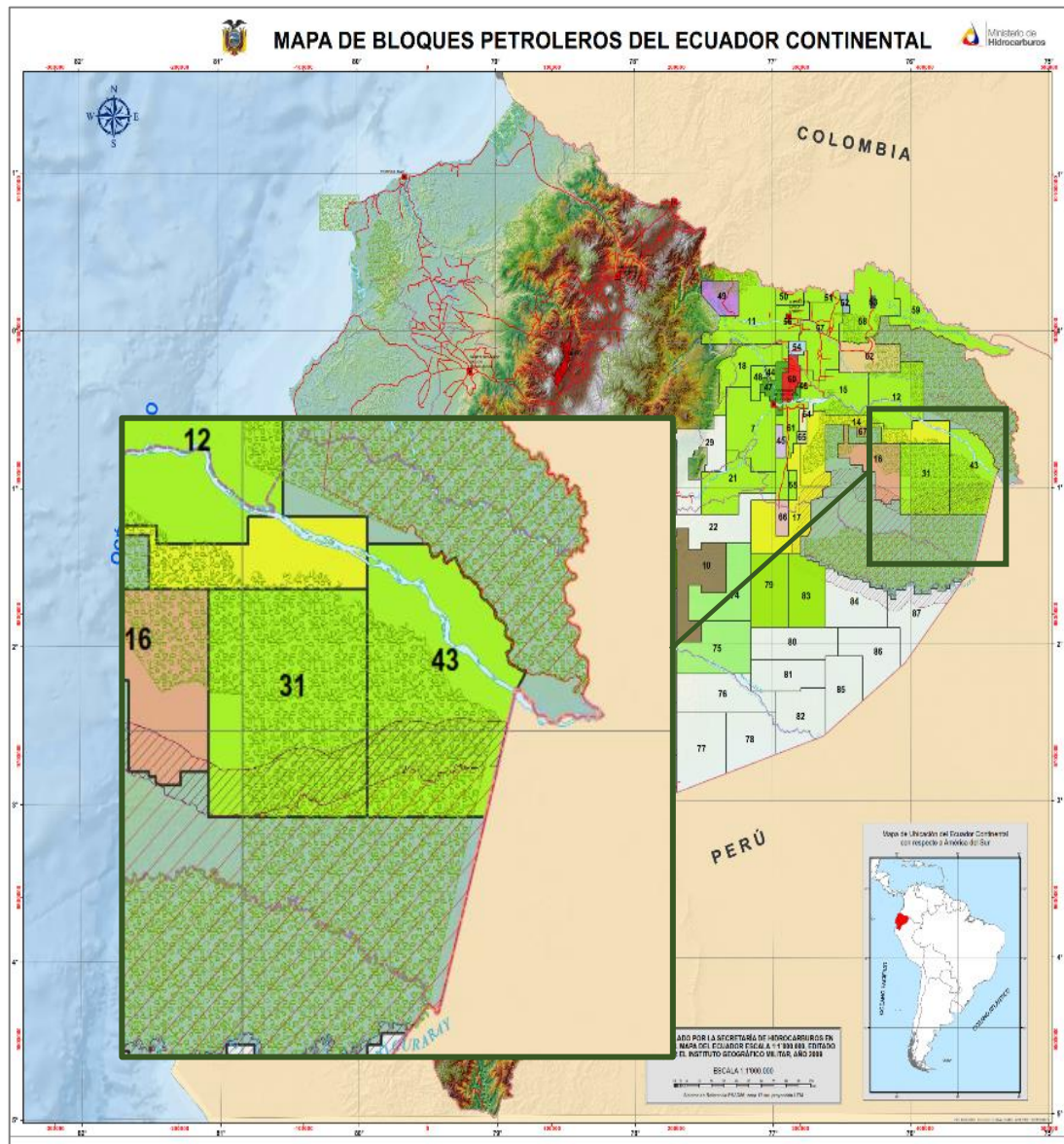


Figura 1. Mapa ubicación geográfica bloque 43 (ITT).

(Secretaría de Hidrocarburos del Ecuador, 2012)

La figura 2 muestra la selección de los pozos objetivos a perforar para pozos productores durante la campaña de perforación, mapeados al tope de la arenisca M1, siendo el objetivo geológico en este campo.

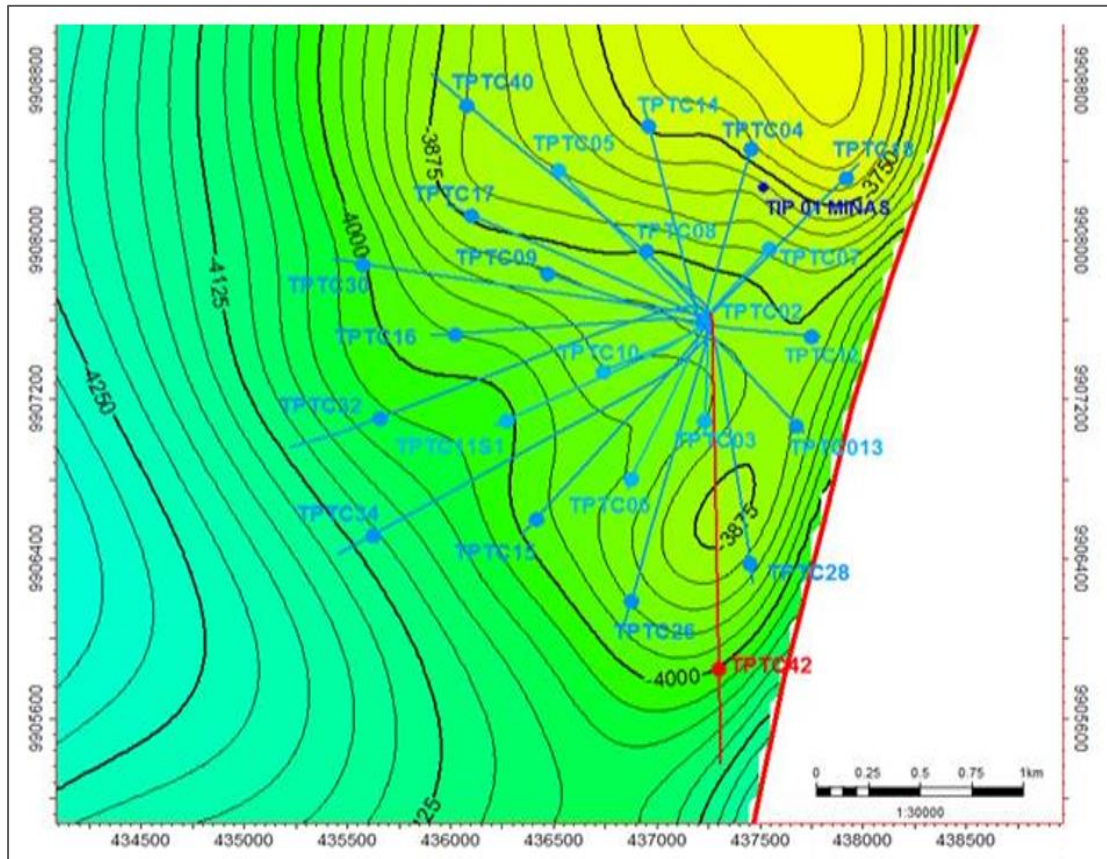


Figura 2. Ubicación de los pozos de la plataforma Tiputini C en el mapa estructural al top de la arenisca M1. (Petroamazonas EP, 2019)

Como puede observarse en la figura 2, los objetivos tienden a distanciarse, es por eso que existió la necesidad de realizar pozos de mayor inclinación y tangentes largas, situación que complica la perforación en presencia de formaciones inestables como es el caso de la lutita encontrada en la formación Orteguaza.

El pozo TPTC-006 se ubica al oeste de una falla regional que atraviesa de Norte a sur el campo. Durante la perforación TPTC-005 y TPTC-006, pozos de mayor ángulo de inclinación, se experimentaron problemas en los viajes de tubería, empaquetamientos de la sarta de perforación y retornos a superficie de grandes bloques de lutitas recubiertos de cortes plásticos de arcillolita de formaciones más someras (Almeida, 2010).

Se han implantado hasta el momento 40 pozos perforados en el área Tiputini con la metodología de racimo, que ubica varios pozos en una misma plataforma, incrementando la productividad del campo y, sobre todo, optimizando el espacio en superficie. Otro avance tecnológico lo marca el inicio de la perforación horizontal desde la plataforma Tiputini A (Petroamazonas, 2017).

La perforación direccional es común en yacimientos de lutitas al permitir que los perforadores logren que el pozo contacte la roca prospectiva más productiva (Almeida, 2010).

El ambiente de depositación hacia la base, parece corresponder a canales fluviales, lo que se confirma por la ausencia total de fósiles marinos en varias muestras analizadas. Es una arenisca transgresiva que culmina con lutitas de ambiente marino somero reductor (Labogeo, 1995).

El Pozo TPCT-006 se encuentra en la plataforma Tiputini C del Bloque 43. La producción de este pozo a la fecha es de 6 070 bfpd de fluido, de los cuales 607 barriles de petróleo por día y 5 463 barriles de agua producida por día, lo que evidencia un de corte de 90%. El petróleo tiene un API de 14.4 (Petroamazonas, 2019).

Tabla 1. Ubicación pozo y configuración mecánica.

País	Ecuador
Cliente	Petroamazonas EP
Bloque	Bloque 43
Campo	Tiputini
Nombre Pozo	TPTC-006
Tipo Pozo	Direccional
Max Grado Desviación	49,4 @ 2 896 pies
Profundidad Medida del Pozo	6 004 pies
Tipo Liner	7 pulgadas, 26 libra/pie
Profundidad Superior Liner (MD)	5 380 pies
Casing	9 5/8 pulgadas, 53.5 libra/pie
Zona Productora	" M1 "
Prof. Del intervalo Zona Productora (MD)	5 674 @ 5 705
Profundidad Intake MD (FT)	5 365 pies

(Petroamazonas, 2019)

Tabla 2. Especificación Bomba WE-5500.

Especificación Bomba WE-5500	
Bomba	Fabricante: APC Modelo: WE5500 No. Etapas: 164
Motor	Fabricante: APC Modelo: MOTOR, 560 SERIES, UT, XT1, 287HP, 1 860V, 92.6 ^a , FH Voltaje: 3 720 V Amperaje: 92,6 A Potencia: 574 Hp
Transformador Elevador	KVA / 520 KVA / MAGNETRON Fabricante: Serial No.: 290963
Cable	Tipo: ESP Cable, 5KV, 2 AWG Solid Copper, Tube 3/8" SST GALVANIZED STEEL Longitud: 5413,31
VSD	Serial No.: 79 779 Modelo: TRIOL AK06-MM-630-310231-480 Amperaje: 630 A KVA: 520 KVA
Otros	Temperatura Fluido: 164 °F Presión Intake: 848 psi Temperatura Motor: 166 °F Generación: SI

(Alkhorayef, 2019)

Actualmente, existen pocos pozos terminados, en nuestro país, que poseen aun la suficiente energía en el yacimiento para que el flujo llegue hasta superficie a una tasa que sea rentable y esta energía de levantamiento es producida fundamentalmente por el mecanismo de empuje natural (Empuje hidráulico, usualmente en Ecuador) que tiene cada yacimiento en particular.

Como consecuencia de la producción de hidrocarburos se disminuye la presión del yacimiento por lo que se hace necesario proporcionar energía externa para levantar el fluido desde los yacimientos hasta el centro de producción.

Las soluciones de levantamiento artificial BES se centran en la optimización de la producción de pozos con tasas de flujo totales menores a 150 bpd. La intención es extender la vida útil tardía del campo al proporcionar un sistema de bomba altamente flexible que requiere poca mano de obra para mantener u operar y extender los intervalos de servicio del pozo, reducir el trabajo sobre

el costo (proteger los tubos y eliminar el reemplazo de varillas o tubos) y la duración.

Cuando el pozo deja de producir por flujo natural, se requiere el uso de una fuente externa de energía para ajustar la oferta con la demanda de energía.

Se considera un método de levantamiento artificial que utiliza una bomba centrífuga ubicada en el subsuelo para levantar los fluidos aportados por el yacimiento desde el fondo del pozo hasta la estación de flujo.

Este sistema tiene la capacidad para levantar altas tasas de producción, viscosidad del petróleo: crudo pesado (parafina, resinas, asfaltenos). BES puede sobrevivir el recorrido máximo a través de severidades de ángulo DLS y puede operar en secciones de pozo con DLS de 3 ° / 30 pies hasta 60 grados de inclinación, pozos con contenido de gas (GOR) – Petróleo ligero (750 pie³ estandar / bbl), corte de agua 0% -100%.

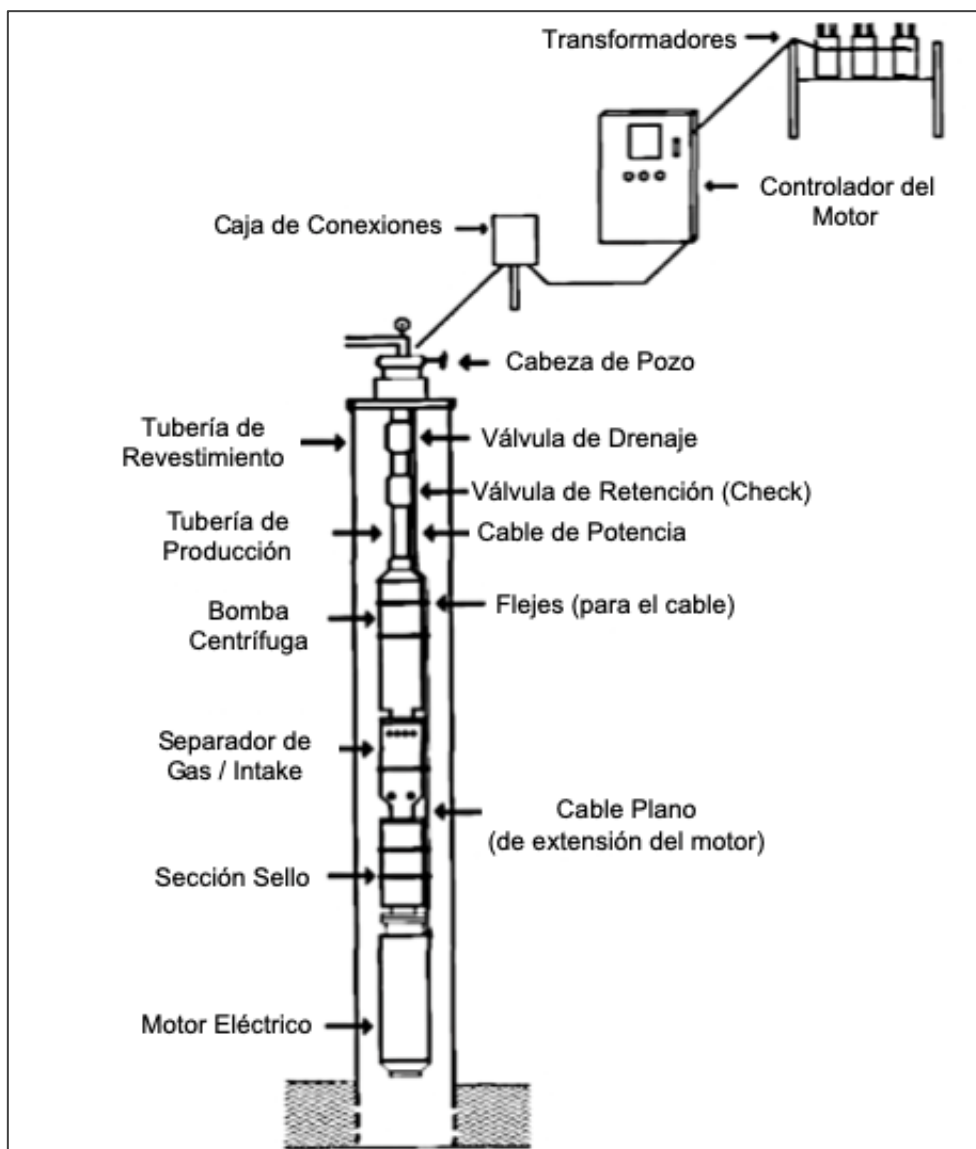


Figura 3. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible
(Baker Hughes, 2000)

En la figura 3 se muestran los principales componentes y las funciones que desempeñan dentro del sistema de bombeo electro sumergible.

La instalación de un sistema BES se divide en equipos de subsuelo y equipos de superficie.

Equipos de Subsuelo. - El equipo de fondo cuelga de la tubería de producción y cumple la función de levantar la columna de fluido necesaria para producir el fluido que se encuentra en el pozo, consiste principalmente de:

- Sensor de fondo
- Motor Eléctrico
- Protector
- Intake o Separador de gas
- Bomba Centrífuga
- Cable de potencia
- Otros (Adaptadores, Camisas, Guías de motor)

Equipo de superficie. - provee de energía eléctrica al motor electrosumergible y controla su funcionamiento. Los principales componentes de superficie son:

- Transformador
- Variador de frecuencia
- Caja de venteo
- Cable eléctrico para alta tensión
- Cabezal del pozo

El sistema BES que se está proponiendo, proporciona una producción continua en entornos difíciles y comportamiento de flujo no convencional. Este sistema proporciona producción continua en una amplia gamma de caudales a medida que disminuye la producción. Su diseño preconfigurado de fábrica reduce drásticamente el tiempo de montaje en la torre de acondicionamiento y mejora la fiabilidad del sistema en condiciones extremas de baja producción.

Su diseño de compresión re-diseñado disminuye la erosión de la etapa, haciéndola capaz de manejar la producción y condiciones abrasivas de gas o de sólidos. Estas Bombas permiten manejar una alta fracción de volumen de gas para maximizar la eficiencia de rendimiento y vida útil.

En conclusión, este sistema BES está diseñado para un comportamiento de flujo impredecible y ambientes no convencionales. El uso de la geometría de esta etapa optimizada, la arquitectura única y selección de materiales de alta calidad permiten que esta bomba funcione con gran eficiencia debido a su amplio rango de operación.

Para la realización del presente trabajo, se han planteado los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de Bombeo Electrosumergible para pozos con alto grado de inclinación y bajo grado API del petróleo mediante la aplicación de una bomba más corta y eficiente utilizando el Software Sub Pump patentado por la empresa Alkhorayef.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar datos del pozo TPTC-006, estado mecánico, producción, presiones estáticas y fluyentes, características de los fluidos a producir y petrofísicos, mecanismos de empuje del yacimiento, etc del Bloque 43.
- Calcular el Índice productividad, TDH, PIP, numero de etapas, tipo de cable, tamaño, tipo y longitud.
- Construir la curva de eficiencia de la Bomba WE 5000 calculando el levantamiento, potencia y eficiencia de la bomba.
- Diseñar el tipo de bomba a ser utilizada en este proyecto de investigación, por medio del software Sub Pump de Alkhorayef Petroleum usando la información real del pozo TPTC-006.
- Analizar y comparar la nueva bomba seleccionada a ser utilizada en el pozo TPTC-006 con las bombas anteriormente instaladas.

2. METODOLOGÍA

2.1. DISEÑO DE BOMBA BES

El bombeo electrosumergible es el principal sistema de levantamiento artificial utilizado en el bloque 43 por lo cual su confiabilidad es un reto grande por problemas presentados en los revestimientos por fallas de estos o desviación muy altas.

El diseño de una instalación de bombeo electrosumergible, al igual que otros métodos de levantamiento artificial involucra numerosos factores. El procedimiento varía considerablemente con las condiciones del pozo y con los fluidos que van a ser extraídos. Es muy importante la información detallada acerca del estado mecánico del pozo, la historia de la producción, presiones estáticas y fluyentes, características de fluidos a producir y petrofísicas. La recolección de buenos datos antes de realizar el diseño de una instalación de BES es esencial para un diseño exitoso.

Una vez que el equipo de bombeo electrosumergible ha sido diseñado correctamente y su operación ha sido monitoreada adecuadamente, el equipo instalado empieza a ser relativamente económico y libre de problemas. Los procedimientos de diseño incorporados en esta sección representan uno de los métodos de diseño para instalaciones de bombeo electrosumergible y no necesariamente representa todos los métodos usados en la industria de este tipo de producción.

Previamente se considera que todos los datos necesarios han sido recolectados. Es importante comenzar esta sección acerca del diseño del equipo con una discusión sobre los datos requeridos para el diseño correcto de una instalación de un equipo electrosumergible. La selección de una unidad Bombeo electrosumergible, en la mayoría de las condiciones, no es una tarea difícil, especialmente si los datos son confiables. Pero si la información, especialmente la pertinente a la capacidad del pozo, es pobre, el diseño generalmente será marginal. Los datos erróneos frecuentemente traen como resultado una bomba mal diseñada y una operación costosa. Una bomba mal seleccionada puede funcionar fuera del rango recomendado, sobrecargando el motor o haciéndolo trabajar por debajo de la carga o bajar muy rápidamente el nivel del pozo trabajando con un gasto excesivo que puede causar daño en la formación. Por otra parte, la bomba puede que no sea lo suficientemente grande para proporcionar el rango de producción deseado.

2.1.1. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS DISPONIBLES

Este es el primer paso y el más importante en la selección del equipo de bombeo electrosumergible. La información obtenida del análisis tendrá un efecto significativo en la selección, lo mismo que en el rendimiento real del equipo. Por lo tanto, la importancia de este paso no puede ser exagerado y, desafortunadamente, es común que se le preste poca atención a la recolección y análisis adecuado de los datos.

A continuación, se encuentra una lista con los datos requeridos para el dimensionamiento de la bomba electrosumergible.

2.1.1.1. Datos del Pozo

- Diámetro casing
- Diámetro tubing
- Peso casing
- Peso tubing
- Profundidad de disparos
- Profundidad de asentamiento de la bomba
- Profundidad de asentamiento de la bomba vertical
- Gradiente geotérmico

2.1.1.2. Datos de Producción

- Presión de tubería en la cabeza del pozo
- Presión de fondo fluyente
- Presión de reservorio
- Índice de productividad
- Temperatura fondo del pozo
- Tasa de producción
- Tasa de producción deseada
- Relación gas-petróleo (GOR)
- Corte de agua

2.1.1.3. Características de los Fluidos & Propiedades PVT

- Gravedad específica del agua
- Gravedad API del petróleo
- Gravedad específica del gas
- Viscosidad del petróleo

- Capacidad calórica del petróleo
- Capacidad calórica del agua
- Presión de burbuja

2.1.1.4. Datos de Energía Eléctrica

- Voltaje primario disponible
- Frecuencia
- Capacidad de la fuente de potencia

El procedimiento de selección a utilizarse varía significativamente según las condiciones de producción y las propiedades del fluido del pozo. Para este trabajo nos enfocaremos únicamente en el caso de “pozos con alto grado de inclinación y alto corte de agua y bajo API de petróleo.

2.1.2. PASOS PARA EL DISEÑO DE BOMBA BES

A continuación, se enumera cada uno de los pasos a seguir para la metodología propuesta.

2.1.2.1. Analizar los Datos e Identificar el Tipo de Problema.

La viscosidad del petróleo es baja (40 cP) y el corte de agua es alto (90%), de modo que no deberíamos tener problemas de emulsiones. Basándonos en las dos razones, no se necesita realizar correcciones de viscosidad. Por otra parte, la relación gas – petróleo es baja y con un corte de agua del 90% el GLR es aún más bajo.

$$GLR = GOR * (1 - fw) \quad [1]$$

Donde:

- GLR: relación gas-líquido (pie³/bbl)
 GOR: relación gas-petróleo (pie³/bbl)
 fw: corte de agua (%)

Se puede diseñar el sistema despreciando los efectos por viscosidad y los efectos por presencia de gas libre.

2.1.2.2. Determinar la gravedad específica y el gradiente de presión del fluido.

$$SG_o = \frac{141,5}{131,5 + API} \quad [2]$$

Donde:

SG_o : gravedad específica del petróleo

API : gravedad API del petróleo

$$SG = f_o SG_o + f_w SG_w = (1 - f_w) SG_o + f_w SG_w \quad [3]$$

Donde:

SG : gravedad específica del fluido

SG_w : gravedad específica del agua

f_o : fracción de petróleo (%)

$$\nabla P = 0,433 SG \quad [4]$$

Donde:

∇P : gradiente de presión (psi/pie)

2.1.2.3. Determinar la presión de succión de la bomba o la profundidad de asentamiento de la bomba.

En este caso, dado que el corte de agua es alto y el GOR es bajo, el comportamiento de línea recta entre la tasa de flujo y la presión de fondo fluyente puede ser usado:

$$P_{wf} = P_r - \frac{q}{J} \quad [5]$$

Donde:

P_{wf} : presión de fondo fluyente (psi)

P_r : presión estática del reservorio (psi)

q : caudal (stb/d)

J : índice de productividad (bpd/psi)

$$PIP = P_{wf} - \nabla P (\text{Profundidad Pozo} - \text{Profundidad Asentamiento Bomba})$$

2.1.2.4. Determinar la temperatura de admisión de la bomba.

Usando la correlación de Shiu y tomando en consideración el efecto del motor:

$$PIT = BHT - \nabla T [Z - A(1 - e^{-Z/A})] + \Delta T_{motor} \quad [6]$$

Donde:

PIT: temperatura de admisión de la bomba (°F)

BTH: temperatura de fondo del pozo (°F)

∇T : gradiente de temperatura (°F/pie)

Z: profundidad pozo – profundidad asentamiento de bomba (pie)

A: distancia de relajación (pie)

ΔT_{motor} : diferencial de temperatura del motor (°F)

La distancia de relajación la calcularemos mediante la siguiente fórmula:

$$A = W_{tot}^{0,5253} \rho_L^{2,9303} d^{-0,2904} SG_o^{0,2608} SG_w^{4,4146} e^{-4,2051} \quad [7]$$

Donde:

W_{tot} : tasa de flujo másico total (lbm/sec)

d: diámetro interno de la tubería (pulgadas)

ρ_L : densidad del líquido a temperatura tanque almacenamiento (lbm/pie³)

SG_o : gravedad específica del petróleo

SG_w : gravedad específica del agua

El diferencial de temperatura del motor la calcularemos mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta T_{motor} = \frac{h(1 - E_m)}{778 \cdot C \cdot E_p \cdot E_m} \quad [8]$$

Donde:

E_m : eficiencia del motor (%)

E_p : eficiencia de la bomba (%)

C: capacidad calorífica del líquido (BTU/lbm °F)

h: profundidad cabeza de la bomba (pie)

La capacidad calorífica del líquido se calculó con la siguiente fórmula:

$$C = (1 - f_w)C_o + f_w C_w \quad [9]$$

Donde:

C_o : capacidad calorífica del petróleo (BTU/lbm °F)

C_w : capacidad calorífica del agua (BTU/lbm °F)

2.1.2.5. Determinar las propiedades PVT y las condiciones del fluido en la admisión de la bomba.

$$R_s = SG_g * \left[\frac{PIP}{18} * \frac{10^{0,0125API}}{10^{0,00091.PIT(^{\circ}F)}} \right]^{1,2048} \quad [10]$$

Donde:

R_s : relación gas petróleo (pie³/bbl)

SG_g : gravedad específica del gas

$$\beta_o = 0,972 + 0,000147 * \left[R_s \left(\frac{SG_g}{SG_o} \right) + 1,25.PIT \right]^{1,175} \quad [11]$$

Donde:

β_o : factor volumétrico del petróleo (bbl/stb)

$$\beta_g = 0,02827 \frac{Z.PIT[R]}{PIP[psia]} = 0,02827 \frac{Z.(PIT + 459,67)}{PIP + 14,7} \quad [12]$$

Donde:

β_g : factor volumétrico del gas (pie³/pie³N)

$$\beta_w = 1 + 1,2 * 10^{-4}(PIT - 60) + 1 * 10^{-6}(PIT - 60)^2 - 3,33 * 10^{-6}PIP$$

Donde:

β_w : factor volumétrico del agua (bbl/stb)

2.1.2.6. Determinar la tasa de flujo total a las condiciones de la admisión de la bomba.

$$Q_{tot} = Q_L * (f_w \beta_w + (1 - f_w) \beta_o + ((1 - f_w)(GOR - R_s) - f_w R_{sw}) \beta_g)$$

Asumiendo que no existe gas en solución ($R_{sw}=0$) tenemos que:

$$Q_{tot} = Q_L * (f_w \beta_w + (1 - f_w) \beta_o + (1 - f_w)(GOR - R_s) \beta_g) \quad [14]$$

Donde:

Q_{tot} : caudal total (stb/d)

Q_L : caudal del líquido (stb/d)

2.1.2.7. ¿Necesitaremos un separador de gas?

Para saber si es necesario un separador de gas, se debe calcular la fracción de gas en la admisión de la bomba:

$$f_g = \frac{((1 - f_w)(GOR - R_s) - f_w R_{sw})\beta_g}{f_w \beta_w + (1 - f_w) * \beta_o + ((1 - f_w)(GOR - R_s) - f_w R_{sw})\beta_g}$$

Asumiendo que no tenemos gas en solución:

$$f_g = \frac{((1 - f_w)(GOR - R_s) - f_w R_{sw})\beta_g}{f_w \beta_w + (1 - f_w) * \beta_o + (1 - f_w)(GOR - R_s)\beta_g} \quad [15]$$

2.1.2.8. Fracción de gas que ingresa a la bomba.

$$f_{g \text{ entra a la bomba}} = (1 - E_{sep})f_g$$

Donde:

E_{sep} : eficiencia de separación

Para calcular la eficiencia de separación del gas, se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$E_{sep} = \frac{Q_{g \text{ libre}}^{venteado}}{Q_{g \text{ libre}}^{total}} = E_{sep}^{natural} + E_{sep}^{mecánica}$$

Donde:

$Q_{g \text{ libre}}^{venteado}$: caudal de gas libre venteado (stb/d)

$Q_{g \text{ libre}}^{total}$: caudal de gas libre total (stb/d)

$E_{sep}^{natural}$: eficiencia de separación natural (%)

$E_{sep}^{mecánica}$: eficiencia de separación mecánica (%)

Para propósitos prácticos de diseño, evitaremos este último cálculo asumiendo $E_{sep}=0$, es decir, el peor caso posible, con lo que tenemos:

$$f_{g \text{ entra a la bomba}} = (1 - 0)f_g = f_g \quad [16]$$

Como se puede ver en el apartado de resultados, la fracción de gas que entra a la bomba es menor de 10%¹, entonces no se necesita de un separador de gas.

2.1.2.9. Tasa de flujo volumétrico total ingresando a la bomba.

$$Q_{tot} = Q_L * (f_w \beta_w + (1 - f_w) * \beta_o + ((1 - E_{sep})(1 - f_w)(GOR - R_s) - f_w R_{sw}) \beta_g)$$

$$Q_{tot} = 2171 \frac{stb}{D} \quad [17]$$

2.1.2.10. Determinar la Carga Dinámica Total (Total Dynamic Head).

$$TDH = SH + VNL + FNL + FFL + TFL \quad [18]$$

Donde:

- TDH: carga dinámica total (pie)
 SH: carga en el separador (pie)
 VNL: levantamiento neto vertical (pie)
 FNL: levantamiento neto de la línea de flujo (pie)

- FFL: pérdidas por fricción en la línea de flujo (pie)
 FFL: pérdidas por fricción en el tubing (pie)

Para calcular cada uno de los componentes de la fórmula anterior se usó las siguientes fórmulas:

$$SH = \frac{P_{sep}}{\nabla P} \quad [19]$$

$$VNL = \text{profundidad de asentamiento de la bomba} - \frac{PIP}{0,433 * SG_o} \quad [20]$$

$$FNL = \sum_{segmentos} (\text{Longitud del segmento}) \cdot \text{sen} \theta \quad [21]$$

$$FFL = \left(\frac{\text{pérdidas}}{1000 \text{pie}} \right) * \text{Longitud de línea de flujo} \quad [22]$$

¹ Esta es una regla práctica que se acepta en general en la industria.

$$TFL = \left(\frac{\text{pérdidas}}{1000\text{pie}} \right) * \text{Profundidad de asentamiento de la bomba} \quad [23]$$

La constante de pérdidas debe calcularse en función del diámetro del tubing y flujo de líquido aplicado a las curvas de perdida por fricción. Para este caso, debido a que se tiene un alto corte de agua, se usará las curvas de pérdidas por fricción para agua que se pueden ver en la figura 4.

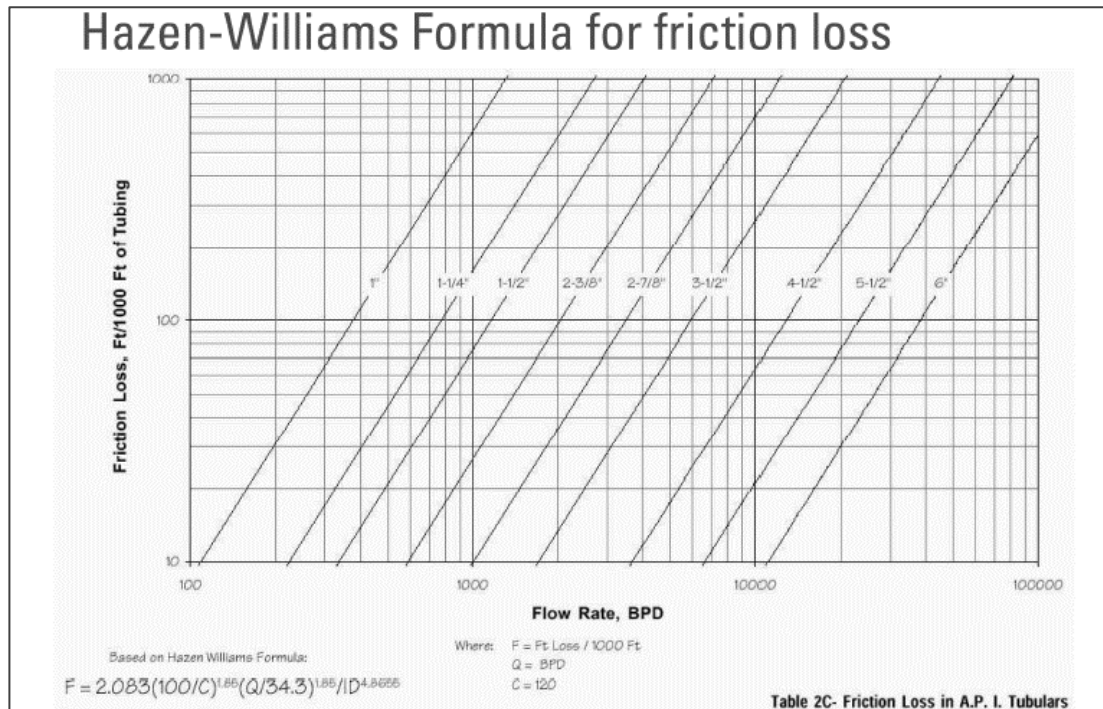


Figura 4. Curvas de pérdidas por fricción
(Baker-Hughes)

2.1.2.11. Seleccionar una bomba y determinar el número de etapas.

$$\text{Número de etapas} = \frac{TDH}{\text{head/etapa}} \quad [24]$$

2.1.2.12. Determinar el requerimiento de potencia para el motor.

$$HP = HP_{bomba} + HP_{separador} + HP_{protector} \quad [25]$$

Donde:

HP: requerimiento de potencia total (Hp)

HP_{bomba} : requerimiento de potencia de la bomba (Hp)

$HP_{separador}$: requerimiento de potencia del separador (Hp)

$HP_{protector}$: requerimiento de potencia del protector (Hp)

Calculamos el requerimiento de potencia de la bomba con la siguiente fórmula:

$$HP_{bomba} = \#etapas(HP/etapa)SG \quad [26]$$

2.1.2.13. Seleccionar un motor del catálogo.

Se seleccionó un motor que esté acorde con las necesidades específicas del pozo y respetando las siguientes recomendaciones:

- Debe ser compatible con el diámetro interno del casing y, por supuesto, con la temperatura del pozo.
- De no existir un modelo con la potencia requerida, se debe seleccionar el motor con la siguiente potencia más alta.
- Es preferible escoger una combinación estándar serie del motor – serie de la bomba.
- Los motores de altos voltajes (baja corriente) requieren diámetros de conductores más pequeños.
- Los motores de altos voltajes, implican equipo VSD o tablero de control más caros.
- Posiblemente se necesitará realizar un análisis económico.

Finalmente se calculó la carga durante la operación normal.

$$Carga \text{ durante una operación normal} = 100 * \frac{HP}{HP_{motor}} \quad [27]$$

Donde:

HP_{motor} : potencia máxima del motor (Hp)

2.1.2.14. Seleccionar el cable eléctrico para esta aplicación.

Para la selección del cable se siguieron las recomendaciones a continuación:

- Seleccionar el cable plano o redondo acorde al espacio libre del anular.
- Seleccionar el cable que provea una caída de voltaje de menos de 30 voltios/1000 pie.
- Hallar la temperatura de operación del cable y hacer las correcciones del caso.

Chequeamos las pérdidas de voltaje:

$$V_{drop} = \left(\frac{\text{Caída de voltaje}}{1000\text{pie}} \right) \left(\text{Profundidad asentamiento de bomba} \right) * C_{factor} \quad [30]$$

Donde:

V_{drop} : Caída de Voltaje en cable (V)

C_{factor} : factor de corrección

La caída de voltaje depende de la temperatura del cable y debe calcularse en función de las curvas dadas en la descripción técnica del producto.

Seguidamente se calculó la longitud requerida de cable.

$$\text{Longitud requerida cable} = \left(\text{Profundidad asentamiento de bomba} \right) + 200 \text{ pie} \quad [31]$$

A continuación, el calculo del voltaje superficial requerido.

$$V_{sup} = V_m + V_{caída} \quad [32]$$

Donde:

V_{sup} : voltaje superficial requerido (V)

V_m : voltaje nominal del motor (V)

$V_{caída}$: caída de voltaje del cable (V)

Luego debemos calcular la caída de voltaje por arranque.

$$V_{caída@arranque} = 7 \times V_{caída} \quad [33]$$

Donde:

$V_{caída@arranque}$: caída de voltaje por arranque (V)

Finalmente calculó el arranque.

$$\text{Arranque} = \frac{V_{sup} - V_{caída@arranque}}{V_m} \quad [34]$$

Por regla general, si el arranque en porcentaje supera el 50%, entonces el sistema arranca.

2.1.2.15. Selección del Transformador

Al momento de seleccionar el transformador se tomó en cuenta lo siguiente:

- Realizar el cálculo del KVA.
- Si no existe ningún modelo de transformador para la potencia requerida, debemos elegir el transformador con el KVA mayor y más cercano.
- Se debió decidir entre un solo transformador trifásico o tres transformadores monofásicos.

$$KVA = \frac{\sqrt{3} * V_{caída} * \text{Amperaje del motor}}{1000} \quad [35]$$

2.2. DISEÑO DE BOMBA BES MEDIANTE SIMULACIÓN SOFTWARE SUB PUMP V9.91

Para diseñar un sistema BES en el software Sub Pump se siguió los siguientes pasos:

- a) Recolectar la información de propiedades del pozo
- b) Selección de equipos
- c) Análisis de Sensibilidades

En el anexo 1 se tienen las capturas de pantalla de cada una de las etapas del diseño.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS DISEÑO MANUAL

Tabla 3. Datos requeridos para diseño BES Pozo TPTC-006

Tipo Dato	Variable Requerida	Símbolo	Valor (TPTC-006)	Unidad
Datos del Pozo	Diámetro Casing		9,625	pulgadas
	Diámetro Tubing		3,5	pulgadas
	Peso Casing		53,5	libra/pie
	Peso Tubing		9,3	libra/pie
	Profundidad de Disparos		4 587	pies
	Profundidad de Asentamiento de la Bomba	MD	5 364	pies
	Profundidad de Asentamiento de la Bomba Vertical	TVD	4 345	pies
	Gradiente Geotérmico		0,018	°F/pies
Datos de Producción	Presión de Tubería en la Cabeza del Pozo		174	psi
	Presión de Fondo Fluyente	Pwf	177,78	psi
	Presión de Reservorio	Pr	950	psi
	Índice de Productividad	J	7 813	bpd/psi
	Temperatura Fondo del Pozo	BTH	175	°F
	Tasa de producción	Q	6 070	bfpd
	Tasa de producción deseada	Q	5 500	bfpd
	Relación Gas Petróleo	GOR	43,065	pie ³ st/bbl
Características de los Fluidos & Propiedades PVT	Corte de Agua	fw	90	%
	Gravedad específica del agua	SGw	1,02	
	Gravedad API del petróleo	API	14	°API
	Gravedad específica del Gas	SGg	1,14	
	Viscosidad del petróleo	μ	40	cP
	Capacidad calórica del Petróleo	C _o	0,50	
	Capacidad calórica del Agua	C _w	1,00	
Datos de Energía Eléctrica	Presión de burbuja	Pb	220	psi
	Voltaje primario disponible		2 902	V
	Frecuencia		60	Hz
	Capacidad de la Fuente de Potencia		413	Hp

(Petroamazonas, 2019)

Tabla 4. Tabla final de resultados para la Bomba WE5000

Paso	Variable Calculada	Símbolo	Valor (TPTC-006)	Unidad
1	Relación Gas Líquido	GLR	4,00	pie ³ st/bbl
2	Gravedad específica del Petróleo	SG _o	0,97	
2	Gravedad específica del Líquido	SG	1,02	
2	Gradiente de Presión	∇P	0,4396	psi/pie
3	Presión de fondo fluyente	P _{wf}	246,05	psi
3	Presión de succión de la Bomba	PIP	207,07	psi
4	Temperatura de Admisión de la Bomba	PIT	177,23	°F
4	Distancia de Relajación	A	9423	pie
4	Tasa de flujo másico total	W _{tot}	22,67	lb/seg
4	Densidad del Líquido	ρ_L	63,35	lb/pie ³
4	Diferencial de Temperatura del Motor	ΔT_{motor}	2,24	psi
4	Capacidad calórica específica del Líquido	C	0,95	bpd/psi
5	Relación gas petróleo	R _s	22,47	pie ³ st/bbl
5	Factor volumétrico del petróleo	β_o	1,0676	bbl/stb
5	Factor volumétrico del gas	β_g	0,0796	pie ³ /stb
5	Factor volumétrico del agua	β_w	1,0271	bbl/stb
6	Tasa de flujo total (condiciones Adm. B.)	Q _{tot}	5831,7	stb/día
7	Fracción de gas	f _g	2,75	%
8	Fracción de gas (Admisión de la bomba)	f _g ^{Admisión}	2,75	%
9	Tasa de flujo volumétrico (ingreso bomba)	Q _{tot}	5695,3	stb/día
10	Carga Dinámica Total	TDH	4643,3	pie
10	Carga del separador	SH	472,5	pie
10	Levantamiento neto vertical	VNL	3853,6	pie
10	Levantamiento neto de la línea de flujo	FNL	0,0	pie
10	Pérdidas por fricción en la línea de flujo	FFL	0,0	pie
10	Pérdidas por fricción en el tubing	TFL	317,2	pie
10	Pérdidas		73,0	
11	Número de Etapas		110,6	etapas
11	Head/Etapa		42,0	
12	Requerimiento de Potencia de la Bomba	HP _{bomba}	281,7	Hp
12	Requerimiento de Potencia Total (Motor)	HP	281,7	Hp
12	HP/Etapa		2,51	
13	Carga durante operación Normal		98,2	%
14	Longitud requerida de cable		5565	pie
14	Caída de Voltaje / 1000pie		25,00	V/pie
14	Caída de Voltaje en el Cable	V _{caída}	147,5	V
14	Voltaje Superficial Requerido	V _{sup}	2007,5	V
14	Caída de Voltaje en Arranque	V _{caída@arr}	1032,7	V
14	Arranque		52,4	%
15	KVA	KVA	322	KVA

3.1.1. DISCUSIONES PASO 1

La viscosidad del petróleo es baja (40 cP) y el corte de agua es alto (90%), de modo que no se debe tener problemas de emulsiones. Basándose en las dos razones, no se necesita realizar correcciones de viscosidad. Por otra parte, la relación gas – petróleo es baja y con un corte de agua del 90% el GLR es aún más bajo.

En resumen, se pudo diseñar el sistema despreciando los efectos por viscosidad y el impacto de la presencia de gas libre.

3.1.2. DISCUSIONES PASO 2

Se calcularon las gravedades específicas del petróleo y del líquido (agua y petróleo) con el fin de obtener el gradiente de presión; este dato nos será útil más adelante.

3.1.3. DISCUSIONES PASO 3

Para este caso, se asume que la tasa de flujo y la presión de fondo fluyente son directamente proporcionales, es decir, hay un comportamiento lineal entre ambas variables. Lo anterior podemos asumirlo debido al alto corte de agua y al bajo GOR.

3.1.4. DISCUSIONES PASO 4

Para los cálculos se toma en cuenta el efecto del motor, esta información está previamente y se usa la correlación de Shiu. Si esta información no hubiese sido proporcionada, en muchos casos se puede asumir $PIT \approx BHT$.

3.1.5. DISCUSIONES PASO 5

Se calculó los factores volumétricos del petróleo del agua y del gas.

3.1.6. DISCUSIONES PASO 6

Para el cálculo del flujo total, consideramos que no existe gas en solución, es decir, $R_{sw}=0$.

3.1.7. DISCUSIONES PASO 7

Se calculó la fracción de gas en la admisión de la bomba nuevamente considerando que no existe gas en solución.

3.1.8. DISCUSIONES PASO 8

En este caso se calculó la fracción de gas al entrar a la bomba. Para propósitos de diseño se asume una eficiencia de separación de cero, tomando así el peor caso posible. Aun así, la fracción de gas se mantiene por debajo del 10% ($2,75\% < 10\%$) por lo que por regla práctica se puede asumir que no es necesario un separador de gas.

3.1.9. DISCUSIONES PASO 9

En este caso tomamos la eficiencia de separación promedio (la cual también se usó para el cálculo mediante el software Sub Pump) que se considera es del 85%.

3.1.10. DISCUSIONES PASO 10

Debido a que la gravedad específica del fluido es cercana a la gravedad específica del agua y la fracción de gas es muy baja, se utiliza las gráficas para las pérdidas de presión por fricción para el agua.

En este paso se calcula, principalmente, la carga total dinámica, que podría decirse que es el cálculo más importante de esta serie de pasos. Este cálculo manual tiene una diferencia de menos del 2% en relación a la obtenida mediante el software.

3.1.11. DISCUSIONES PASO 11

En la selección de la bomba que se va a usar, se debe cumplir con los siguientes criterios:

- a) Ser compatible con diámetro interno del casing.
- b) Es preferible que tenga el máximo diámetro posible, debido a que se incrementa la eficiencia, estas unidades con mayor diámetro suelen ser más baratas y la bomba opera a menor temperatura.
- c) La tasa de flujo deseada debe estar en el rango operativo recomendado.
- d) Es recomendable que la tasa deseada este lo más cerca al punto de máxima eficiencia.

Para conocer el valor head/etapa de cada bomba buscamos en las siguientes gráficas de acuerdo al flujo total a producir.

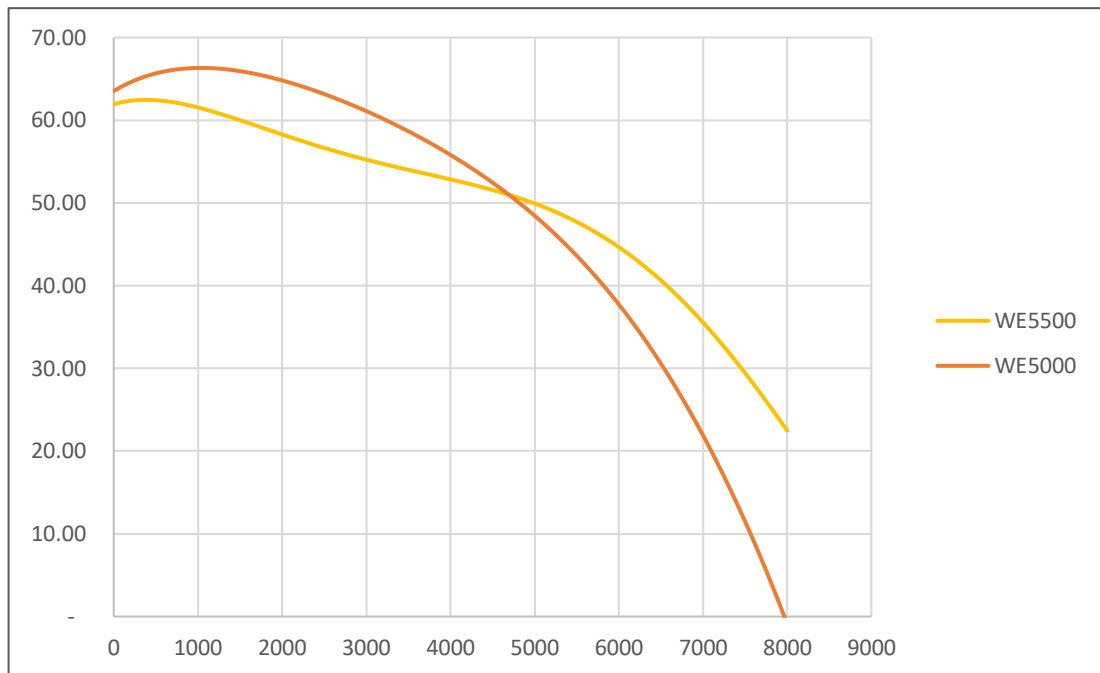


Figura 5. Head/etapa bomba actual (WE5500) vs bomba propuesta (WE5000).

Se seleccionó la bomba WE5000. Y se calculó un número de etapas de 111^2 , que según el catálogo es posible.

3.1.12. DISCUSIONES PASO 12

Se calculó la potencia requerida en función de las gráficas dadas en las especificaciones técnicas del producto.

² Este fue el valor calculado manualmente, mientras que el valor calculado por el software fue de 109, lo que nos da una diferencia de menos del 2%, la cual es razonable considerando que el software calcula con mayor precisión y usando métodos más exactos.

Para obtener el valor HP/etapa de cada bomba buscamos en las siguientes gráficas de acuerdo al flujo total a producir.

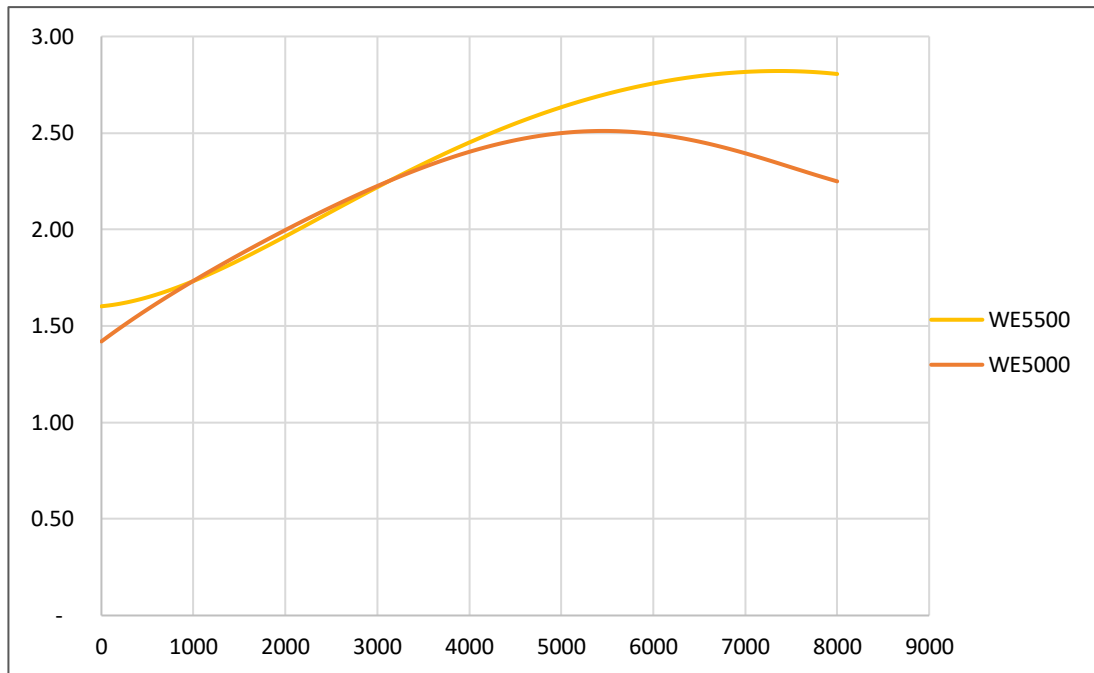


Figura 6. HP/etapa bomba actual (WE5500) vs bomba propuesta (WE5000).

3.1.13. DISCUSIONES PASO 13

Se seleccionó un motor tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Debe ser compatible con la temperatura del pozo y, por supuesto, con el diámetro interno del casing.
- De no existir un modelo con la potencia requerida, se debe seleccionar el siguiente motor con potencia más alta.
- Es preferible escoger una combinación estándar serie del motor – serie de la bomba.
- Considere que los motores de altos voltajes (baja corriente) requieren diámetros de conductores más pequeños.
- Los motores de altos voltajes necesitan equipos VSD o tableros de control generalmente más caros.
- Es posible que se necesite hacer un análisis económico.

El motor seleccionado fue WSP 560 XT1, 287 Hp, 1 860 V, 92.6 A, 60 Hz. Este motor cumple con todas las recomendaciones y posea además algunas ventajas que serán expuestas en los siguientes puntos.

3.1.14. DISCUSIONES PASO 14

Seleccionar un cable que se ajuste a los diámetros y las necesidades. En nuestro caso se selecciona el cable #2 plano en base a la figura .

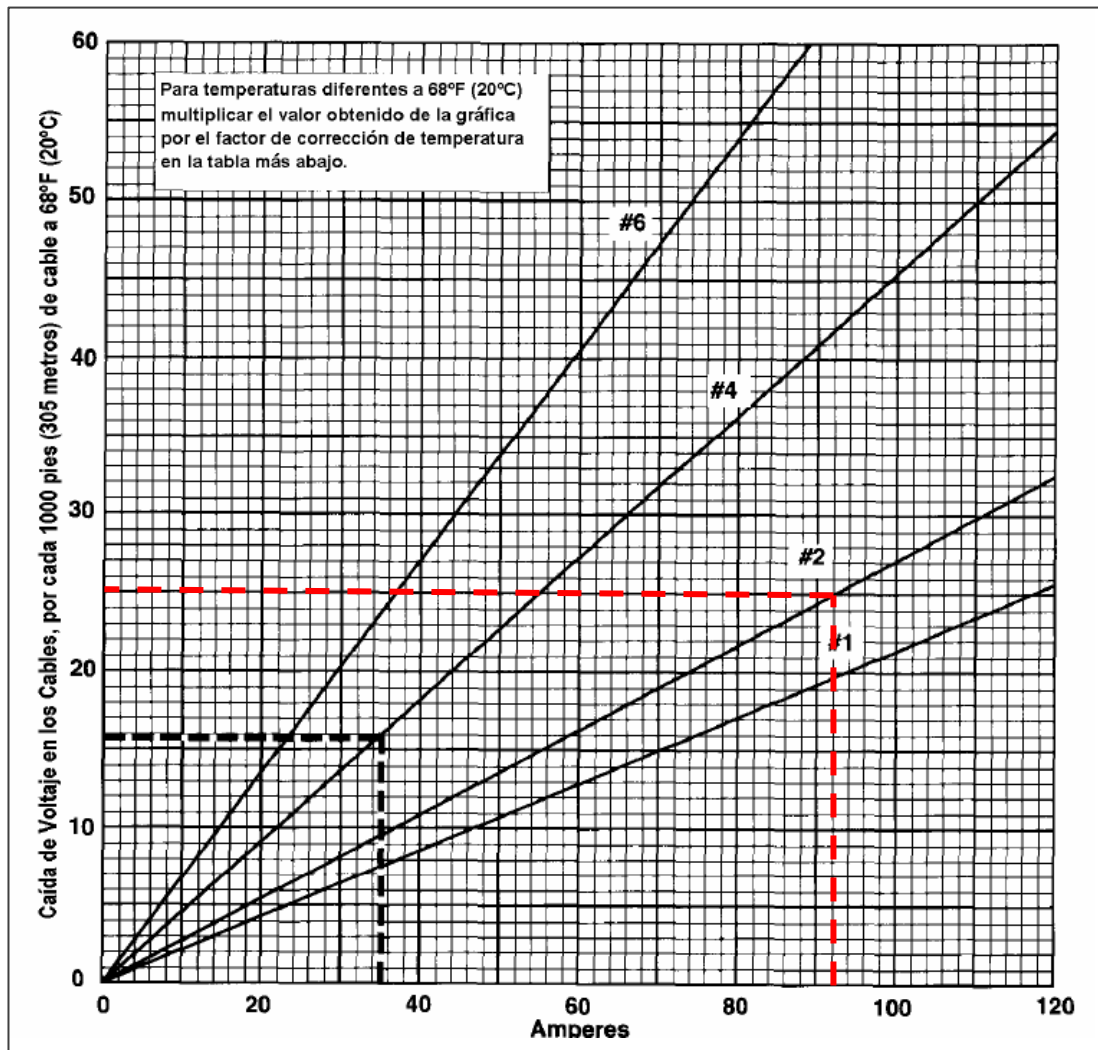


Figura 7. Gráfica de pérdida de voltaje en el cable.

(Baker Hughes, 2000)

El motor seleccionado es de 287 hp 1860 V 92.6 AMP se ingresó por la figura 7 (perdida de voltaje en el cable).

Verificar que el voltaje superficial sea suficiente para sustentar las necesidades del motor y la bomba.

3.1.15. DISCUSIONES PASO 15

Seleccionar un transformador es importante también para evitar cualquier tipo de contratiempos.

3.2 RESULTADOS DISEÑO CON SOFTWARE SUB PUMP

Mediante el software Sub Pump se pudo obtener resultados muy similares a los obtenidos mediante el diseño manual y los presentamos a continuación como capturas de pantalla.

The screenshot displays the Sub Pump software interface, divided into several sections:

- Design Parameters:** Design Frequency is set to 60.000 Hz. There is a checkbox for "Show Corrected to Design".
- Pump Selection:** Configuration is set to "2 pumps". Data Source is "Equipment Excel File". The selected pump is WSP 538 WE5000 with a BEP/DP Rate of 5000 and 92 stages.
- Motor Selection:** Data Source is "Data Bank". Manufacturer is WSP. The selected motor is WSP 560 XT1 with 287.0 HP, 1860 Volts, 92.6 Amps, and 60 Nmpt.
- Cable Selection:** WSP-WT-5F450 is selected. There is a checkbox for "Split Cable".
- Navigation:** Buttons for Back, Help, OK, Cancel, and Next are visible at the bottom.
- THEORETICAL PUMP PERFORMANCE:** A table on the right side of the interface provides detailed performance metrics.

THEORETICAL PUMP PERFORMANCE	
Bottom Hole Pressure, psig	246.00
Pump Data	
Pump Data	WSP 538 WE5000
Number of Stages	92
Stages with Free Gas	0
Free Gas into Pump, %	0.0
	Design Catalog
Total Dynamic Head (TDH), ft	4573.20 4360.14
Surface Rate (O+W), Bbl/D	5500.00 5006.60
Avg. Rate per Stage (O+G+W), Bbl/D	N/A 5116.66
Pump Intake Pressure, psig	205.8 269.2
Operating Power, HP	N/A 229.5
Pump Efficiency, %	N/A 69.8
Motor Data	
Motor Data	WSP 560 XT1
Adjust for Motor Slip	Yes
Operating Current, Amps	78.9
Operating Voltage, Volts	1860.00
Operating Motor Load HP	238.7
Operating Power Factor, frac	0.812
Operating Motor Load %	83.17
Operating Efficiency, %	88.65
	Catalog Actual
Total Stages	92 92
Slip Stages	0 0
Total Dynamic Head (TDH), ft	4360.14 4376.27
Surface Rate (O+W), Bbl/D	5006.60 5044.26
Avg. Rate per Stage (O+G+W), Bbl/D	5116.66 5155.15
Pump Intake Pressure, psig	269.2 264.4
Operating Power, HP	229.5 231.7
Operating Speed, RPM	3500 3513

Figura 8. Captura de pantalla – Resultados software Sub Pump.

(Alkhorayef, 2019)

Sub Pump está en la capacidad de entregar gráficas de desempeño y curvas estándar de la bomba y las curvas de desempeño del motor:

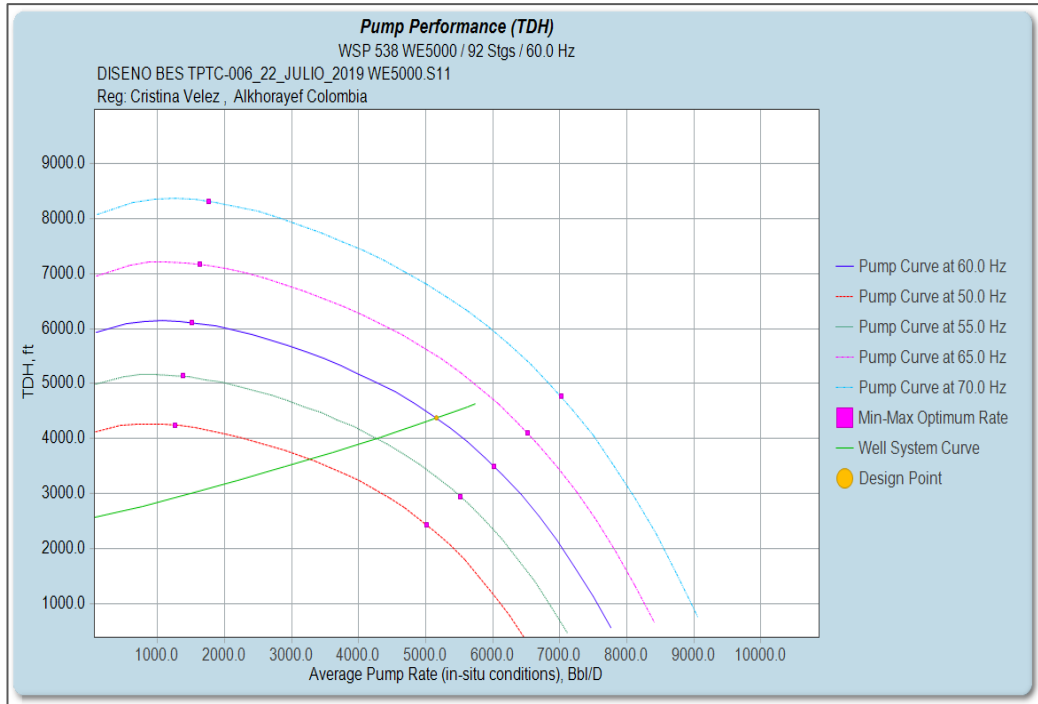


Figura 9. Gráficas de simulación de desempeño de la bomba. Software Sub Pump.
(Alkhorayef, 2019)

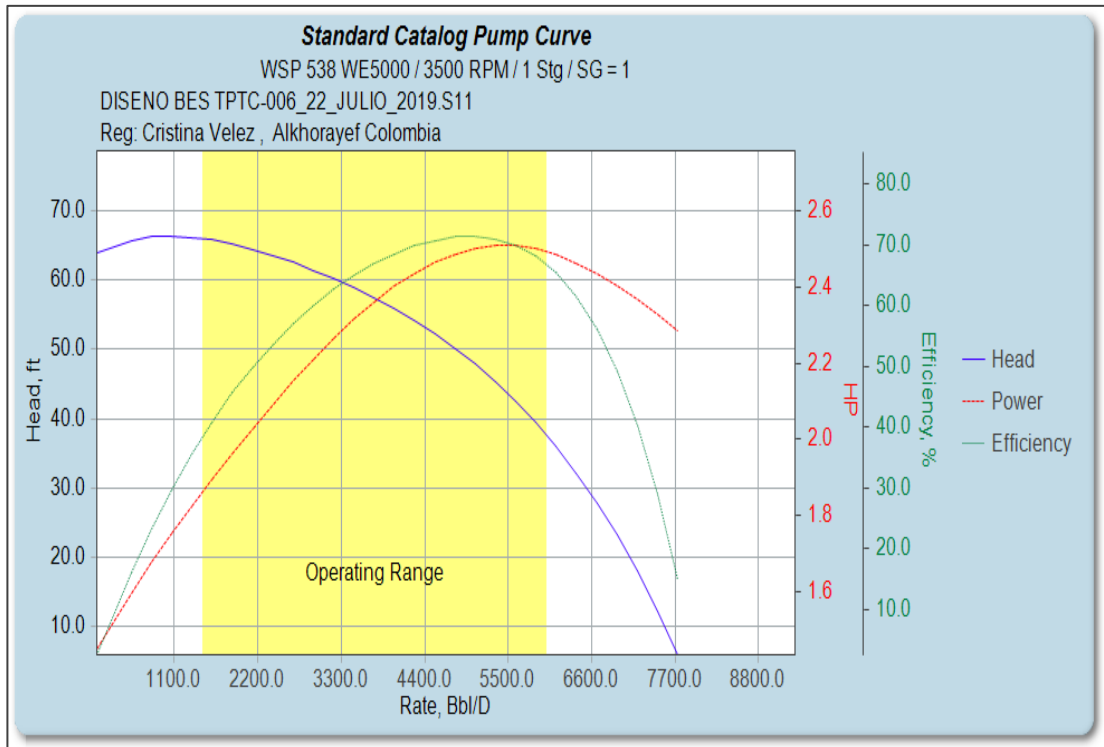


Figura 10. Curvas estándar de la bomba WE5000 (según catálogo). Software Sub Pump.
(Alkhorayef, 2019)

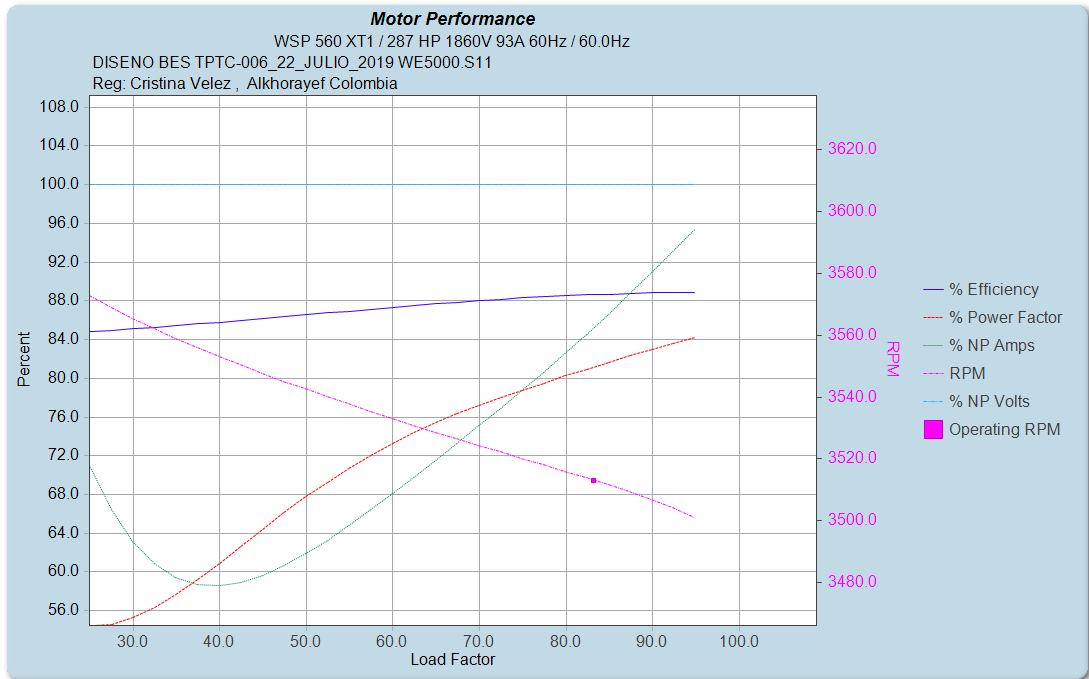


Figura 11. Curvas de desempeño del motor
(Alkhorayef, 2019)

Adicionalmente a lo anterior, Sub Pump puede darnos una proyección del estado del pozo a un año.

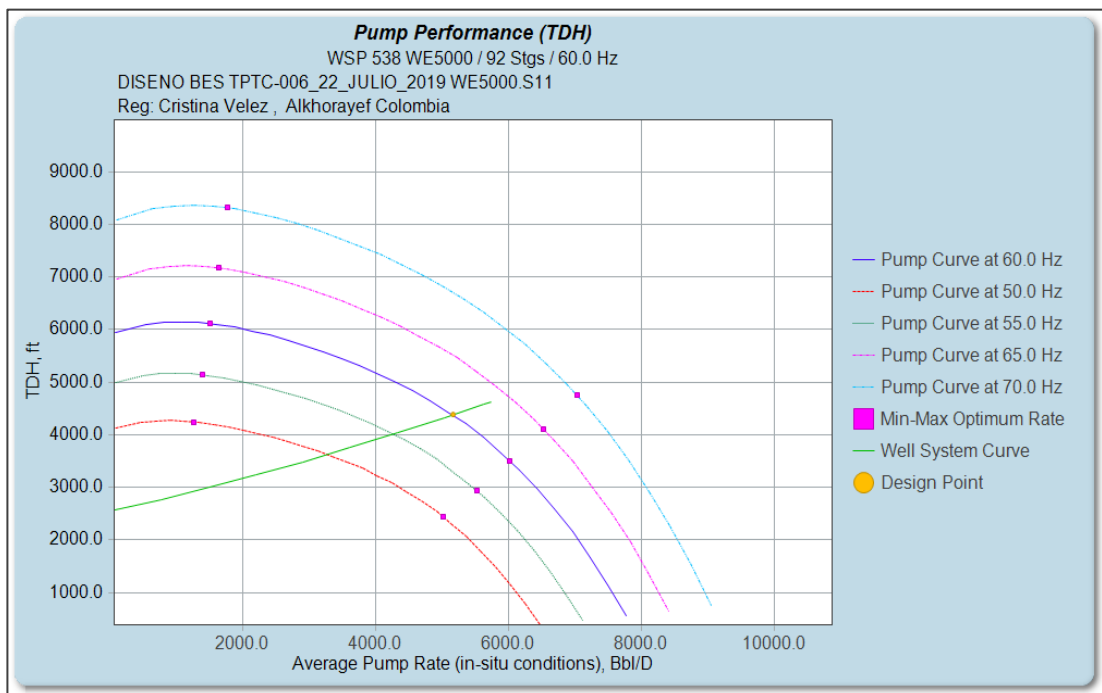


Figura 12. Gráficas de proyección de desempeño de la bomba a 1 año. Software Sub Pump.
(Alkhorayef, 2019)

3.2. TABLA COMPARATIVA BOMBA ACTUAL VS BOMBA PROPUESTA

A continuación, la tabla comparativa que muestra los resultados del diseño y de la bomba actual:

Tabla 5. Comparativo de Bombas WE5000 y WE 5500.

	Bomba WE5000	Bomba WE5500 *
Número de Etapas	92	164
Eficiencia de la Bomba	69,80%	65%
Potencia Requerida (Hp)	278,6	447,1
Potencia Nominal (Hp)	287	574
Porcentaje de Carga del Motor	71%	77,90%
Eficiencia de Operación	88,89%	88,00%
Voltaje de Operación (V)	1 860	3 224
Amperaje de Operación (A)	90,2	77,9
Frecuencia de Operación (Hz)	52	52

* Los datos se obtuvieron en función de los informes recibidos del cliente en el último Workover, específicamente en el reporte de arranque del Equipo BES

(Alkhorayef, 2019).

Como se pueden ver en los resultados de la tabla comparativa la bomba propuesta generará un ahorro de energía, al ser más eficiente (La bomba propuesta tendría menos etapas y por ende será más eficiente) y al necesitar menos Kilowatts para mantenerse en funcionamiento.

Este ahorro puede parecer pequeño, pero a larga podría inclusive evitar la compra de fuentes de energía más costosos con impacto directo al presupuesto del cliente.

La compra de equipos para el sustento energético de las operaciones del pozo es uno de los costos que más influye (aunque sabemos que está lejos de ser el principal) en el presupuesto de los clientes.

3.3. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico del diseño BES final se tomó en cuenta muchos puntos. El primero que tomaremos es el costo del equipo actual (WE-5500) vs el equipo propuesto (WE-5000), costo por Workover y luego seguiremos con el ahorro y la eficiencia de la bomba propuesta vs la bomba actual.

A continuación, se detallará los costos de cada uno de los sistemas bombas con las distintas bombas. Es importante acentuar que los costos del sistema BES que se propone son reales.

Tabla 6. Costo bomba WE5500.

CANTIDAD	UNIDAD	ITEM	COSTO EQUIPOS	RENTA DIARIA
1	EA	Bomba WE-5500	\$63.151,99	\$52,62
1	EA	Bomba WE-5500	\$63.151,99	\$52,62
1	EA	Intake	\$9.214,00	\$7,67
1	EA	Sello	\$15.084,00	\$12,56
1	EA	Sello	\$15.084,00	\$12,56
1	EA	Motor	\$55.147,00	\$45,95
1	EA	Motor	\$55.147,00	\$45,95
1	EA	Sensor	\$23.713,30	\$19,76
5340	FT	Cable	\$74.208,91	\$61,84
1	EA	Equipo Superficie	\$101,01	\$101,01
TOTAL			\$374.003,20	\$412,54

Servicio de instalación o desinstalación equipo BES (2 a 3 días)	\$9.530,15
Misceláneos de fondo para completación simple	\$19.867,54

Tabla 7. Costo bomba WE5000.

CANTIDAD	UNIDAD	ITEM	COSTO EQUIPOS	RENTA DIARIA
1	EA	Bomba WE5000	\$57.738,96	\$48,11
1	EA	Intake	\$7.109,99	\$5,92
1	EA	Sello	\$14.612,62	\$12,17
1	EA	Sello	\$14.612,62	\$12,17
1	EA	Motor	\$55.147,00	\$45,95
1	EA	Sensor	\$23.713,30	\$19,76
5340	FT	Cable	\$74.208,91	\$61,84
1	EA	Equipo Superficie	\$101,01	\$101,01
TOTAL			\$247.244,41	\$306,93

Servicio de instalación o desinstalación equipo BES (2 a 3 días)	\$8.074,81
Misceláneos de fondo para completación simple	\$19.867,54

Como se puede ver en las tablas anteriores, el cliente, Petroamazonas EP, tendría un ahorro del 25% en lo que se refiere a renta diaria de los equipos, es decir, \$105.61.

3.3.1. IMPACTO ECONOMICO DE LOS WORKOVERS

Para el análisis económico del diseño BES final se tomó en cuenta muchos puntos. El primero es el costo por Workover.

Durante el funcionamiento de la bomba actual se han hecho 4 workovers por los cuales el cliente Petroamazonas EP ha pagado un valor por encima de los novecientos mil dólares.

Tabla 8. Costo total workovers³.

WE 5500	
Workover	Costo
WO 1	\$ 230 000
WO 2	\$ 230 000
WO 3	\$ 230 000
WO 4	\$ 230 000
Total	\$ 920 000

(Petroamazonas, 2019)

La bomba propuesta tiene muchas ventajas sobre la anterior. La primera es que es una bomba mucho más corta lo que es crucial al tener un alto grado de inclinación, porque una bomba más corta evitará golpes y daños por el uso normal del equipo, lo que a la larga generará un ahorro al tener que realizar menos mantenimientos o cambios.

No hay una cifra exacta del ahorro que generaría, ya que como se sabe esto depende mucho de otros factores ajenos al diseño, como puede ser el buen o mal uso que le dé el cliente al equipo o el respeto o irrespeto de los parámetros de diseño, sin embargo, en condiciones normales se esperaría un ahorro económico de entre 10% hasta 20%⁴.

³ Debido a lo sensible de estos datos solo fue entregado el costo promedio.

⁴ Como ya se dijo estas cifras no provienen de un cálculo sino más bien del conocimiento empírico obtenido durante años de servicio de la empresa APC.

3.4. SISTEMA BES FINAL

A continuación, presentamos los resultados finales del diseño del equipo BES, mediante el software **Sub Pump**.

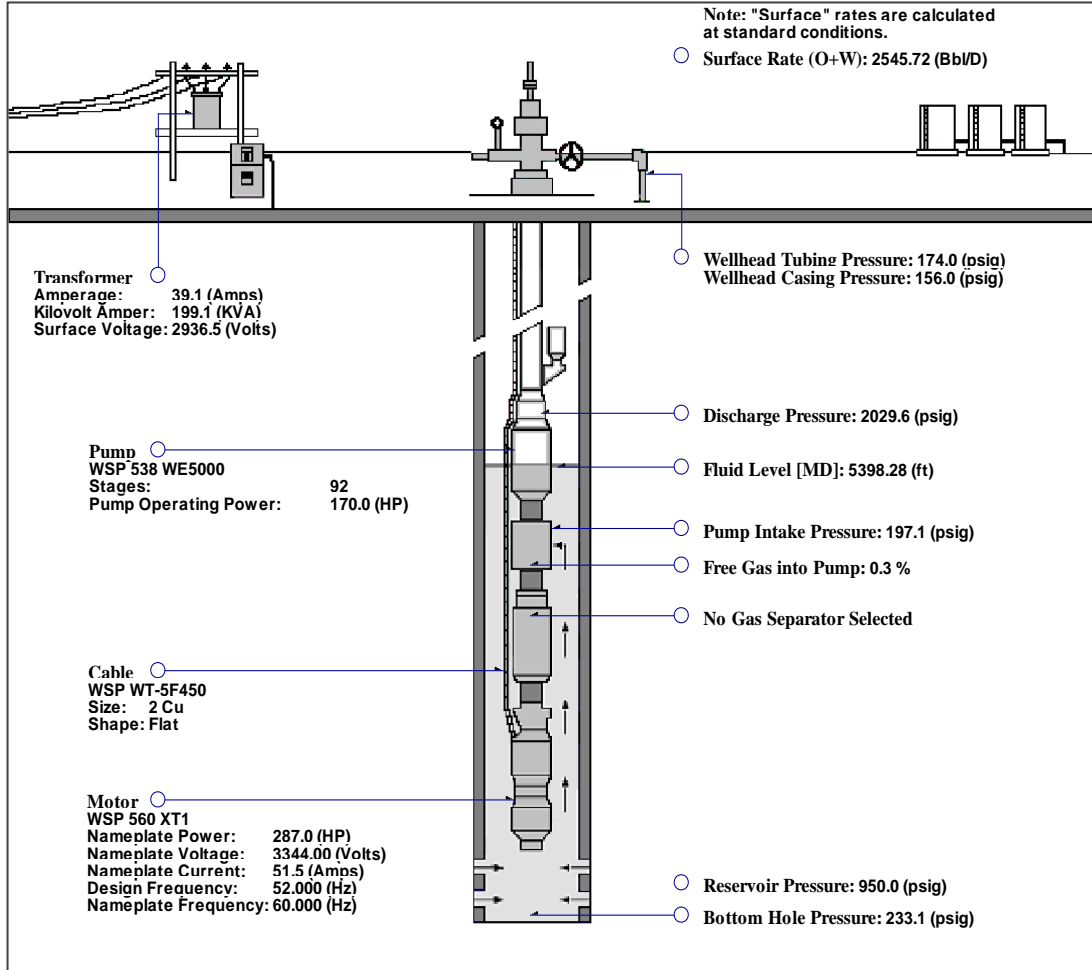


Figura 13. Completación ESP WE-5000.

Tabla 9. Resultados BES Final.

Bomba	Fabricante:	APC
	Modelo:	WE5000
	No. Etapas:	92
Motor	Fabricante:	APC
	Modelo:	MOTOR, 560 SERIES, UT, XT1,287HP, 1 860V, 92.6A, FH
	Voltaje:	1 860 V
	Amperaje:	92,6 A
	Potencia:	287 Hp
	Frecuencia:	60 Hz

Transformador Elevador	KVA / Fabricante: 520 KVA / MAGNETRON Serial No.: 538
Cable	Tipo: ESP Cable, 5KV, 2 AWG Solid Copper, Tube 3/8" SST GALVANIZED STEEL Longitud: 5413,31
VSD	Serial No.: 79779 Modelo: TRIOL AK06-MM-630-310231-480 Amperaje: 630 A KVA: 520
Otros	Temperatura Fluido: 164 °F Presión Intake: 205,8 PSI Temperatura Motor: 166 °F Tasa mínima: 1 500 bbl/día Tasa total de fluido: 5 500 bbl/día Tasa máxima: 6 000 bbl/día Tasa de gráfico máxima: 8 000 bbl/día Generación: SI

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- La Bomba WE-5500 tiene un rango más amplio. Si es cuestión de consumo y eficiencia la WE-5000 (69,80%) es más eficiente en comparación a la WE-5500. (65%). Al ser más eficiente su requerimiento de energía será menor.
- La bomba propuesta es mucho más corta que la bomba actual, lo que proporcionará un ahorro en cuanto a la necesidad de workovers. Esto se debe a que al ser más corta sufrirá menos daños al momento de bajarla a través de la tubería, la cual tiene considerables dificultades debido a su alto grado de inclinación.
- La carga en los ejes, la WE-5000 tiene el eje de menor diámetro. Posiblemente esta bomba maneje un poco menos de caudal estando en rango.
- El porcentaje de error de los cálculos versus el Software Sub Pump fue muy pequeño (menor a 2%).
- El motor de la bomba WE5000 también será más eficiente y necesitará un voltaje (1860 V) y potencia (278.6 Hp) menores que los requeridos por el motor de la bomba actual (3224 V y 447.1 Hp, respectivamente) y por esta misma razón el nuevo sistema BES requerirá menos energía que el sistema actual.
- Se necesitará de equipos menos costosos de alimentación de energía; esto último se debe a que los equipos como transformadores y paneles (VSD) son por lo general más baratos mientras menor sea el Voltaje y amperaje que deben manejar.
- Empíricamente, se espera un ahorro de entre 10% al 20% de gastos no solo porque se reducirá la cantidad de workovers necesarios sino también a que el pozo quedará fuera de servicio por menos días debido al mantenimiento necesario.
- Petroamazonas EP ahorrará un 25% en gastos por renta de equipo BES, es decir, diariamente se dejará de gastar \$105.61.

- La proporción de gas libre es muy bajo en relación al petróleo y agua que produce el pozo por lo que, como ya se mencionó, técnicamente no es necesario el uso de un separador.

4.2. RECOMENDACIONES

- Un análisis similar al realizado en este trabajo debería hacerse en los pozos del campo Tiputini que presenten altos grados de inclinación y altos cortes de agua; esto con el objetivo de generar ahorro económico y un ahorro sustancial de energía aprovechando la nueva tecnología ofrecida por la prestadora de servicios Alkhorayef Petroleum.
- Debido a que el crudo de este campo tiene un API de 14.4, reducir los costos de producción se vuelve una necesidad ya que este tipo de hidrocarburo tiene una penalización económica a nivel internacional.
- Es recomendable una fuerte sinergia entre el ingeniero de campo y el representante del fabricante de los equipos de Bombeo Electrosumergible BES.
- Seleccionar un tablero de control del catálogo de acuerdo con el voltaje superficial requerido.
- Seleccionar un separador rotario, como una regla práctica, si la fracción de gas en la admisión de la bomba es mayor que el 10% para bombas radiales o que el 15% para bombas de flujo mixto.
- Seleccionar una sección sello del tipo laberinto, cámara o laberinto/cámara. Altos empujes, temperaturas, inclinación del pozo podrían requerir instalar equipos en serie.
- Chequear la compatibilidad de la rosca del tubing con la sección de descarga de la bomba.

BIBLIOGRAFÍA

- Secretaría de Hidrocarburos del Ecuador. (2012). *Mapa de Bloques Petroleros del Ecuador*. Obtenido de <http://www.she.gob.ec/mapa-de-bloques-petroleros/>
- Almeida, D. (Octubre de 2017). Estabilización Química y Mecánica de la Lutita Orteguaza del Campo Tiputini en la Cuenca Oriente. *Revista Politécnica*, pág. 40.
- Petroamazonas. (26 de Mayo de 2017). Obtenido de Petroamazonas EP Web site: www.petroamazonas.gob.ec
- Almeida, D., & Cárdenas, D. (2010). Optimización de la perforación de pozos direccionales de los principales campos de Petroproducción en la cuenca oriente en base a su caracterización litológica. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Labogeo. (1995). Estudio Sedimentológico de las Areniscas U y T. Campo Libertador. *Informe Técnico Petroproducción No. PPR-GL-346*, 5.
- Petroamazonas. (2019). *Datos de Evaluación del Pozo TPTC-006*. Quito.
- Alkhorayet. (2019). Especificación Bomba WE-5500.
- Bradley, H. (1987). *Petroleum Engineering Handbook*. Society of Petroleum Engineers.
- Secretaría de Hidrocarburos. (2017). *Informe Anual del Potencial Hidrocarburífero del Ecuador 2017*. Quito.
- Ramírez, M. (2004). *Bombeo Electrosumergible: Análisis, Diseño, Optimización y Trouble Shooting*. Monagas: ESP Oil International Training Group.
- Takacs, G. (2017). *Electrical Submersible Pumps Manual* (Segunda ed.). Gulf Professional Publishing.
- American Petroleum Institute. (2013). *Recommended Practice for Electric Submersible Pump Testing*. Washington, D.C.
- Alvarez, G. (2011). *Optimización de Producción, Consumo de Energía y Nivel de Armonicos para Equipos de Bombeo Electrosumergible*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Jami, R. (2017). *Análisis Técnico de Variables y Parámetros de Perforación para Garantizar la Limpieza del Hoyo en Pozos de Alto Ángulo en el Campo Tiputini*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Banda, R. (2013). *Aplicación de la Técnica de Perforación con Liner para la Solución de Problemas en Zonas de Diferenciales de Presión en Pozos*

Marinos con Alto Grado de Inclinación. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Ecuador, S. d. (2019). Mapa de Bloques Petroleros del Ecuador. Quito.

Baby, P., Rivadeneira, M., & Barragán, R. (2004). *La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo*. Quito: Editores Científicos.

Baker Hughes. (2009). *Centrilift Submersible Pump Handbook* (Novena ed.). Claremore.

Brown, K. (1980). *The Technology of Artificial Lift Methods* (Vol. IIB). Tulsa: The Petroleum Publishing Company.

Baker Hughes. (2000). *Manual Básico para Sistema de Bombeo Electrosumergible*. Claremore: Centrilift.

Schlumberger. (2006). *REDA Maximus*. Houston: Sureenco.

Gómez, J., & Roa, T. (1999). *Curso Técnico de la Industria Petrolera*. Santa Fé.

ANEXOS

ANEXO 1

CAPTURAS SOFTWARE SUB PUMP

SubPUMP OVERVIEW

الكرتف للبتروول
Alkhorayef Petroleum

SubPUMP - [C:\USERS\USER_VILLAO_4\DROPBOX\INFORMES MENSUALES DEL CONTRATO\3. ESTADO DE EQUIPOS MENSUAL\9. INF

INPUT VIEW OPTIONS MYEQUIPMENT OPTIMIZATION WINDOW HELP

Well Description Calculation Mode Wellbore Flowline Quick Design Fluid Inflow Pressures and Rates Equipment Pump Motor Cable Sensitivities

Well Properties Equipment Properties Sensitivities

Flujo de trabajo para simulación ESP

- Propiedades del Pozo
- Selección de equipos
- Sensibilidades

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...

SubPUMP OVERVIEW

الكرتف للبتروول
Alkhorayef Petroleum

SubPUMP - [Easy Interface]

INPUT VIEW OPTIONS MYEQUIPMENT OPTIMIZATION WINDOW HELP

Nombre de la Compañía

Nombre del Yacimiento

Nombre del pozo

Nombre de la Campaña

Nombre del lugar del pozo

Nombre del analista

Well Description

Company

Well Name

Reservoir

Field Name

Location

Analyst

Comments

Date: 11/12/2015

OK Cancel Help

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



الخرىفة للبتروم
Alkhorayef Petroleum

SubPUMP OVERVIEW

Well Description
Well Name: XXX
Reservoir Name: XXX

Please double-click flashing area to continue.

Mode Selection
Input Mode
 Egimus Design Calculation
 Quick Design Calculation

Datos completos para la simulación del sistema ESP
 Datos limitados para la simulación del sistema ESP



الخرىفة للبتروم
Alkhorayef Petroleum

INPUT WELL DATA

Well Data | Directional Survey | Gas LR |

Wellbore Correlation: Hagedorn & Brown (1950) Use Griffin & Walls bubble flow equation

Use Secondary Correlation before a depth of Correlation Tuning Factor: 0.00

Type	Bottom (MD)	Top (MD)	OD	ID	Roughness
	ft	ft	in	in	in
1 Casing	7435.00	7435.00	9.625	8.681	0.0006500
2 Casing	9095.00	7435.00	7.000	6.184	0.0006500
3 Tubing	6999.00		5.500	4.950	0.0006500
4					0.0006500

Russian (Gost) OD Weight ID
 1.050 1.20 0.824
 1.315 1.80 1.049
 1.650 2.40 1.380
 1.900 2.90 1.610
 2.375 4.70 1.995

Temperature
 Reservoir 190.0 °F
 Wellhead 90.0 °F

Top of Perforation or datum point (MD) 8174.00

Sección Well Data:

- Se usa para seleccionar las correlaciones para diseño del pozo
- Estado mecánico del pozo
- Temperatura de Yacimiento y de cabeza
- Promedio de perforados

Correlaciones Verticales

- MONA Modified
- MONA
- Ansari Mechanistic
- Aziz et al.
- Orkiszewski
- Duns & Ros
- Hagedorn & Brown
- Fanchar & Brown
- Baxendall & Thomas
- Poettmann & Carpenter

Correlaciones Desviacion

- Mukherjee & Brill
- Beggs and Brill
- Sylvester & Yao

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



الخریفة للبترویل
Alkhorayef Petroleum

INPUT WELL DATA

Wellbore

Well Data | Directional Survey | Gas Lift

Depth vs. Distance Top View Plot

Well Profile

MD vs TVD MD vs Angle

	MD	TVD	Azimuth
	ft	ft	Deg
1	1.00	1.00	1.000
2	138.00	138.00	209.880
3	396.00	395.98	209.880
4	909.00	908.88	209.880
5	984.00	983.85	209.880
6	1004.00	1003.84	209.920
7	1078.00	1077.83	210.150
8	1174.00	1173.83	201.590
9	1269.00	1268.83	183.210
10	1364.00	1363.83	252.990
11	1460.00	1459.83	196.320
12	1495.00	1494.83	212.860
13	1555.00	1554.83	262.270
14	1650.00	1649.83	32.440

Directional Survey (Top View)

South - North, ft

West - East, ft

— Top View

Min: Max:

Sección Survey Direccional

Se utiliza para introducir los datos de pozos desviados y realizar cálculos Dogleg.

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



الخریفة للبترویل
Alkhorayef Petroleum

INPUT WELL DATA

Wellbore

Well Data | Directional Survey | Gas Lift

Gas Lift Optimization

Injection Gas

Injection Rate: 0.00

Injection Depth: 0.00

Valve Differential Pressure: 0.0

Compressor

Compressor Power

Suction Pressure: 0.0

Suction Temperature: 32.0

Total Efficiency: 80.0

Estimated Flowline Pressure Drop: 0.0

Min: Max:

Sección Gas Lift:

Se utiliza para modelar instalaciones de ESP-gas lift duales

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



الكرخف للبتروم
Alkhorayef Petroleum

FLUID PROPERTIES & PVT

Sección Fluid:

Incluye Especificaciones y propiedades del fluido de entrada

The screenshot shows the 'Fluid' dialog box with the following fields and annotations:

- Oil Gravity:** 0.70 (Annotated: Gravedad API)
- Spec Grav Gas:** 0.650 (Annotated: Gravedad Especifica del gas)
- Water Cut:** 57.6 (Annotated: Corte de Agua)
- Sp Gravity:** 1.000 (Annotated: Gravedad Especifica del agua)
- Salinity:** 0 (Annotated: Salinidad)
- Bubble Point Pressure:** 90.000 (Annotated: Presion de burbuja)
- Producing GOR / GLR:** GOR/OGR: 10.00 (Annotated: Relación Gas/Oil), GLR/LGR: 0.24 (Annotated: Relación Gas/Líquido)
- Gas Impurities:** CO2: 0.000, H2S: 0.000, N2: 0.000 (Annotated: Impurezas del gas %)

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



الكرخف للبتروم
Alkhorayef Petroleum

FLUID PROPERTIES & PVT

Sección PVT Correlations:

- Cambiar el método de correlación de las propiedades del fluido

The screenshot shows the 'PVT Correlations' dialog box with the following fields and annotations:

- Viscosity:** Dead Oil: Beggs & Robinson, Saturated: Beggs & Robinson, Undersaturated: Kartatmodjo, Gas: Lee, Water: Matheve & Russell
- Separator Conditions:** Temperature: 60.0 (Annotated: Temperatura de separación), Pressure: 100.0 (Annotated: Presión de separación)

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



FLUID PROPERTIES & PVT

الخریفة للبترول
Alkhorayef Petroleum

Sección PVT Lab Data:

- Introduzca los datos PVT medidos para ajustar el valor calculado correspondiente

	Pressure
1	psig
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



FLUID PROPERTIES & PVT

الخریفة للبترول
Alkhorayef Petroleum

Sección Viscosity Calibration:

- Introduzca los datos de viscosidad medidos para calibrar la viscosidad calculada

Pt #	Press psia	Temp °F	Viscosity cP	Dead Oil	Gas Sat
1	14.7	150.0	450.0	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	14.7	180.0	130.0	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Calibración de viscosidad:

Ésta función se puede utilizar para asemejarse a valores de viscosidad de laboratorio reales. El proceso de calibración requiere la entrada de una, dos o tres valores de viscosidad conocidas a temperaturas y presiones, ya sea como un Dead oil o valor de la viscosidad del aceite subsaturada especificados.

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



PRESSURE / RATES (DESIGN CRITERIA)

الكرخفا للبتروول
Alkhorayef Petroleum

Sección Pressures:

El proceso de diseño consiste en un sistema así en equilibrio con respecto a tres criterios primarios, la tasa total de flujo, las condiciones de admisión de la bomba, y la profundidad de la bomba. Este diálogo también incluye una sección para establecer la separación de gas para el sistema.

Presión de Intake

TDH

Índice de productividad

Profundidad del Intake

Presión Tubing

Presión Casing

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



INFLOW DATA

الكرخفا للبتروول
Alkhorayef Petroleum

Sección Inflow:

Se utiliza para estimar la contribución del yacimiento hasta el pozo mediante la determinación del Inflow Performance Relationship (IPR) del pozo.

Presión Estática

Nivel de fluido Estático

Nivel de fluido Estático

Índice de productividad

En caso que la data no incluya el IP, se seleccionará la opción **Cal Productivity Index**, para incluir el dato de prueba de caudal y PWF

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



EQUIPMENT SELECTION

الخریفة للبترول
Alkhorayef Petroleum

Sección Equipment Selection:

Incluye, Surface Equipment, Pump and Housing, Gas Separation, Motor and Seal, and Cable Data

The screenshot shows the 'Equipment Selection' window. On the left, there are tabs for 'Surface Equipment', 'Pump & Housing', 'Gas Separation...', 'Motor & Seal', and 'Cable Data'. The 'Pump & Housing' tab is active. The 'Pump Selection' section shows 'Design Frequency' set to 40.000 Hz. The 'Pump' table lists a selected pump: WSP 513 WG-4000 with 198 stages. The 'Motor Selection' section shows a selected motor: WSP 550 701-D. The 'Theoretical Pump Performance' table on the right provides detailed metrics for the selected pump and motor.

Red callouts with arrows point to the following fields:

- Frecuencia de diseño:** Design Frequency (40.000 Hz)
- Selección del fabricante:** Manufacturer (WSP)
- Selección Bomba:** Pump (WSP 513 WG-4000)
- Selección Numero de etapas:** Stages (198)
- Selección Motor:** Motor (WSP 550 701-D)

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



BOMBA

الخریفة للبترول
Alkhorayef Petroleum

The screenshot shows the 'Pump Selection' window. The 'Manufacturer' list includes WSP, Alres, Borep, CAI, Cavendish-ODI, GE ESP, Halliburton, Spromet, Novomet ESP, Schlumberger/Bechtel, Weatherford, and WSP. A table of pump options is displayed with columns for Manufacturer, Series, Model, Max. Stag., Min. Rate (Bbl/D), BEP/OP (Bbl/D), and Max. Rate (Bbl/D). Below the table is a 'Standard Casing Pump Curve' graph showing Head (ft) vs. Rate (Bbl/D) for various pump models. The 'Pump Performance' section shows 'Design PIP' as 1630 and 'Design Cond.' as 2280.00.

Seleccionar bomba desde un banco de datos interno, crear y utilizar un archivo de inventario o importado desde un archivo Equipo Excel.

Si una bomba en particular no puede ser localizada en la lista de bombas disponibles, el tamaño del casing es demasiado pequeño o la bomba ha sido desechada.

Para activar el inventario obsoleto, haga lo siguiente:

1. En el menú Opciones, haga clic en Preferencias del Sistema.
2. Desactive la opción Bomba Lista Obsoleta.

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



الكريف للبتروول
Alkhorayef Petroleum

BOMBA

Pump Selection

Pump | Housing | Derating | Visc Corrections | Gas Interference |

Viscosity Corrections

Type	Calculated Factor *	Entered Factor **
<input checked="" type="checkbox"/> Correct Rate		1.000
<input checked="" type="checkbox"/> Correct Head		1.000
<input checked="" type="checkbox"/> Correct Power		1.150
Efficiency	0.870	

* Correlation factors shown above are the calculated average from all the stages.
** User entered factors will be used for all the stages during calculation. This may deselect some of your equipment.

Para la simulación de la bomba es necesario tener en cuenta los correctores por viscosidad, que ajustan el diseño de acuerdo a las condiciones específicas de cada campo. Estos modifican la eficiencia del equipo según la selección.

- Corrección De Caudal
- Corrección de Cabeza
- Corrección de potencia

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



الكريف للبتروول
Alkhorayef Petroleum

MOTOR

Seleccionar el motor del Banco interno de datos, crear y utilizar un archivo de inventario o el equipamiento importado desde un archivo Excel.

Motor Selection

Motor | Seal |

SubPUMP Data Bank | Inventory | Equipment Excel File | Show Checkboxes | Adjust for Motor Slip

Design Frequency: 40.000 Hz

Rec'd @ 60 Hz 186.1

Manufacturer	Model	Type	HP	Volts	Phase
WSP	550	PT1-T	480.0	4308	3-Phase
WSP	550	PT1-T	480.0	3240	3-Phase
WSP	550	PT1-T	480.0	2475	3-Phase
WSP	550	PT1-D	480.0	4470	3-Phase
WSP	550	PT1-T	480.0	3720	3-Phase
WSP	550	PT1-T	480.0	3225	3-Phase
WSP	440	PT1-D	480.0	2960	3-Phase

Motor Performance

Points Performance (TCH @ Design)

Motor Head Flow

Heat capacity of produced fluid: 0.99 (BTU/lbm-F)

Fluid temperature increase: 3.24 (F)

Flowing fluid temperature: 162.44 (F)

Motor inlet temperature: 200.51 (F)

Motor winding temperature: 240.51 (F)

Motor shaft temperature: 245.51 (F)

Motor Performance

Fluid Velocity: 0.50 ft/sec

Fluid Level: 0.04 ft

Minimum Fluid Velocity: 1.000 ft/sec

Buttons: Pump, Apply, Cancel, Calculate

Especificación de un motor:

1. En el cuadro de diálogo Selección de equipos, haga clic en Seleccionar Motor (Si ya se ha especificado un motor, el botón leerá Cambio de motor).
2. Compare la potencia requerida, que se muestra como HP req @ 60 Hz ;, con la potencia que figuran en el catálogo del fabricante.
3. Haga clic en Calcular para analizar los resultados.
4. Compruebe la velocidad del fluido y el nivel de líquido.

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



الخریفة للبترویل
Alkhorayef Petroleum

HOUSING

Housing:

Seleccione el housing de la Bomba según las etapas. Estas opciones se pueden seleccionar:

- Introduzca Etapas deseado: Entrada manual
 - Etapas calculados: Utilice el valor calculado
 - Lista Housing: seleccione esta opción para calcular la carga del motor
 - Housing completo: Todas las etapas se utilizan
 - Housing parcial: Especificar etapas en blanco
- Seleccione de la lista el housing especificando el deseado, si es la compresora o flotador.

Esta selección es para calcular la carga de la zapata del sello.

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



الخریفة للبترویل
Alkhorayef Petroleum

CABLE

Se selecciona el cable de acuerdo al inventario y la necesidad del diseño.

- Calcula el costo por KW consumido.
- Considera el calibre de cable a utilizar según pérdidas.
- Permite saber la eficiencia eléctrica del diseño.

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...



SELLO

الكرخيف للبتروول
Alkhorayef Petroleum

Motor Selection

Motor Seal

Mfr	Bearing Type	Capacity lb	Chamber Selection
WSP	325 STD	680.0	PS-B-HL
WSP	325 HL	1870.0	PS-B-HL HS
WSP	375 STD	680.0	PS-B-HL UHS
WSP	375 HL	1870.0	PS-BpB-HL
WSP	400 HL	7291.3	PS-BpB-HL HS
WSP	400-2 HL	7291.3	PS-BpB-HL UHS
WSP	540 HL	12500.0	PS-BpB-HL
WSP	540-2 HL	12500.0	PS-BpB-HL HS
WSP	738 HL	14583.3	PS-BpB-HL UHS

* Obsolete by Vendor

Thrust Load	
Operating	2556 lb
Maximum	3740 lb

Chamber Description
double bag. HS shaft. HL bearing

Motor
[WSP 550 XT1-D]

Your Selected Seals

Preset
WSP 540 HL PS-BpB-HL HS

Customize

Utilice el cuadro de diálogo para ver el funcionamiento y el empuje de carga máxima de los cojinetes de la bomba se manejan en función del tipo de housing.

Los siguientes elementos se encuentran en el cuadro de diálogo Sección Sello:

- Secciones herméticas Motor
- Selección de Cámara
- La carga de empuje
- Cámara Descripción

Where there is a well, there is a way, there is Alkhorayef ...


ANEXO 3

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA SELECCIONADO

PETROAMAZONAS		PETROAMAZONAS EP		المرافق البترولية Abulrajah Petroleum	
CAMPO:	TIPUTINI	POZO:	TPTC-006	Inst. N.º:	2
ZONA PRODUCTORA:	M1	Anterior Run Life:	N/D		
Diseño realizado por:	CRISTINA VELEZ	Fecha:			
Diseño aprobado por:	JEMMY MERINO	Fecha:			
INFORMACION DEL POZO					
Topo de Perforaciones (Datum)	5674	Ft - MD	Topo de perforaciones TVD:	4.587	Ft - TVD
Profundidad de la Bomba:	5365	Ft - MD	Profundidad de la bomba TVD:	4.344	Ft - TVD
Modelo "Inflow"	Productivity Index		Indice de Productividad:	3.55	STB/Psig
Presión en Well Head:	165	Psig	Gravedad específica del Aceite:	-	SG (oil)
Temperatura en Well Head:	175	°F	Gravedad específica del Agua	1.02	SG(water)
Temperatura de Fondo:	159	°F	Corte de Agua (WC):	52%	
Presión de Yacimiento:	950	Psig	GOR	40	scf/stb
Presión de Burbuja:	220	psig	Gravedad específica del Gas:	1.14	SG(air)
DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA SELECCIONADO					
92 etapas MOTOR,560 SERIES,UT,XT1,287HP,1860V,92.6A,FH - MOTOR,560 SERIES,UT,XT1,287HP,1860V,92.6A,FH					
VARIABLES	CASO BASE		PROYECCION A UN AÑO		
	GOR	40	40		
Indice de Productividad	3,55	7,10			
Corte de Agua	52%	90%			
Tasa de Flujo deseada	2500.0	5000.0			
C O N D I C I O N E S	Profundidad de la Bomba	5365	5365		
	Tasa de flujo en Operación	2546 BFPD	5044 BFPD		
	Tasa de Flujo total al INTAKE	2620 BFPD	5192 BFPD		
	Tasa de Líquido al Intake	2596 BFPD	5117 BFPD		
	Tasa de Gas dentro de la Bomba	0%	0%		
	Fracción de Volumen de Gas a la entrada	11,40	0,00		
	Gas dentro de la Bomba	0%	0%		
	Eficiencia de Separación	80%	80%		
	Cabeza Dinámica Total (TDH)	4245 FT	4376 FT		
	Nivel de Fluido sobre la Bomba (FLAP)	455 FT	611 FT		
	Presión a la Entrada (PIP)	197 PSI	264 PSI		
	Presión de Descarga	2030 PSI	2189 PSI		
Presión de Fondo Fluyendo (Pwf)	5398 PSI	5102 PSI			
FRECUENCIA DE OPERACION		52,0 Hz	60,0 Hz		
B D O E M S B C A	BOMBA - Modelo & Tipo		MOTOR,560 SERIES,UT,XT1,287HP,1860V,92.6A,FH		MIXED FLOW HIGH
	Serie de la Bomba	538			VOLUMEN
	Configuración de la Bomba	FLUJO MIXTO, SERIE 538, FULL AR C,UHSS, FH			MIXED FLOW
	Número de etapas	92 etapas			
M O T O R	Descripción y tipo del motor		MOTOR,560 SERIES,UT,XT1,287HP,1860V,92.6A,FH		
	Velocidad de operación del Motor	3043 RPM	3513 RPM		
	Amperaje del Motor	70,4 A	83,2 A		
	Voltaje del motor	1612 V	1860 V		
	Carga total de Operación	71,2 %	83,2 %		
	FACTOR DE CARGA	71,2 %	83,2 %		
	Eficiencia	88%	89%		
	Temperatura MLE	206,8 F	206,5 F		
Velocidad del fluido	0,68 ft/seg	1,38 ft/seg			
TEMPERATURA DEL MOTOR		169 F	167 F		
DESCRIPCION EQUIPO DE SUPERFICIE					
V S & U T	Voltaje de Superficie	2255 V	2596 V		
	KVA Requerido	242 KVA	293 KVA		
	VSD Instalado	VSD 520 KVA 480V			PROPIEDAD APC
	SUT Instalado	XFMR 520 KVA MULTITAP			PROPIEDAD APC
D E S C R I P C I O N	Discharge	Head Discharge 513/538 to 3 1/2",FH			
	Discharge Sensor	Sensor Discharge 513/538, FH CAPILAR			
	Pump	PUMP, WE5000, #150 HSG, 92 STG,C,FULL AR,UHSS,FH			
	Pump				
	Pump				
	Pump				
	Pump				
	Intake or Separator Gas	GAS SEPARATOR, 538 SER, VORTEX, 3B,AR STD,HSS,FH			
	Seal Upper / Tandem	PROSEAL, 540 SER,BPBSL,HL,AR,UHSS,FH,HT			
	Seal Lower	PROSEAL, 540 SER,BPBSL,HL,AR,UHSS,FH,HT			
	Motor Upper				
	Motor Upper	MOTOR,560 SERIES,UT,XT1,287HP,1860V,92.6A,FH			
	Sensor Gauge	E7 ESP DOWNHOLE SENSOR, FH			
	Cable	ESP Cable, 05kV, 2 AWG Solid Copper, Tube 3/8" SST GALVANIZED STEEL			
	Motor guide	CENTRALIZADOR CSG 7"			
Motor Jacket					
Y Tool					
RESUMEN CRITERIO DE SELECCION DEL EQUIPO BES					
BOMBA	FLUJO MIXTO, SERIE 538, FULL AR C,UHSS, FH				
PROTECTOR	PROTECTOR TANDEM, ACORDE A LA INCLINACION DEL POZO				
MOTOR	MOTOR,560 SERIES,UT,XT1,287HP,1860V,92.6A,FH				
SENSOR	SENSOR E7, CON LECTURA DE PRESION DE DESCARGA, FH				
CABLE	PROVISTO POR APC				
EQUIPO DE SUPERFICIE	PROPIEDAD DE APC				

ANEXO 4

SURVEY DE POZO TPTC-006

VISUALIZACION SURVEY DE POZO										
POZO CAMPO		TPTC-006 TIPUTINI								
SURVEY							INFORMACION DE POZO			
MD (ft)	Inclinacion (°)	Direccion (°)	TVD (ft)	+N-S (ft)	+E-W (ft)	DLS (/100ft)	Change DLS	Señale con 1 la profundidad de cada elemento		
							Asentamiento de BOMBA	Nivel de PUNZADOS	Tope de LINER	
0.000	0.000	130.000	0.000	N 37.41	E 30.13	0.000	0.0			
100.000	0.100	319.700	100.000	N 37.48	E 30.07	0.100	0.1			
200.000	0.230	282.660	200.000	N 37.59	E 29.82	0.162	0.1			
300.000	0.650	189.720	299.997	N 37.08	E 29.53	0.701	0.5			
400.000	1.550	172.090	399.978	N 35.18	E 29.62	0.951	0.3			
500.000	2.470	154.090	499.916	N 31.90	E 30.75	1.105	0.2			
600.000	3.590	141.900	599.776	N 27.50	E 33.62	1.286	0.2			
700.000	4.540	138.690	699.523	N 22.06	E 38.16	0.977	-0.3			
800.000	5.380	139.740	799.148	N 15.51	E 43.81	0.845	-0.1			
900.000	6.180	151.810	898.642	N 7.19	E 49.38	1.451	0.6			
1.000.000	7.380	170.580	997.954	S 3.89	E 52.97	2.504	1.1			
1.100.000	9.000	186.300	1.096.943	S 18.01	E 53.17	2.750	0.2			
1.200.000	10.600	191.020	1.195.482	S 34.81	E 50.55	1.789	-1.0			
1.300.000	12.780	201.660	1.293.413	S 54.12	E 44.71	3.057	1.3			
1.400.000	13.890	204.380	1.390.717	S 75.34	E 35.67	1.275	-1.8			
1.479.000	15.390	204.940	1.467.149	S 93.48	E 27.34	1.907	0.6			
1.601.560	19.510	203.910	1.584.044	S 126.95	E 12.18	3.371	1.5			
1.696.040	22.670	204.870	1.672.185	S 157.90	W 1.88	3.364	0.0			
1.788.940	25.270	204.830	1.757.066	S 192.14	W 17.74	2.799	-0.6			
1.884.190	26.540	206.300	1.842.744	S 229.67	W 35.70	1.494	-1.3			
1.980.310	28.870	207.870	1.927.839	S 269.44	W 56.07	2.540	1.0			
2.075.080	32.110	208.220	2.009.494	S 311.87	W 78.68	3.424	0.9			
2.168.120	34.320	208.420	2.087.328	S 356.73	W 102.86	2.378	-1.0			
2.262.630	36.350	206.880	2.164.425	S 405.16	W 128.21	2.345	0.0			
2.359.240	39.020	206.100	2.240.874	S 458.01	W 154.53	2.807	0.5			
2.451.630	41.220	205.690	2.311.520	S 511.57	W 180.53	2.398	-0.4			
2.546.460	43.310	205.160	2.381.695	S 569.17	W 207.90	2.236	-0.2			
2.638.810	45.470	205.200	2.447.684	S 627.63	W 235.39	2.339	0.1			
2.735.990	47.840	205.280	2.514.383	S 691.55	W 265.52	2.440	0.1			
2.829.070	49.030	204.840	2.576.197	S 754.64	W 295.02	1.326	-1.1			
2.896.520	49.370	204.760	2.620.210	S 800.99	W 316.44	0.512	-0.8			
3.013.760	48.350	205.630	2.697.343	S 880.88	W 354.02	1.034	0.5			
3.108.890	47.770	205.580	2.760.923	S 944.80	W 384.00	0.611	-0.4			
3.203.080	47.470	205.500	2.824.411	S 990.37	W 414.59	0.325	-0.3			
3.297.950	47.310	205.090	2.888.638	S 1070.80	W 444.43	0.360	0.0			
3.392.380	47.030	204.940	2.952.834	S 1133.36	W 473.71	0.319	0.0			
3.487.060	46.850	204.720	3.017.478	S 1196.14	W 502.76	0.255	-0.1			
3.579.800	46.650	204.540	3.081.022	S 1257.54	W 530.91	0.258	0.0			
3.674.000	46.390	203.830	3.145.842	S 1319.89	W 558.92	0.613	0.4			
3.767.490	45.730	203.770	3.210.715	S 1381.49	W 586.08	0.707	0.1			
3.860.840	45.760	204.530	3.275.860	S 1442.50	W 613.44	0.584	-0.1			
3.956.900	46.700	206.000	3.342.312	S 1505.22	W 643.05	1.476	0.9			
4.051.530	46.110	206.470	3.407.564	S 1566.69	W 673.34	0.720	-0.8			
4.145.110	47.000	206.840	3.471.915	S 1627.42	W 703.82	0.993	0.3			
4.239.930	47.060	206.730	3.536.546	S 1689.35	W 735.09	0.106	-0.9			
4.334.630	46.960	206.740	3.601.119	S 1751.22	W 766.25	0.106	0.0			
4.428.530	46.860	206.340	3.665.266	S 1812.56	W 796.89	0.329	0.2			
4.522.830	46.670	206.440	3.729.861	S 1874.11	W 827.43	0.216	-0.1			
4.617.020	46.430	206.270	3.794.638	S 1935.38	W 857.78	0.287	0.1			
4.708.730	46.420	205.900	3.857.854	S 1995.05	W 887.00	0.292	0.0			
4.805.820	44.370	205.050	3.926.029	S 2057.45	W 916.74	2.201	1.9			
4.899.560	44.140	204.900	3.993.169	S 2116.75	W 944.36	0.270	-1.9			
4.992.530	42.040	204.310	4.061.060	S 2174.49	W 970.81	2.300	2.0			
5.085.820	41.830	203.930	4.130.459	S 2231.39	W 996.28	0.353	-1.9			
5.180.770	39.550	203.310	4.202.450	S 2288.10	W 1021.09	2.439	2.1			
5.276.570	39.160	203.430	4.276.525	S 2343.86	W 1045.19	0.415	-2.0			
5.371.080	38.940	203.570	4.349.922	S 2398.47	W 1068.93	0.251	-0.2	1	LINER @ 5380	1
5.462.960	38.920	203.810	4.421.396	S 2451.34	W 1092.13	0.166	-0.1			
5.585.020	38.090	203.510	4.516.914	S 2520.94	W 1122.62	0.697	0.5			
5.679.260	37.330	202.700	4.591.469	S 2573.96	W 1145.25	0.963	0.3		1	
5.773.480	35.870	201.750	4.667.109	S 2625.95	W 1186.50	1.682	0.7			
5.867.920	35.030	200.650	4.744.042	S 2677.02	W 1186.31	1.117	-0.5			
5.961.000	34.050	200.180	4.820.714	S 2726.47	W 1204.72	1.091	0.0			
6.004.000	33.370	199.850	4.856.484	S 2748.90	W 1212.89	1.638	0.5			
6.215.193	50.591	167.720	4.511.220	-3.564.269	937.381	1.000	-0.6			
6.300.000	49.743	167.720	4.565.543	-3.627.903	951.233	1.000	0.0			
6.315.769	49.585	167.720	4.575.750	-3.639.649	953.789	1.000	0.0			
6.400.000	48.743	167.720	4.630.828	-3.701.918	967.343	1.000	0.0			
6.411.909	48.624	167.720	4.638.690	-3.710.657	969.246	1.000	0.0			
6.434.190	48.401	167.720	4.653.450	-3.726.966	972.795	1.000	0.0			
6.500.000	47.743	167.720	4.697.424	-3.774.807	983.209	1.000	0.0			
6.550.415	47.239	167.720	4.731.490	-3.811.121	991.114	1.000	0.0			
6.600.000	46.743	167.720	4.765.312	-3.846.550	998.825	1.000	0.0			
6.634.190	46.401	167.720	4.788.816	-3.870.812	1.004.106	1.000	0.0			