



**ANALISIS TECNICO-ECONOMICO DEL SISTEMA HIDRAULICO DE BOMBEO  
MECANICO “SERINPET”**

**MARLIO JAVIER BAHAMON VARGAS  
NICOLAS NUÑEZ DIAZ**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS  
NEIVA – HUILA  
2014**



**ANALISIS TECNICO-ECONOMICO DEL SISTEMA HIDRAULICO DE BOMBEO  
MECANICO “SERINPET”**

**MARLIO JAVIER BAHAMON VARGAS  
NICOLAS NUÑEZ DIAZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero  
de Petróleos**

**DIRECTOR DEL PROYECTO  
ALEJANDRO LADRON DE GUEVARA RANGEL  
INGENIERO MECATRONICO**

**CODIRECTOR DEL PROYECTO  
ERVIN ARANDA ARANDA  
INGENIERO DE PETROLEOS  
DOCENTE UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETROLEOS  
NEIVA – HUILA  
2014**



## Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Neiva, Enero 31 de 2014



## DEDICATORIA

*En primer lugar doy gracias a Dios por darme la vida, la sabiduría y las fuerzas para sacar adelante mi carrera y este proyecto, en segundo lugar a esos lindos seres que llenan los días de amor, comprensión y sabiduría, mi hermosa madre AMANDA VARGAS HORTA y a mi incondicional padre HECTOR BAHAMON CAPERA, a mis excelentes hermanitos HECTOR FABIO BAHAMON VARGAS y BLADIMIR BAHAMON VARGAS, y en tercer lugar a todas aquellas personas que me han acompañado, aquellas personas que de una u otra manera me han brindado apoyo, cariño, comprensión y que de alguna manera han creído en mí.*

**MARLIO JAVIER BAHAMON VARGAS**

*A Dios, por las bendiciones recibidas y por acompañarme en todas las situaciones de mi vida.*

*A mis padres por su apoyo incondicional, comprensión y amor que han tenido conmigo en cada logro de mi vida.*

*A mi hermana, por su compañía fiel y significativa a toda hora y momento.*

*Igualmente a toda mi familia y amigos que de una u otra forma han sido partícipes en la realización de este logro.*

**NICOLAS NUÑEZ DIAZ**



## AGRADECIMIENTOS

*Los autores agradecen de manera muy especial a:*

*Al ingeniero Alejandro Ladrón de Guevara Rangel, por sus enseñanzas, colaboración, dedicación y por habernos brindado su apoyo en la realización del proyecto en representación de la empresa SERINPET.*

*Al ingeniero Ervín Aranda Aranda por ser un apoyo en nuestra formación académica y por poner a nuestro servicio sus conocimientos para el desarrollo de este proyecto.*

*A los ingenieros Hard W Barrios J coordinador de producción-Campo Moriche Mansarovar Energy Colombia Ltda. por su tiempo y apoyo en la elaboración del proyecto.*

*Al ingeniero Jesús Hernando Ricardo G. Gerente de operaciones Campo-Moriche Mansarovar Energy Colombia Ltda. Por su incondicional apoyo y gran atención.*



## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	11
INTRODUCCION	15
1. MARCO TEORICO	16
1.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA	16
1.1.1 EQUIPO DE SUPERFICIE	16
1.1.1.1 PRIMER MODULO	17
1.1.1.1.1 Motor eléctrico	17
1.1.1.1.2 Bomba superficial	20
1.1.1.1.3 Circuitos Hidráulicos y Eléctricos	21
1.1.1.1.4 Funcionamiento del Circuito Hidráulico	22
1.1.1.2 SEGUNDO MODULO	22
1.1.1.2.1 Pedestal	22
1.1.1.2.2 Actuador Hidráulico	23
1.1.1.3 FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD HIDRAULICA	26
1.1.1.4 VENTAJAS DE LA UNIDAD HIDRAULICA	28
1.1.2 EQUIPO DE SUBSUELO	29
1.1.2.1 Sarta de Varillas	30
1.1.2.1.1 Varillas API	30
1.1.2.1.2 Varillas NO-API	31
1.1.2.1.3 Varillas Electra	32
1.1.2.1.4 Varillas Continuas	32
1.1.2.1.5 Varillas de Fibra de Vidrio	32
1.1.2.1.6 Varillas Norris 97	33
1.1.2.2 TUBERIA DE PRODUCCION	33
1.1.2.3 BOMBA DE SUBSUELO	34
1.1.2.3.1 Bombas de Tubería	34
1.1.2.3.2 Bombas de Varilla	36
1.1.2.4 ANCLA DE TUBERIA Y NIPPLE DE ASENTAMIENTO	42
2. ANALISIS DEL METODO DE PRODUCCION DEL SISTEMA HIDRAULICO DE BOMBEO MECANICO SERINPET MINI	44
2.1 DESARROLLO DEL METODO API RP 11 – L	44



2.1.1 Requerimientos de desarrollo del método	44
2.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL METODO API RP 11 – L PARA EL POZO USCO 1	45
2.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL METODO API RP 11 – L PARA EL POZO UCO 2	60
2.4 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL METODO API RP 11 – L PARA EL POZO UCO 3	62
2.5 RESUMEN DEL ANALISIS TECNICO	68
3. ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO	70
3.1 INTRODUCCION	70
3.2 METODOS UTILIZADOS EN LA EVALUACION DEL PROYECTO	70
3.2.1 Valor Actual Neto	70
3.2.2 Tasa Interna de Retorno	71
3.2.3 Relación Beneficio Costo	72
3.3 TASA REPRESENTATIVA DEL MERCADO	73
3.4 CONDICIONES PARA EL ANALISIS ECONOMICO	73
3.5 INVERSION DEL PROYECTO	74
3.6 ANALISIS ECONOMICO	77
3.7 EVALUACION DEL PROYECTO	78
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	



## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 Eficiencia máxima de deslizamiento de los motores NEMA	19
Tabla 1.2 Especificación de fabricación – varillas API	31
Tabla 1.3 Especificaciones de varillas API	31
Tabla 1.4 Especificaciones de varillas de fibra de vidrio.	33
Tabla 1.5 Tipo de bomba y profundidad máxima de asentamiento	36
Tabla 2.1 Datos de entrada pozo Usco 1	45
Tabla 2.2 Tabla de varillas API	46
Tabla 2.3 Datos de la tubería	47
Tabla 2.4 Datos de entrada pozo Usco 2.	60
Tabla 2.5 Resultados de cálculo del método API RP 11 – L Para el pozo Usco 2.	61
Tabla 2.6 Datos de entrada pozo Usco 3	62
Tabla 2.7 Resultados de cálculo del método API RP 11- L Para la unidad convencional de Bombeo Mecánico en el pozo Usco 3.	63
Tabla 2.8 Valores de Clf para varios tipos de motores	66
Tabla 2.9 Resumen de las características de operación de las unidades Instaladas en los pozos Usco 1, 2 y 3.	68
Tabla 3.1 Viabilidad del proyecto	73
Tabla 3.2 Tasa Representativa del Mercado	73
Tabla 3.3 Costos estimados para la instalación y puesta en marcha de una unidad Hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI	75
Tabla 3.4 Análisis Económico del Proyecto	76
Tabla 3.5 Evaluación del proyecto	80



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1.1. Motor Eléctrico de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI	20
Figura 1.2. Placa de especificaciones del motor de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI	20
Figura 1.3. Esquema del circuito hidráulico de la unidad de bombeo Mecánico SERINPET MINI	21
Figura 1.4. Pedestal de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI	23
Figura 1.5. Actuador hidráulico de la unidad de bombeo mecánico SERINPET MINI	24
Figura 1.6. Diagrama de los componentes del actuador hidráulico	24
Figura 1.7. Instalación final del pedestal y el actuador hidráulico	26
Figura 1.8. Bombas de subsuelo de tubería	35
Figura 1.9. Bombas de subsuelo tipo varilla	36
Figura 1.10. Designación API de las bombas de subsuelo	38
Figura 1.11. Bombas API	39
Figura 1.12. Comportamiento de las válvulas viajeras y fijas durante un ciclo de bombeo	40
Figura 1.13. Ancla de tubería	42
Figura 1.14. Nipple de asentamiento	43
Figura 2.1. Correlación para corregir la carrera del pistón	50
Figura 2.2. Correlación para calcular la carga máxima sobre la barra pulida	52
Figura 2.3. Correlación para calcular la carga mínima sobre La sarta de varillas	53
Figura 2.4. Correlación para calcular el torque máximo	54
Figura 2.5. Correlación para determinar la potencia en la sarta de varillas	55
Figura 2.6. Correlación para la corrección del torque máximo	56



## LISTA DE GRAFICAS

	<b>Pág.</b>
Grafico 3.1. Tiempo de recuperación del proyecto	77
Grafico 3.2 Calculo de la TIR por el método grafico	79



## RESUMEN

En la actualidad la industria del petróleo tiene que superar grandes retos en la producción de aceite y gas debido a las dificultades operacionales y de acceso a los sitios donde se realizan los nuevos descubrimientos de hidrocarburos. De ahí que las herramientas a utilizar sean fáciles de maniobrar, instalar, transportar, económicas, y de peso ligero.

La realización de este proyecto tiene como enfoque principal hacer un análisis técnico económico comparativo del sistema convencional de bombeo mecánico y el sistema hidráulico de bombeo mecánico SERINPET MINI. El proyecto consta de tres capítulos, sus contenidos se detallan a continuación:

El primer capítulo consiste en la parte teórica del trabajo, en este se obtienen las herramientas necesarias para tomar una decisión correcta de aplicar el sistema hidráulico de bombeo mecánico SERINPET MINI a un pozo. Se describe cada una de las partes que conforman este sistema (equipo de superficie y equipo de subsuelo), se explica la función que cumple cada una de éstas y por último se describe el funcionamiento total del sistema.

En el segundo capítulo se hace el análisis técnico de los pozos Usco 1, 2 y 3, donde se encuentran instaladas dos unidades hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI y una unidad convencional de bombeo mecánico respectivamente. En este análisis se tiene en cuenta el método API RP - 11L; se aclara que estos tres pozos hacen parte de un mismo yacimiento, en los cuales se produce el mismo caudal de aceite con la misma gravedad API que están a la misma profundidad y con un nivel de fluido muy parecido. Donde posteriormente se calcula el torque al cual se somete la unidad de bombeo, la carga máxima de las varillas, la longitud de carrera del pistón y la potencia del motor. Con estas variables calculadas se hace el análisis para seleccionar la unidad apropiada para el pozo.

El tercer capítulo corresponde al análisis económico; esto con el fin de evaluar la factibilidad de instalar el sistema hidráulico de bombeo mecánico SERINPET MINI en algunos pozos. En este estudio se hace el análisis de las inversiones iniciales, ingresos, egresos, con lo cual se puede determinar si el proyecto resulta rentable o no; evaluado con el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio/costo (RBC). Para realizar el análisis económico se tienen en cuenta datos de producción, valor de comercialización del petróleo y la proyección del precio del barril (promedio del barril del petróleo de los primeros seis meses del año 2013).



Los costos utilizados fueron proporcionados directamente por la compañía operadora y por las empresas que prestan el servicio a los diferentes pozos evaluados.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

En los Anexos, se incluyen las tablas y figuras utilizadas para realizar los cálculos y análisis del trabajo, como por ejemplo el método API RP – 11L, igualmente se anexan los recursos utilizados para el desarrollo del proyecto.



## ABSTRACT

Nowadays oil industry has to overcome great challenges regarding oil and gas production due to the operational difficulties and the access to the places where new Hydrocarbon discoveries take place. Hence, the tools to be used should be easy to manipulate, install, transport as well as economic and lightweight.

The realization of this project is mainly focused for a comparative techno-economic analysis of the conventional beam pumping system and SERINPET MINI which is a hydraulic beam pumping system, this project has three chapters, its content is described as it follows:

First chapter consists in the theoretical part of the project, in this one the necessary tools are obtained to make the right decision of applying the SERINPET MINI hydraulic beam pumping system on a well. Each of the system parts are described (surface and subsurface units), the function of each part is explained as well as the total system equipment operation.

In the second chapter a technical analysis Usco wells 1, 2 and 3 is made, where two units SERINPET MINI hydraulic beam pumping system and a conventional beam pumping unit are installed respectively. In this analysis the API RP-11L is taken into account; it's important to clarify that this two wells belong to the same reservoir, in those the same production rate is produced and both wells have the same API (American Petroleum Institute) gravity and these wells are located at the same depth with a similar fluid level. Afterwards the maximum rod torque is calculated, maximum rod load, piston stroke and the engine power. When these variables are calculated an analysis is made to choose the appropriate unit for the well.

In the third chapter the economic analysis is made; with the purpose of evaluating the feasibility of installed SERINPET MINI hydraulic beam pumping system in some wells. In this study an analysis of the initial investments, incomes, and egress is made and using the previous variables we can determine if this project is profitable, by using Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Cost Benefit Analysis (CBA). In order to carry out the economic analysis it should be taken into account the production data, marketing value of oil and the barrel price forecast (average of the oil barrel during the first six months on 2013).

The costs were directly provided by the operator company and the services companies which operates the wells.



Finally the conclusions and the recommendations are shown.

In the annexes, charts and figures are included used to make the calculations and work analysis, as example the API RP-11L method, likewise the necessary resources are attached in order to develop the project properly.



## INTRODUCCION

En la industria petrolera es importante investigar nuevas tecnologías que faciliten y dinamicen los procesos en la adquisición de hidrocarburos; esto debido a la dificultad a la hora de extraer petróleo y los inconvenientes inherentes cuando se van a explotar nuevas zonas. En el mundo, varios campos presentan dificultades en la extracción de hidrocarburos, tales como la profundidad, la geometría, consolidación de las formaciones, las características de los fluidos, entre otras; generando así algunas pérdidas que se pueden mitigar haciendo modificaciones en algunos sistemas de levantamiento donde se integra un poco el funcionamiento de uno con el funcionamiento de otro. Todo esto es posible gracias a estudios confiables y precios del mercado, además del uso correcto de equipos y herramientas. Es allí donde surge el sistema hidráulico de bombeo mecánico SERINPET.

En el presente trabajo se realiza un análisis técnico – económico de las unidades hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI instaladas en un campo colombiano, donde se hace el estudio de pozos con propiedades similares en cuanto a producción, profundidad, estados mecánicos y características del fluido. Esto para tener una comparación precisa entre ellos y resultados más confiables, igualmente de tener bases para la toma de decisiones futuras en el buen desarrollo del campo.

Estas unidades hidráulicas de bombeo mecánico son unidades que se consiguen a bajo precio en el mercado, tienen algunas ventajas como el mantenimiento de empaques, rodamientos y componentes eléctricos. Es por eso que algunos clientes en el mercado nacional han apostado en la implementación de estas unidades hidráulicas de levantamiento artificial, pues ven en ellas una buena alternativa para hacer que el negocio de producción de hidrocarburos crezca ahorrando en costos de adquisición y mantenimiento.

Finalmente, es importante mencionar que esta tecnología ha sido implementada por SERINPET LTDA durante los últimos 10 años, convirtiéndose así en la única empresa colombiana que ha enfrentado el reto de desarrollar y construir nuevas tecnologías para el levantamiento artificial de hidrocarburos.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA

Las unidades hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI son un desarrollo tecnológico que tienen como objetivo final trabajar como cualquier otra unidad de bombeo mecánico convencional, ya que estas lo que hacen es subir y bajar una sarta de varillas que accionan una bomba de subsuelo colocando así el pozo en producción; pero a diferencia de las unidades convencionales de bombeo mecánico estas realizan el trabajo con energía hidráulica. La producción que se puede obtener mediante este sistema hidráulico varía dependiendo de algunos factores como la profundidad del pozo, la viscosidad del crudo, etc. Esta tecnología tiene aplicabilidad en pozos de bajo potencial debido a la alta eficiencia energética y esto hace que sea viable la extracción de hidrocarburos en campos maduros o inactivos. El sistema hidráulico de bombeo mecánico SERINPET MINI está constituido principalmente por dos partes, las cuales son:

- Equipo de Superficie
- Equipo de Fondo

#### 1.1.1 EQUIPO DE SUPERFICIE

Una unidad hidráulica de bombeo mecánico debe tener suficiente capacidad para levantar el fluido que se desea, también debe tener una designación apropiada o código de referencia que las distinga en el mercado, este código comprende cuatro factores principales que en su orden son: motor eléctrico (Hp), capacidad estructural (miles de libras), longitud del recorrido (pulgadas), y velocidad máxima de bombeo (Stokes por minuto).

Estas unidades se construyen en distintos tamaños. La unidad hidráulica de potencia se construye en referencias que van desde 2 hasta 150 Hp, el pedestal y el actuador hidráulico se construyen en tamaños que permiten tener fuerzas que varían de 10.000 a 50.000 Lb, pudiéndose hacer cualquier combinación entre unidades hidráulicas de potencia y pedestales con actuadores hidráulicos.

Normalmente SERINPET que es el fabricante del equipo, incorpora letras para describir ciertas características de las unidades. Por ejemplo en el manual de instalación, operación y mantenimiento de las unidades hidráulicas de bombeo mecánico aparece:





## A – 15 – 7 – 80 – 3

Dónde:

- A: Tipo de motor que utiliza la unidad hidráulica de potencia, A para eléctricos, B para motores Diésel, C para motores a gas.
- 15: Caballaje del motor, motor de 15 Hp.
- 7: La fuerza que puede realizar el pedestal y actuador hidráulico, ó máxima carga de diseño estructural en (miles de libras).
- 80: Máxima longitud del recorrido del pedestal y actuador hidráulico en (pulgadas).
- 3: La máxima velocidad que una determinada unidad hidráulica de potencia puede suministrarle a dicho actuador hidráulico y está dada en ciclos por minuto. (Stokes por minuto).

En general el equipo de superficie de las unidades Hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI está construido en forma modular. Estos módulos se describen a continuación:

- Primer modulo
- Segundo modulo

### 1.1.1.1 PRIMER MODULO

Este primer módulo está constituido por la unidad hidráulica de potencia, que a su vez está conformada por **el motor eléctrico, la bomba, circuitos hidráulicos y eléctricos** que en conjunto se encargan de proporcionarle la energía hidráulica al segundo módulo. A continuación se describen las partes que conforman el primer módulo.

#### 1.1.1.1.1 MOTOR ELECTRICO

La función del motor eléctrico es transformar la energía eléctrica en energía mecánica para así suministrar la potencia que el sistema de bombeo necesita. La potencia del motor medida en caballos de fuerza (hp) depende de algunos parámetros como profundidad, nivel de fluido, velocidad de bombeo, razón por la que se debe realizar un buen diseño del tamaño del motor, ya que si se



sobredimensiona, aunque se garanticen los caballos de fuerza, disminuirá la eficiencia del mismo.

El motor de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI generalmente es un motor eléctrico debido a que facilita el análisis del comportamiento de la unidad en dos aspectos:

1. Permite medir con un amperímetro el rango de trabajo y así observar cuando existe una pérdida o sobrecarga del peso en la sarta de varillas sin interferir con la operación del pozo.
2. Tienen un bajo costo inicial, bajo costo de mantenimiento y son fáciles de ajustar a un sistema automático.

El motor eléctrico en sí, es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica (movimiento rotatorio), con objeto de que efectúe un trabajo útil. Los motores funcionan a base de interacción de dos campos magnéticos: uno se produce alrededor de un conductor que lleva corriente y otro es un campo magnético fijo. Un motor común produce movimiento rotatorio continuo, esto lo hace originando una fuerza de giro o par sobre un conductor que lleva corriente al cual se le ha dado forma de espiral. Cuanto mayor sea el par, más trabajo útil puede desempeñar el motor.

Según la NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) clasifica los motores dependiendo del deslizamiento y las características de torque durante el arranque, por ejemplo NEMA D, NEMA C, NEMA B, etc.

El porcentaje de deslizamiento es definido de la siguiente manera:

$$S = \frac{(S_g - S_{fl})}{S_g} \times 100$$

Dónde:

$S$ : Porcentaje de deslizamiento.

$S_g$ : Es la velocidad de sincronía del motor (generalmente 1200 rpm).

$S_{fl}$ : Es la velocidad para cargas completas.

La variación de velocidad es diferente del deslizamiento, y se define así:

$$S_{var} = \frac{(S_{max} - S_{min})}{S_{max}} \times 100$$

Dónde:

$S_{var}$ : Porcentaje de variación de velocidad.

$S_{max}$ : Deslizamiento máximo.

$S_{min}$ : Deslizamiento mínimo.

A continuación se indica en la tabla 1.1 los tipos de motores y su máximo deslizamiento.

**Tabla 1.1** Eficiencia máxima de deslizamiento de los motores NEMA.

MOTOR NEMA	DESLIZAMIENTO MAX (%)
B	3
C	5
D	13

Fuente: Manual de optimización de Bombeo Mecánico, THETA Enterprise inc.  
Realizado por: Los autores.

## MOTORES DE ULTRA ALTO DESLIZAMIENTO

Motores eléctricos especiales con deslizamiento mayor al 13% son denominados motores de ultra alto deslizamiento. Estos son diseñados para variaciones altas de velocidad y pueden ayudar a reducir las cargas de las varillas. Se pueden calibrar los motores de ultra alto deslizamiento en diferentes modos dependiendo del deslizamiento y torque en el arranque deseado. El modo en bajo torque ofrece los más bajos torques en la arrancada y las variaciones de velocidad más bajas. Motores de ultra alto deslizamiento usualmente tienen un modo medio o bajo-medio con características entre los modos de bajo y alto torque.

Un dimensionamiento correcto del motor de ultra alto deslizamiento podría tener una variación de velocidad de hasta un 50%. Usualmente esto resulta en torques más bajos en la caja de engranaje y cargas en las varillas comparado a sistemas con unidades motrices de bajo deslizamiento. Un motor de ultra alto deslizamiento debe ser correctamente dimensionado y aplicado para las condiciones correctas del pozo para reducir el torque a través de las variaciones altas de velocidad. Un motor sobre diseñado puede no cargarse lo suficiente para variar la velocidad y podría realmente comportarse como un motor NEMA D. En la figura 1.1 y 1.2 se observa el Motor eléctrico de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET y sus especificaciones respectivamente.

**Figura 1.1** Motor eléctrico de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI.



Fuente: Unidad Hidráulica de Bombeo mecánico SERINPET MINI.  
Realizado por: Los autores.

**Figura 1.2** Placa de especificaciones del motor de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI.



Fuente: Unidad Hidráulica de Bombeo mecánico SERINPET MINI.  
Realizado por: Los autores.

### 1.1.1.1.2 BOMBA SUPERFICIAL

La bomba que se utiliza en superficie es una bomba hidráulica. Esta bomba transforma la energía mecánica proveniente del motor en energía hidráulica. Se utiliza para incrementar la presión y velocidad del fluido incompresible (aceite), moviéndolo de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

Existen diferentes tipos de bombas hidráulicas dependiendo de su principio de funcionamiento como son: Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas y Bombas rotodinámicas (Centrifugas, axiales).

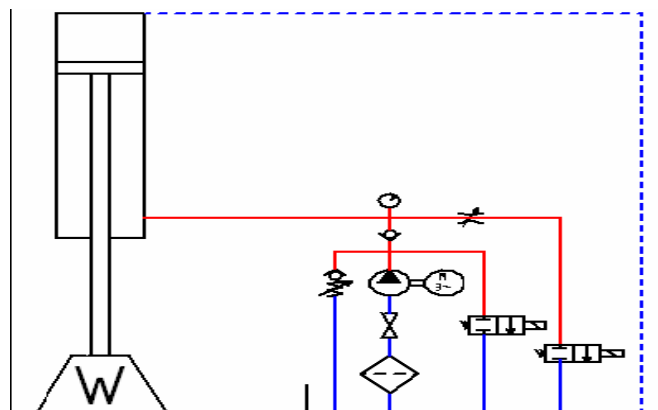
La unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI en superficie trabaja con bombas hidráulicas de desplazamiento positivo. Su principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. En este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado, por lo que también se denominan bombas volumétricas.

### 1.1.1.1.3 CIRCUITOS HIDRAULICOS Y ELECTRICOS

Los circuitos hidráulicos son un sistema que comprende un conjunto interconectado de componentes separados que asociados transmiten altísimas presiones y por lo tanto desarrollan fuerzas más intensas que permiten que un fluido (aceite) lubrique y genere la potencia necesaria para dar un movimiento vertical u horizontal de un equipo.

El circuito hidráulico de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI está compuesto por un tanque, un filtro, una bomba hidráulica, dos válvulas solenoides, una válvula cheque, una válvula reguladora de caudal, una válvula de alivio, un manómetro, y un actuador hidráulico. Además posee distintos tipos de acoples y mangueras.

**Figura 1.3** Esquema del circuito hidráulico de la unidad de bombeo mecánico SERINPET MINI.



Fuente: Unidades hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI.

#### 1.1.1.1.4 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO HIDRAULICO

El circuito hidráulico de la unidad funciona de la siguiente manera:

La bomba toma energía mecánica del motor y la convierte en energía hidráulica la cual es enviada en forma de caudal y presión de aceite a través de una manguera hasta una primera cruz en donde el aceite puede tomar tres vías diferentes:

- La primera vía es una derivación que se conecta a una válvula de alivio en donde se calibra la presión de trabajo. Si la presión de trabajo es mayor que la presión calibrada en la válvula de alivio esta se abre y le permite al aceite retornar al tanque.
- La segunda vía conecta una derivación de la cruz a la primera válvula solenoide la cual puede conmutar del estado abierto al estado cerrado.
- La tercera vía conecta una derivación de la cruz con un cheque, este a su vez está conectado con una segunda cruz, de la cual se derivan tres vías más. La primera vía de esta cruz se conecta con el actuador hidráulico proporcionándole presión y caudal, la segunda vía deriva hacia la segunda válvula solenoide la cual también conmuta de forma sincronizada con la primera válvula solenoide. La tercera vía tiene conectado un manómetro, el cual indica la presión de operación de la máquina.

Otro importante componente se presenta en el actuador hidráulico el cual posee una conexión que sale de su parte superior y llega directamente al tanque de aceite, esta conexión es para verificar el estado de la empaquetadura, ya que cuando esta comienza a perder su cualidad de sellar, el aceite se fuga a través de ella y debe retornar al tanque. De lo contrario, no se presentarían fugas de aceite.

#### 1.1.1.2 SEGUNDO MODULO

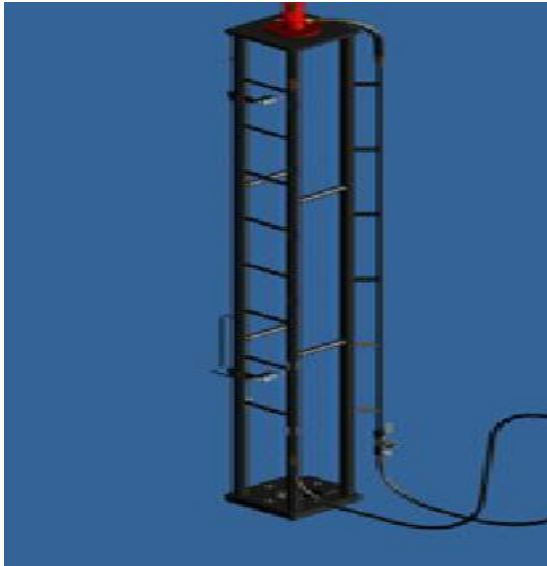
El segundo módulo de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI está compuesto por un pedestal y un actuador hidráulico. A continuación se describen estas dos partes:

##### 1.1.1.2.1 PEDESTAL

El pedestal se ensambla sobre la cabeza de pozo como se observa en la siguiente figura, su función principal es servir como base del actuador hidráulico, proporcionar un sitio para la ubicación de los sensores finales de carrera y sirve de

soporte a la manguera por donde se conduce el aceite hasta el actuador hidráulico. Como se muestra en la figura 1.4.

**Figura 1.4** Pedestal de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI.



Fuente: Unidad Hidráulica de Bombeo mecánico SERINPET MINI.  
Realizado por: Los autores.

#### **1.1.1.2.2 ACTUADOR HIDRAULICO**

El actuador hidráulico tiene como función convertir la energía hidráulica en energía mecánica, con lo cual realiza el movimiento de subir y bajar la sarta de varillas. El sistema hidráulico se encuentra sellado herméticamente a modo que no permita de ninguna manera derramar el líquido que contiene. Es con este tipo de componente que SERINPET quiso desarrollar la unidad hidráulica de bombeo mecánico, ya que simplifica los procesos de multiplicación de fuerza al aplicar la fuerza de forma directa y no requerir el uso de cajas o reductores de velocidad. Además los principios físicos con que funcionan son muy sencillos y se pueden reducir a tres fórmulas comentadas más adelante. En la Figura 1.5 se puede observar el actuador hidráulico que se utiliza en la unidad de bombeo mecánico SERINPET.

**Figura 1.5** Actuador hidráulico de la unidad de bombeo mecánico SERINPET MINI.



Fuente: Taller SERINPET.

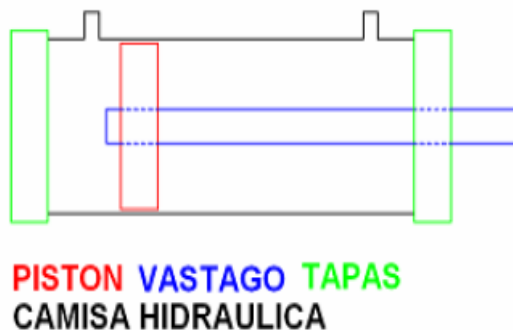
## COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO DEL ACTUADOR HIDRAULICO

La mayoría de los actuadores hidráulicos están conformados por los siguientes componentes:

- Camisa hidráulica
- Pistón
- Vástago
- Tapas

Y funcionan cuando el aceite hidráulico entra en ellos y desplaza el pistón en alguna dirección axial. Para realizar este movimiento es necesario vencer la fuerza resultante de la carga más el rozamiento, para lo cual se utiliza la presión del aceite.

**Figura 1.6** Diagrama de los componentes del actuador hidráulico.



Fuente: Manual Unidades hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI.





La velocidad con que este movimiento es realizado es función del caudal de aceite que entra al actuador hidráulico. De esta forma si se quiere que el actuador se mueva rápido se debe proporcionar un caudal alto, o si se quiere que se mueva despacio entonces el caudal que se debe proporcionar será un caudal pequeño. Para el cálculo de la fuerza que ejerce un actuador hidráulico se utiliza la siguiente fórmula:

$$F = P * A$$

Donde,

F= Fuerza que ejerce el actuador hidráulico. Lbf

P= Presión interna a la que está sometido. Psi

A= Área útil del pistón. Pulg<sup>2</sup>

A su vez la fórmula para calcular el caudal que satisfaga el requerimiento de ciclos por minuto de la maquina es:

$$Q = 2 * A * L * N$$

Donde,

Q= Caudal requerido.

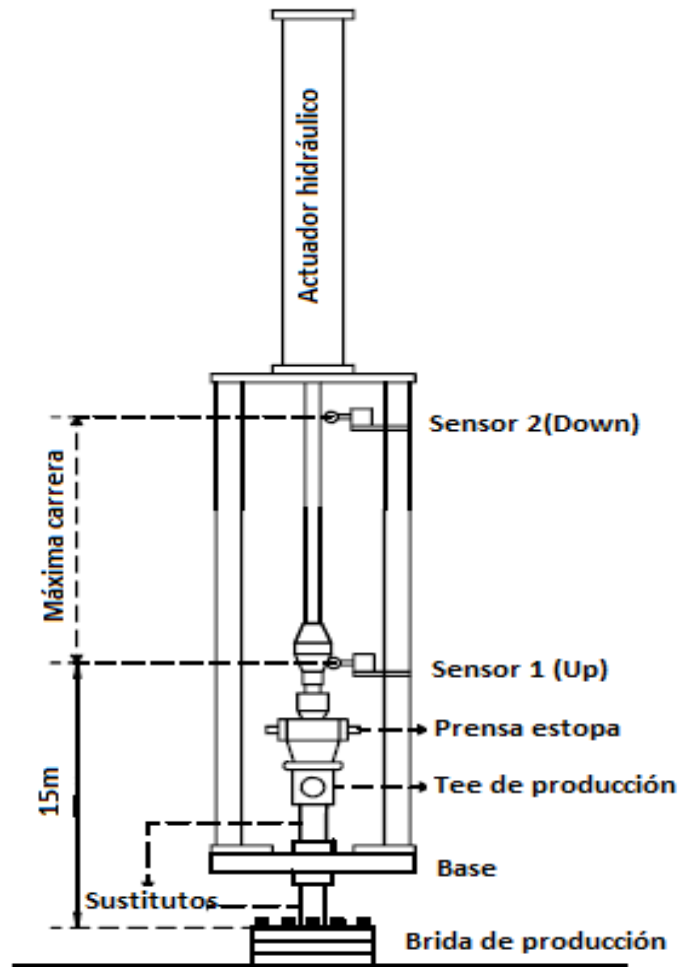
L= Máximo recorrido del actuador hidráulico.

N= Máximo números de ciclos de operación de la unidad.

A la hora de diseñar la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI, se debe tener en cuenta el tamaño del actuador hidráulico, la fuerza que es capaz de realizar a una presión determinada de diseño. También es importante en el diseño del actuador hidráulico, la selección de la empaquetadura teniendo en cuenta parámetros como la velocidad, la temperatura y el número de ciclos que se espera este realice antes de perder sello.

En la figura 1,7 se muestra cómo queda instalado el pedestal y el actuador hidráulico. En ella se puede identificar la ubicación de los sensores finales de carrera mencionados anteriormente.

**Figura 1.7** Instalación final del pedestal y el actuador hidráulico.



Fuente: Unidades hidráulicas de bombeo mecánico, SERINPET MINI.

### 1.1.1.3 FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD HIDRAULICA

Hasta ahora solo se ha descrito como está construido el circuito hidráulico de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI, sin embargo para poder describir su funcionamiento con más detalle se debe explicar quién y cómo lo gobierna.

Estas unidades son altamente eficientes ya que son máquinas que poseen hasta 120 pulgadas de recorrido y operan con motores que van desde los dos (2) hp hasta los siete (7) hp, y que están sometidas a cargas aplicadas en la barra pulida entre 4000 y 23000 libras de fuerza aproximadamente con velocidades de bombeo máximas de un ciclo por minuto.



La eficiencia energética de esta máquina se da al hecho de que sube muy lentamente y desciende muy rápidamente (ej.: tiempo de subida para 120 pulgadas de recorrido 55 segundos, tiempo de bajada para 120 pulgadas de recorrido 5 segundos), es por esto que el requerimiento de potencia para estas máquinas es más bajo.

El peso de estas máquinas oscila entre 800 a 900 kilogramos, siendo de este modo un equipo fácil de transportar e instalar, no necesita de placas de concreto ni sistema de fijación del pedestal como son los templetos o vientos. Estas máquinas tienen la capacidad de bajar y subir con una velocidad distinta sin necesidad de utilizar variadores de frecuencia para tal propósito. El rango de variación de velocidad de esta máquina esta entre 1 y 0,1 ciclos por minuto. También puede graduar el recorrido modificando la posición en la que se encuentran los sensores finales de carrera y esto lo hace con resoluciones hasta de un milímetro. De este modo el máximo recorrido de la maquina es de 120 pulgadas y el mínimo de 12 pulgadas, además dicha graduación de recorrido se puede efectuar de forma asimétrica y en cualquier parte del pedestal.

En la gráfica 1.7 se nota que el sensor inferior se encuentra en contacto con un acople para varillas, esto indica que el vástago del actuador hidráulico se encuentra directamente conectado con la barra pulida, y que es esta unión, la que los sensores finales de carrera registran. Una vez la unidad se encuentra encendida, el aceite hidráulico comienza a circular a través de las válvulas solenoides, transcurrido un tiempo el sensor inferior envía una señal a las válvulas solenoides para que estas se cierren simultáneamente. De este modo todo el aceite hidráulico es enviado hacia el actuador hidráulico. Es así como comienza la carrera ascendente en donde el actuador hidráulico realizará solo la fuerza necesaria para levantar toda la carga, esto será posible cuando el acople este lo suficientemente elevado como para accionar el sensor final de carrera que se encuentra en la parte superior del pedestal. Es en este momento en el que el sensor superior envía una señal que anula la señal que anteriormente el sensor inferior le había enviado a las válvulas solenoides. De este modo las válvulas quedan nuevamente abiertas y el caudal de aceite que envía la bomba, retorna al tanque por la primera válvula solenoide, a su vez el caudal que se encontraba acumulado en el actuador hidráulico retorna al tanque, pasando primero por una válvula reguladora de caudal, y después por la segunda válvula solenoide; con esto el vástago del actuador hidráulico desciende hasta tocar nuevamente el sensor final de carrera inferior, el cual inmediatamente envía una señal a las válvulas solenoides para que se cierren nuevamente y de esta manera se repita el ciclo. Es importante mencionar que es justo en la válvula reguladora de caudal donde se realiza la variación de velocidad en la carrera descendente, ya que si se restringe el paso de caudal a través de esta válvula el actuador se desocupa más despacio y por obvias razones la sarta bajará más despacio. Si por el contrario se abre esta válvula tendremos como resultado un aumento en el caudal que pasa a través de ella, aumentando la velocidad del vástago en su recorrido descendente.

En resumen, la unidad posee dos sensores finales de carrera que le indica en qué posición se encuentra el vástago del actuador hidráulico y que acción deberá tomar con respecto al estado de las válvulas solenoides (abiertas o cerradas), con esto se redirecciona el sentido de los caudales, teniendo en cuenta que estos caudales se pueden variar a través de la válvula reguladora de caudal y la válvula reguladora de presión, obteniendo como resultado un amplio rango de variación de velocidad, el cual se ha comprobado, se encuentra entre un 100% y un 4% de la velocidad máxima.

Anteriormente se mencionó la posibilidad de variar el caudal con una válvula reguladora de presión. Esto hace referencia a que la válvula reguladora de presión puede dividir el caudal en dos, cuando la presión de trabajo está muy cerca a la presión de alivio calibrada en esta válvula. Para ello, ésta válvula abre del todo, y envía una parte del caudal de aceite que proporciona la bomba al tanque, y la parte restante la envía al actuador hidráulico. De esta forma el actuador hidráulico subirá más despacio que cuando recibía el 100% del caudal.

#### **1.1.1.4 VENTAJAS DE LA UNIDAD HIDRAULICA**

La principal ventaja de la unidad hidráulica de bombeo mecánico es el amplio rango de variación de velocidad, el cual se da de forma independiente en la carrera ascendente a la carrera descendente, y se logra a través de la variación de caudales que se consigue con elementos como las válvulas reguladoras de caudal y las válvulas reguladoras de presión. Además en el camino se pudo identificar otras ventajas de carácter técnico-práctico que se consideró importante conocerlas como:

- Tienen la capacidad de variar la longitud de carrera desde un máximo de 120" hasta un mínimo 12". Esto lo puede realizar debido a que para cambiar el recorrido lo único que se necesita es cambiar la ubicación de los sensores finales de carrera. Este procedimiento se realiza en poco tiempo y es muy sencillo, porque básicamente se reduce a soltar dos tornillos de ¼" mover los sensores hacia arriba o hacia abajo según el requerimiento de la nueva ubicación y reajustar los tornillos de ¼". Permittiéndonos trabajar recorridos ubicados en la parte superior, inferior, o intermedia del pedestal.
- Debido al tipo de componentes que se utilizó, las unidades son de peso ligero, fácil de transportar e instalar (800 a 900 kg).
- Una de las mayores ventajas que presenta el sistema, es la protección que brinda a la integridad de las varillas y las bombas de subsuelo, pues no solo cuenta con grandes recorridos y pocos ciclos por minuto, reduciendo la fatiga que se presenta en el acero, sino que por el hecho de tener una válvula reguladora de presión el sistema nunca podrá trabajar a presiones

por encima de la calibrada en esta válvula, pues como ya se dijo, cuando esto pasa la válvula se abre y el aceite regresa al tanque. Esto indica que la unidad no podrá hacer más fuerza que la que le permite hacer esta válvula.

- El sistema hidráulico entrega constantemente una medida de la presión ejercida, y dado que se conoce el área útil del pistón, utilizamos la presión para determinar el nivel de fluido en el pozo.
- El sistema es modular (unidad hidráulica de potencia, actuador hidráulico y pedestal) lo cual permite realizar el mantenimiento en un corto tiempo, ya que cuando se le hace el mantenimiento a la unidad hidráulica, se podría tener otra unidad trabajando al lado. De esta manera el pozo permanecería detenido únicamente el tiempo que fuera necesario para desconectar la manguera proveniente del pedestal y que está conectada a la unidad en mantenimiento y reconectar esta manguera a la unidad de reemplazo (aproximadamente 30 minutos).
- Otra ventaja que ofrece la modularidad es la posibilidad de utilizar unidades hidráulicas de potencia pequeñas con pedestales y actuadores hidráulicos de gran tamaño, de tal forma que con una unidad pequeña se puedan levantar cargas muy grandes.
- Aumento de la producción: si una unidad trabaja con 15 segundos en la carrera descendente y 15 segundos en la ascendente debido a parámetros de operación de la bomba de subsuelo esta unidad realizará dos ciclos por minuto, por otro lado, la unidad hidráulica podría trabajar con 15 segundos en la carrera descendente y 5 en la ascendente, realizando 3 ciclos por minuto, lo cual representaría un aumento del 50% en la producción.

### 1.1.2 EQUIPO DE SUBSUELO

El equipo de subsuelo se compone de:

- Sarta de varillas
- Tubería de producción
- Bomba de subsuelo
- Niple de asentamiento
- Ancla de tubería

### 1.1.2.1 SARTA DE VARILLAS

Las varillas son piezas metálicas o de fibra de vidrio, de forma cilíndrica encargadas de transmitir a la bomba de subsuelo el movimiento del actuador hidráulico para que este bombee los fluidos hacia la superficie. Diámetros mayores de varillas son utilizados en el tope y más pequeños en la base para minimizar los costos y cargas tensionales.

Sus diámetros son de 1/2, 3/4, 7/8, 1 y 1 1/8 de pulgada con longitudes de 25, 30 y 50 pies. Se fabrican de acuerdo a ciertas especificaciones y la forma de identificarlas es observando las marcas impresas en las caras planas de sus extremos, las cuales indican el año de fabricación, diámetro, grado de la varilla y composición química.

Las varillas pequeñas conocidas como “Pony Rod”, se usan para completar las profundidades de asentamiento y espaciado de la bomba. Vienen en diámetro de 1/2”, 3/4”, 7/8”, y 1 1/8” y con longitudes de 1’, 2’, 4’, 6’, 10’ y 12’.

### TIPOS DE VARILLAS

Existen diversas clases de varillas de succión, de las cuales las más conocidas y utilizadas son las convencionales (API), las no convencionales (NO API), las continuas y las de fibra de vidrio entre las principales.

#### 1.1.2.1.1 VARILLAS API

Se caracterizan por presentar uniones entre una y otra varilla a través de dispositivos mecánicos llamados cuellos; mientras que las continuas carecen de conexiones entre varillas. Los principales problemas presentados por la sarta de varillas son las partiduras y el desenroscado de las mismas, las cuales se deben a las siguientes causas:

- Efectos de corrosión
- Aplicación de esfuerzos que exceden el límite de tolerancia
- Extremadamente apretadas
- Daños causados durante su manejo
- Flexión seguida del endurecimiento lo cual une esfuerzo de tensión y compresión.

En las tablas 1.2 y 1.3 se muestran las especificaciones de fabricación de las varillas API.

**Tabla 1.2** Especificación de fabricación – varillas API.

	CLASE API		
	C	D	K
Resistencia a la Tensión máxima (Mlpc)	90	115	90
Dureza (Brinell)	185 - 235	235 – 285	175 – 235
Metalurgia	AISI 1036	Carbón	AISI 46 XX

Fuente: Curso de Bombeo Mecánico – Ing. Ramiro Almeida.

Realizado por: Los autores.

El módulo de elasticidad del acero es de aproximadamente de 30,5 MM Lbs/pulg<sup>2</sup>, con un pequeño ajuste debido al cuello. La velocidad de propagación de la onda de esfuerzo de las varillas es alrededor de 16000 pies/seg.

**Tabla 1.3** Especificaciones de varillas API.

			CUELLO (DIAM. EXT)		TAMAÑO TUBERÍA MIN.	
Diámetro	Peso	Área	Normal	Especial	Normal	Especial
(in)	(Lbs/ft)	(in)	(in)	(in)	(in)	(in)
1/2	0.726	0.1964	-	1.000	-	1.66
5/8	1.135	0.3068	1.500	1.250	2 1/6	1.99
3/4	1.634	0.4418	1.625	1.500	2 3/8	2 1/16
7/8	2.224	0.6013	1.813	1.625	2 7/8	2 3/8
1	2.904	0.7854	2.188	2.000	3 1/2	2 7/8
1 1/8	3.676	0.9940	2.375	-	3 1/2	-

Fuente: Manual de Optimización de Bombeo Mecánico, THETA Enterprise Inc.

Realizado por: Los autores.

### 1.1.2.1.2 VARILLAS NO – API

Entre las que no cumplen con las normas API tenemos las siguientes varillas:

- Electra
- Continuas
- De fibra de vidrio
- Norris 97

### 1.1.2.1.3 VARILLAS ELECTRA

Son fabricadas con acero de gran resistencia, generalmente se utilizan en pozos donde las varillas convencionales API experimentan frecuentes fallas.

La gran resistencia, se debe a que la parte exterior es sometida a un proceso de tratamiento con calor (endurecimiento por inducción) y la parte interna a compresión; como resultado se presenta una varilla capaz de soportar esfuerzos hasta de 50000 lpc, independientemente del rango del esfuerzo.

### 1.1.2.1.4 VARILLAS CONTINUAS

Es una sarta continua de varillas que no tienen cuellos ni pasadores, y los diámetros varían en 1/16 en vez de 1/8 de pulgada, como lo indican las normas API. Sin embargo, la metalurgia si cumple con dichas normas. Estas varillas son almacenadas y transportadas en grandes carros, Además, requieren de un equipo especial para su instalación o desinstalación y de un equipo de soldadura para operaciones de conexión o desconexión. Se han usado con éxito en el levantamiento de crudos pesados y extra pesados, y especialmente en pozos de bombeo mecánico, direccionales o desviados ya que logran reducir apreciablemente las fallas ocurridas por rotura de varillas y dobladura de barras pulidas.

### 1.1.2.1.5 VARILLAS DE FIBRAS DE VIDRIO

Para facilitar su estudio se presentan ciertas ventajas y desventajas comparándose con las convencionales (API), fabricadas con acero. En la tabla 1.4 se muestra las especificaciones de su fabricación.

#### *Ventajas:*

- Su bajo peso reduce las cargas y consumo de energía en los equipos de superficie.
- Reducción de fallas por corrosión.
- Si existe potencial adicional, la producción puede ser incrementada, porque permiten la instalación de la bomba a mayores profundidades.

#### *Desventajas:*

- No son recomendables para pozos direccionales o altamente desviados. La carga adicional por fricción, reduce considerablemente la carrera efectiva en la bomba, debido al bajo módulo de elasticidad.



- La temperatura máxima de diseño es de 200°F.
- El torque en el cuerpo está limitado a 100 lbs/pie para las varillas de 1 pulgada.
- Las operaciones de pesca se dificultan si la partida es en el cuerpo de la varilla. Además, partículas de esta pueden acortar la vida de las bombas de subsuelo.
- El espaciamiento de las bombas es dificultoso.

**Tabla 1.4** Especificaciones de varillas de fibra de vidrio.

DIAMETRO (in)	LONGITUD (ft)	PESO (Lbs/ft)	AREA (in <sup>2</sup> )
0.75	37.5	0.507	1.442
0.855	37.5	0.746	0.574
0.98	37.5	0.848	0.754
1.2	37.5	1.1	1.131

Fuente: Curso de Bombeo Mecánico – Ing. Ramiro Almeida.  
Realizado por: Los autores.

#### 1.1.2.1.6 VARILLAS NORRIS 97

Estas varillas pueden manejar cargas muy altas en comparación con las varillas API. Maneja cualquier tipo de profundidad; los líquidos a los cuales están sometidas estas varillas, se inhiben eficazmente contra el ataque corrosivo que puede ocasionar daño a éstas.

Actualmente manejan diferentes diámetros: 3/4", 7/8", 1" y 1 1/8" y longitudes de 25' principalmente.

#### 1.1.2.2 TUBERIA DE PRODUCCION

El fluido se produce a través del anular, tubería-varillas hasta la superficie. Cuando la tubería está anclada al anular (tubería-revestimiento), esta tiene un efecto menor en el comportamiento del sistema en la mayoría de los casos. Si la tubería no está anclada entonces podría afectar las cargas sobre las varillas y el desplazamiento de la bomba debido a su estiramiento. Algunos problemas que pueden afectar el comportamiento del sistema incluyen:

- Cuellos de botella pueden ocurrir cuando la bomba tiene diámetros mayores que el diámetro interno de la tubería.

- Hoyos desviados que incrementan la fricción entre varillas y tubería.
- Restricciones de flujo debido a parafinas y escalas.
- Tubería que es demasiado pequeña para la tasa de producción.

Todos estos problemas resultan en cargas más altas en todos los componentes del sistema. También, fugas en tubería pueden disminuir significativamente la eficiencia del sistema si no es detectada y corregida a tiempo.

### **1.1.2.3 BOMBA DE SUBSUELO.**

La bomba de subsuelo es uno de los componentes principales del sistema hidráulico de bombeo mecánico. La bomba utilizada para levantar los fluidos desde el fondo del pozo a superficie es una bomba tipo pistón, accionada por el movimiento de la sarta de varillas (arriba y abajo). Esta sarta de varillas tiene una energía suministrada por el motor complementario de la unidad de bombeo en superficie.

La bomba está formada por el embolo que es llamado pistón y el cilindro que se le conoce como barril o camisa de la bomba dentro de la cual se mueve el pistón. Posee una válvula estacionaria (Válvula fija) que permite o no la entrada de fluidos del pozo al interior de la bomba y de una válvula móvil (Válvula viajera) que permite o no la entrada de fluidos de la bomba al interior del pistón. La válvula fija está sujeta a la tubería por intermedio de un sistema de anclaje o zapato, efectuando un sello hermético que evita que los fluidos almacenados en la bomba sean desplazados nuevamente al pozo.

En adición a las cargas en las varillas y la unidad de bombeo, la vida de la bomba afecta la rentabilidad del pozo. Si los componentes de la bomba se desgastan, la eficiencia de todo el sistema se reduce. La selección de la bomba adecuada incrementa la eficiencia del sistema y extiende la vida del equipo. Usualmente una bomba grande y velocidades de bombeo bajas pueden incrementar la eficiencia del sistema; sin embargo, pueden generar altas cargas a la sarta de varillas, a la unidad de bombeo y al motor.

## **TIPOS DE BOMBAS DE SUBSUELO**

Las bombas accionadas por varillas se dividen en dos grupos:

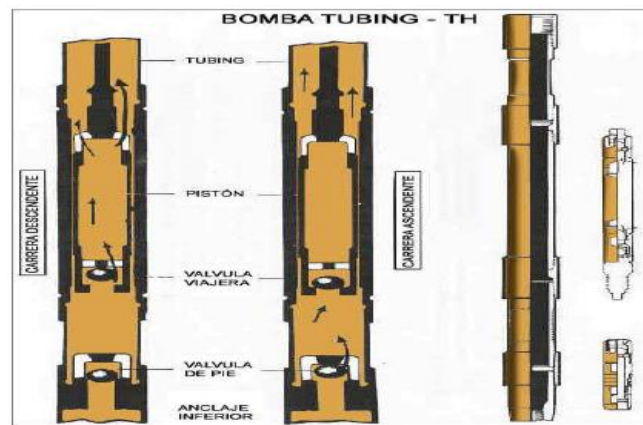
### **1.1.2.3.1 BOMBAS DE TUBERÍA**

Las bombas de tubería son principalmente utilizadas para altas tasas de producción en pozos poco profundos comparados con las bombas insertables. Por

lo tanto, pueden utilizarse diámetros de pistón mayores a los usados con bombas insertables.

En estas bombas, el barril (camisa) y la zapata de la bomba, forman parte de la tubería de producción; cuando se desea reemplazar o cambiar la bomba en el pozo se requiere sacar la tubería. El pistón de este tipo de bombas es corrido con las varillas y en su parte inferior lleva una especie de pescante que se utiliza para colocar la válvula fija en la zapata de la bomba o para sacarla de la misma. Como se muestra en la figura 1.8.

**Figura 1.8** Bombas de subsuelo de tubería.



Fuente: Manual de producción-PAE-Argentina.

Independientemente del tipo, las bombas son de pared gruesa y de pared delgada. Las bombas de pared gruesa son utilizadas en pozos poco profundos debido a su capacidad limitada ante grandes esfuerzos. Las bombas de pared delgada son utilizadas en pozos más profundos o bombas de diámetro grande que necesitan soportar grandes cargas de fluido. La profundidad máxima de asentamiento depende del tipo de bomba. En la tabla 1.5 se puede observar las dimensiones de los diferentes tipos de bomba y su profundidad de asentamiento.

**Tabla 1.5** Tipo de bomba y profundidad máxima de asentamiento.

Anclada en el fondo, Bomba de Pared Delgada		
Pistón (pulg)	Espesor de la pared de la bomba(pulg)	Profundidad máxima (pies)
1.00	0.125	11540
1.25	0.188	13350
1.50	0.188	11570
1.75	0.250	11970
2.00	0.156	7785
2.25	0.250	10485
Anclada en el fondo, Bomba de Pared Gruesa		
2.00	0.125	6400
2.50	0.125	5240
Bombas de Tubería		
1.75	0.250	9600
2.25	0.250	7870
2.75	0.250	6660

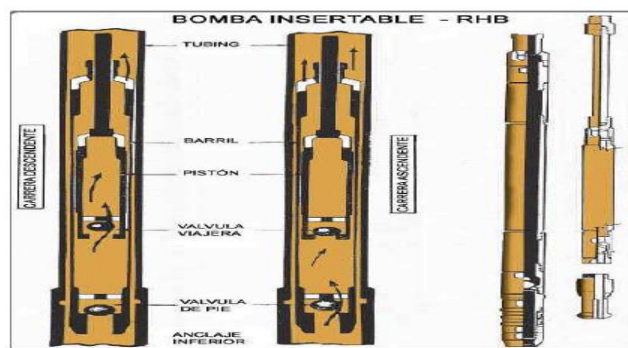
Fuente: Manual de Optimización de Bombeo Mecánico, THETA Enterprise Inc.  
Realizado por: Los autores.

### 1.1.2.3.2 BOMBAS DE VARILLAS

Las bombas de varillas o insertables son populares debido a que ellas son fáciles de instalar y reparar. Existen varios tipos de bombas insertables dependiendo de las condiciones de pozo, tasa de producción, y profundidad del pozo.

En este tipo de bomba el barril (camisa), el pistón, la válvula fija y la válvula viajera forman un solo ensamblaje, el cual es corrido o removido por la sarta de varillas (como se muestra en la figura 1,9); o sea que para el reemplazo o colocación de la bomba únicamente se requieren sacar las varillas sin necesidad de tener que sacar la tubería de producción.

**Figura 1.9** Bombas de subsuelo tipo varilla.



Fuente: Manual de producción-PAE-Argentina.



## DESIGNACION API

El Instituto Americano del Petróleo (API) ha desarrollado un método para designar las bombas de subsuelo. La designación API proporciona una manera concisa para describir las bombas.

La figura 1.10, muestra un ejemplo del código de la bomba de subsuelo, este representa una bomba de 1 1/2" y tubería de 3 1/2". Es una bomba de varillas insertable de fondo, pared delgada, y un ensamblaje de asentamiento tipo copas. El barril es de 16 pies de longitud, tiene un pistón de 6 pies, y una extensión de 4 pies de longitud.

Es importante conocer la siguiente nomenclatura que se utiliza en la designación API de las bombas de subsuelo.

**RHA:** Varillas, barril estacionario de pared gruesa, anclada en el tope.

**RLA:** Varillas, barril estacionario, anclada en el tope.

**RWA:** Varillas, barril estacionario de pared delgada, anclada en el tope

**RSA:** Varillas, barril estacionario de pared delgada, anclada en el tope, pistón de la bomba tipo empaadura suave.

**RHB:** Varillas, barril estacionario de pared gruesa, anclada en el fondo.

**RLB:** Varillas, barril estacionario, anclada en el fondo.

**RWB:** Varillas, barril estacionario de pared delgada, anclada en el fondo.

**RSB:** Varillas, barril estacionario de pared delgada, anclada en el fondo, empaadura suave.

**RHT:** Varillas, barril viajero de pared gruesa, anclada en el fondo.

**RLT:** Varillas, barril viajero, anclada en el fondo.

**RWT:** Varillas, barril viajero de pared delgada, anclada en el fondo.

**RST:** Varillas, barril viajero de pared delgada, anclada en el fondo, empaadura suave.

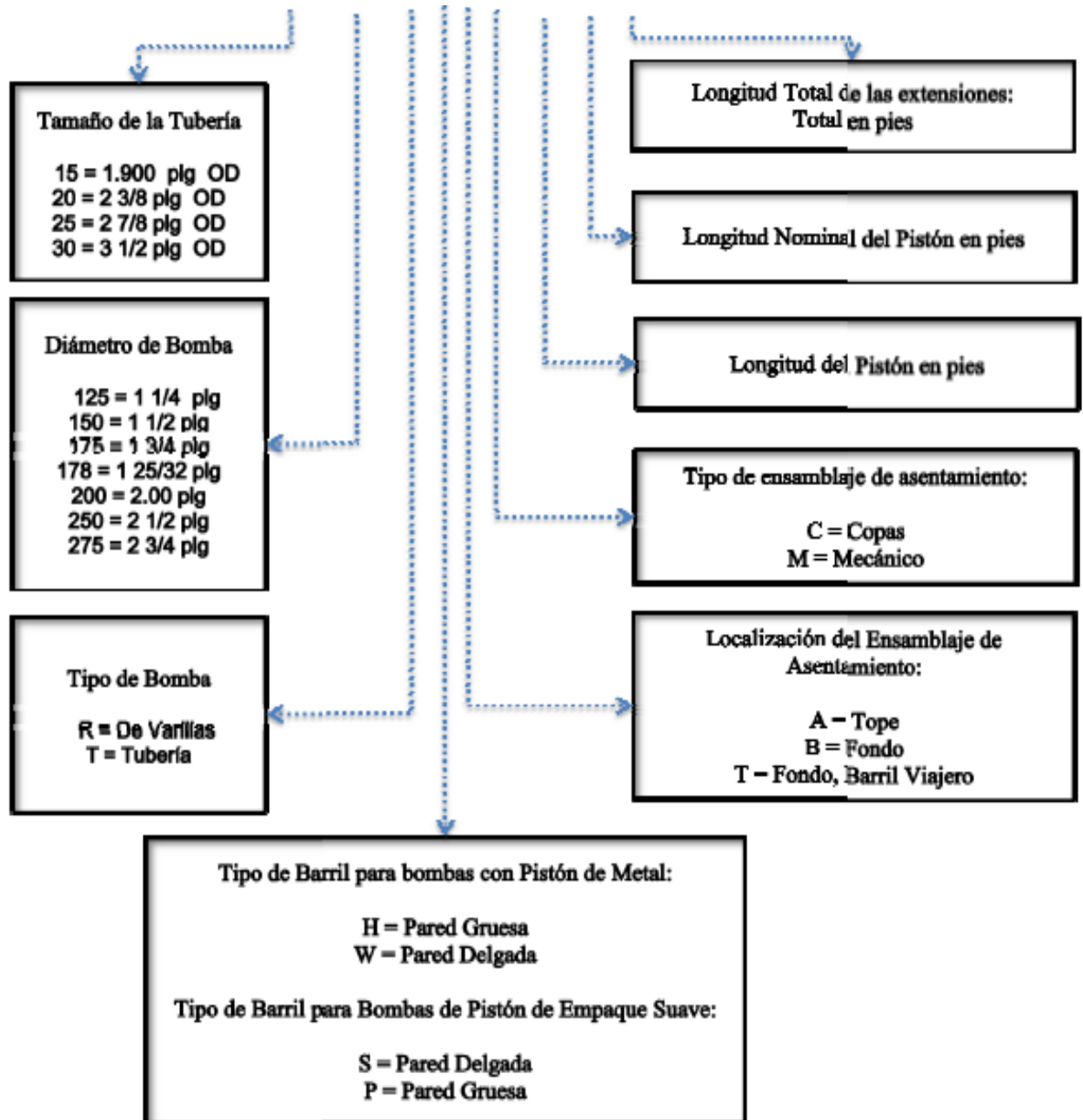
**TH:** De tubería, barril de pared gruesa

**TL:** De tubería, barril viajero puma.

**TP:** De tubería, barril de pared gruesa, empaadura suave.

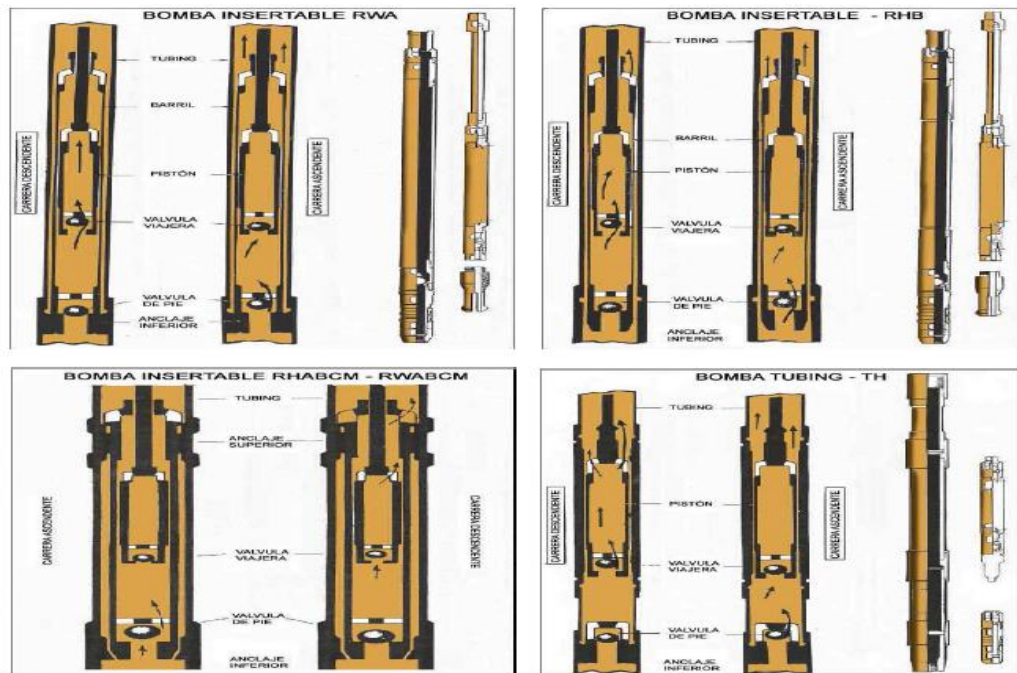
Figura 1.10 Designación API de las bombas de subsuelo.

30 - 150 - R W B C 16- 6 - 4



Fuente: Sucker-Rod Pumping Manual.

Figura 1.11 Bombas API.



Fuente: Manual de producción-PAE-Argentina.

La figura 1.11 muestra las bombas de varillas más comunes que incluyen:

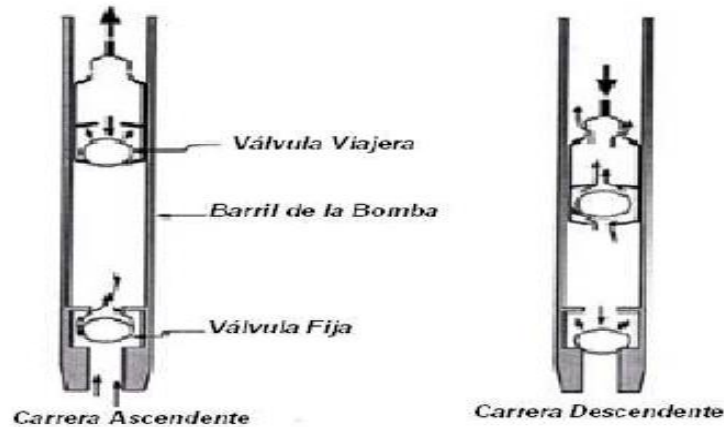
- Bombas de barril estacionario anclado en el fondo.
- Bombas de barril viajero anclado en el fondo.
- Bombas de barril estacionario anclado en el tope.

Debido a la variedad de las condiciones del pozo que podrían encontrarse, una bomba API no siempre produciría de manera eficiente. En esta situación podría considerarse usar Bombas Especiales diseñadas para problemas específicos de fondo. Problemas de pozo para los cuales hay bombas especiales disponibles que incluyen: golpe de fluido, interferencia de gas, erosión por sólidos, y crudo pesado.

## FUNCION DE LAS VALVULAS.

Asumiendo que la bomba está llena con líquido incompresible, la figura 1.12 muestra cómo se comportan las válvulas viajeras y fijas durante el ciclo de bombeo.

**Figura 1.12** Comportamiento de las válvulas viajeras y fijas durante un ciclo de bombeo.



Fuente: Manual de Optimización de Bombeo Mecánico, THETA Enterprise inc.

### **Carrera Ascendente**

En la carrera ascendente, cuando el pistón comienza a moverse hacia arriba, la válvula viajera cierra y levanta las cargas del fluido. Esto genera un vacío en el barril de la bomba que causa la apertura de la válvula fija permitiendo que el fluido proveniente del yacimiento llene la bomba.

### **Carrera Descendente**

En la carrera descendente, cuando el pistón comienza a moverse hacia abajo, la válvula fija se cierra y el fluido en el barril de la bomba empuja la válvula viajera abriendo esta. El pistón viaja a través del fluido que se ha desplazado hacia la bomba durante la carrera ascendente. Luego el ciclo se repite.

### **PISTONES.**

Existen dos tipos de pistones: metal-metal y empaque suave. Empaque suave son menos costosos al momento de comprar o repararlos. Sin embargo, estos no son tan eficientes como los de metal-metal y no pueden bombear en pozos profundos. La longitud del pistón varía entre 6 y 12 pulg por cada 1000 pies de profundidad de la bomba. Esta longitud varia también dependiendo de la viscosidad del fluido, temperatura de fondo, diámetro del pistón y espacio libre entre el pistón y el barril.





Por ejemplo, si se utiliza un pistón de 8 pulg por cada 1000 pies entonces a un pozo de 6000 pies necesitara un pistón de 4 pies.

## **PISTONES DE EMPAQUE SUAVE**

Los pistones de empaque suave pueden ser por igual de tipo copa o tipo anillo, o una combinación de ambos. Los pistones tipo anillos tiene cualquier composición. Debido al gran espacio libre entre el pistón y el barril, las bombas con empaques suaves presentan mayores pérdidas por escurrimiento y por lo tanto menores eficiencias volumétricas que los de metal-metal.

## **PISTONES TIPO COPA**

Pistones tipo copa usan la presión del fluido para expandirse en la carrera ascendente y proveer el sello entre el pistón y el barril. Las copas son fabricadas con diferentes tipos de materiales sintéticos para diferentes aplicaciones. Estos son típicamente usados en pozos de menos de 3000 pies. Las ventajas de estos pistones incluyen la habilidad de compensar el desgaste del barril y tener bajos costos de reparación.

## **PISTONES TIPO ANILLO**

Pueden usarse pistones tipo anillo para lograr llenados pequeños entre el pistón y el barril de la bomba. Estos pistones son más comunes que los de tipo copa debido a que son los apropiados para profundidades de hasta 7000 pies. Pistones tipo anillo de flexite tiene anillos impregnados de grafito que son autolubricantes. Estos pistones son excelentes para pozos con altos cortes de agua y con problemas de corrosión.

## **PISTONES METAL-METAL**

Los pistones metal-metal son por igual lisos o ranurados. Estos son usados en pozos profundos o en pozos que no producen sólidos. Debido al pequeño espacio entre el pistón y el barril, los pistones de metal permiten eficiencias de la bomba más altas que los de empaque suave. Sin embargo, cuando el pozo produce sólidos, estos pistones pueden no ser los indicados para el trabajo debido a que el desgaste sería más rápido que con pistones de empaque suave.

#### 1.1.2.4 ANCLA DE TUBERÍA Y NIPLE DE ASENTAMIENTO

El ancla de tubería mostrada en la figura 1.13 está diseñada para ser utilizada en pozos con el propósito de eliminar el estiramiento y compresión de la tubería de producción. Normalmente se utiliza en pozos de alta profundidad. Se instala en la tubería de producción, siendo éste el que absorbe la carga de la tubería. Las guías de varillas son acopladas sobre las varillas a diferentes profundidades, dependiendo de la curvatura y de las ocurrencias anteriores de un elevado desgaste de tubería.

**Figura 1.13** Ancla de tubería.



Fuente: Estudio para el cambio de sistema de levantamiento artificial a bombeo mecánico en el campo Lago Agrio operado por EP- PETROECUADOR.

El niple de asentamiento (o zapata) es un acople de tubería especialmente diseñado que permite asentar la bomba con un fuerte sello. Los niples de asentamiento tienen por igual cierre mecánico o por copas de fricción. Cuando la bomba de tubería es ahusada, la válvula fija se conecta en la base del pistón. En la Figura 1.14 se muestra un niple de asentamiento utilizado en la industria petrolera.

**Figura 1.14** Niple de asentamiento.



Fuente: Tecnología Integral Petrolera C.A, Catalogo General.



## **2. ANALISIS DEL METODO DE PRODUCCION DEL SISTEMA HIDRAULICO DE BOMBEO MECANICO “SERINPET” MINI.**

Lo importante en el diseño de una instalación de bombeo mecánico es predecir los requerimientos de cargas, potencias y contrabalance, así como también, las relaciones de esfuerzo, torques y tasas de producción. Una vez que estos parámetros son conocidos, el equipo apropiado puede ser seleccionado para cumplir los requerimientos establecidos.

La propuesta técnica a realizar por parte de SENRIPET es desarrollar un sistema de bombeo que tiene el mismo principio de operación del sistema convencional de bombeo mecánico, pero en superficie la unidad cambia y se reemplaza por un sistema hidráulico de potencia, este sistema hidráulico lo que hace básicamente es accionar un actuador hidráulico que transforma esa energía hidráulica en energía mecánica para así dar movimiento a la sarta de varillas en un movimiento reciprocante vertical que va hasta la bomba de subsuelo.

### **2.1 DESARROLLO DEL METODO API RP- 11L**

La norma estándar para el diseño de bombeo mecánico es la Norma API RP-11L (*Recommended Practice for Design Calculations for Sucker Rod Pumping Systems*). Esta norma fue publicada por primera vez en el año de 1966, actualizada en 1988 y reafirmada en el año 2000.

#### **2.1.1 REQUERIMIENTOS DE DESARROLLO DEL METODO**

Para el desarrollo del método API RP 11-L, se requiere de los siguientes pasos:

- Recolección de datos, estos pueden ser de una instalación existente o datos calculados.
- Calculo de parámetros adimensionales independientes.
- Utilizando los gráficos de diseño API, obtener los valores de los parámetros adimensionales dependientes.
- A partir de los parámetros adimensionales dependientes, se determinan los valores de los parámetros operacionales del sistema.

A continuación se presenta el diseño del sistema hidráulico de bombeo mecánico SERINPET, para el cual se utiliza el método API RP-11L teniendo en cuenta que las unidades hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI, solo se diferencian de las unidades convencionales de bombeo mecánico en superficie.

## 2.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL METODO API RP 11-L PARA EL POZO USCO 1.

**Tabla 2.1** Datos de entrada, pozo Usco 1.

Unidad de bombeo	Hidráulica
Caudal producido	7 BFPD
Nivel de fluido (H)	1936 pies
Profundidad de la bomba (L)	1953 pies
Diámetro interior de la tubería (Dtb)	2.992
la tubería no está anclada	
Velocidad de bombeo (N)	1 SPM
Longitud de la carrera en superficie (S)	122 pulg
Diámetro del pistón (Dp)	2.75 pulg
Gravedad específica del fluido (G)	0.986
Arreglo de varillas	86

Fuente: Departamento de producción, Mansarovar Energy Colombia  
Realizado por: Los autores.

El caudal producido que se registra en la tabla 2,1 es el promedio de producción de los últimos dos meses del año 2012 y los primeros 4 meses del año 2013. (Ver anexo 6)

### REGISTRO DE FACTORES DE LAS TABLAS 2.2 Y 2.3

Consultando la tabla 2.2, del método API RP 11 – L para un diámetro del pistón de 2.75 pulgadas y un número de varillas 86 encontramos que:

- Peso de las varillas  $W_r = 2.455 \frac{lbs}{pie}$
- Constante de elasticidad de las varillas  $E_r = 0.61 * 10^{-6} \frac{pulg}{lbs * pie}$
- Factor de frecuencia  $F_c = 1.119$

Consultando la tabla 2.3, del método API RP 11 – L para un diámetro interno de la tubería de 2.992 pulgadas se tiene que:

- Constante de elasticidad de la tubería  $Et = 0.154 * 10^{-6} \frac{\text{pulg}}{\text{lbs*pie}}$

**Tabla 2.2** Tabla de varillas API

Rod	Plunger Diameter, (in)	Rod Weight, (lb/ft)	Elastic Constant, (in/lb*ft)	Frecuency Factor	Rod String, % of each size					
No	D	Wr	Er	Fc	1 1/8	1	7/8	3/4	5/8	1/2
86	1.06	2.058	7,42E-07	1.151	.....	22.6	23.0	54.3	.....	.....
86	1.25	2.087	7,32E-07	1.156	.....	24.3	24.5	51.2	.....	.....
86	1.50	2.133	7,17E-07	1.162	.....	26.8	27.0	46.3	.....	.....
86	1.75	2.185	6,99E-07	1.164	.....	29.4	30.0	40.6	.....	.....
86	2.00	2.247	6,79E-07	1.161	.....	32.8	33.2	33.9	.....	.....
86	2.25	2.315	6,56E-07	1.153	.....	36.9	36.0	27.1	.....	.....
86	2.50	2.385	6,33E-07	1.138	.....	40.6	39.7	19.7	.....	.....
86	2.75	2.455	6,10E-07	1.119	.....	44.5	43.3	12.2	.....	.....
87	1.06	2.390	6,12E-07	1.055	.....	24.3	75.7	.....	.....	.....
87	1.25	2.399	6,10E-07	1.058	.....	25.7	74.3	.....	.....	.....
87	1.50	2.413	6,07E-07	1.062	.....	27.7	72.3	.....	.....	.....
87	1.75	2.430	6,03E-07	1.066	.....	30.3	69.7	.....	.....	.....
87	2.00	2.450	5,98E-07	1.071	.....	33.2	66.8	.....	.....	.....
87	2.25	2.472	5,94E-07	1.075	.....	36.4	63.6	.....	.....	.....
87	2.50	2.496	5,88E-07	1.079	.....	39.9	60.1	.....	.....	.....
87	2.75	2.523	5,82E-07	1.082	.....	43.9	56.1	.....	.....	.....
87	3.25	2.575	5,70E-07	1.084	.....	51.6	48.4	.....	.....	.....
87	3.75	2.641	5,56E-07	1.078	.....	61.2	38.8	.....	.....	.....
87	4.75	2.793	5,22E-07	1.038	.....	83.6	16.4	.....	.....	.....
88	All	2.904	4,97E-07	1.000	.....	100.0	.....	.....	.....	.....
96	1.06	2.382	6,70E-07	1.222	19.1	19.2	19.5	42.3	.....	.....
96	1.25	2.435	6,55E-07	1.224	20.5	20.5	20.7	38.3	.....	.....
96	1.50	2.511	6,33E-07	1.223	22.4	22.5	22.8	32.3	.....	.....
96	1.75	2.607	6,06E-07	1.213	24.8	25.1	25.1	25.1	.....	.....
96	2.00	2.703	5,78E-07	1.196	27.1	27.9	27.4	17.6	.....	.....
96	2.25	2.806	5,49E-07	1.172	29.6	30.7	29.8	9.8	.....	.....
97	1.06	2.645	5,68E-07	1.120	19.6	20.0	60.3	.....	.....	.....
97	1.25	2.670	5,63E-07	1.124	20.8	21.2	58.0	.....	.....	.....
97	1.50	2.707	5,56E-07	1.131	22.5	23.0	54.5	.....	.....	.....
97	1.75	2.751	5,48E-07	1.137	24.5	25.0	50.4	.....	.....	.....
97	2.00	2.801	5,38E-07	1.141	26.8	27.4	45.7	.....	.....	.....
97	2.25	2.856	5,28E-07	1.143	29.4	30.2	40.4	.....	.....	.....
97	2.50	2.921	5,15E-07	1.141	32.5	33.1	34.4	.....	.....	.....
97	2.75	2.989	5,03E-07	1.135	36.1	35.3	28.6	.....	.....	.....
97	3.25	3.132	4,75E-07	1.111	42.9	41.9	15.2	.....	.....	.....
98	1.06	3.068	4,75E-07	1.043	21.2	78.8	.....	.....	.....	.....
98	1.25	3.076	4,74E-07	1.045	22.2	77.8	.....	.....	.....	.....
98	1.50	3.089	4,72E-07	1.048	23.8	76.2	.....	.....	.....	.....
98	1.75	3.103	4,70E-07	1.051	25.7	74.3	.....	.....	.....	.....
98	2.00	3.118	4,68E-07	1.055	27.7	72.3	.....	.....	.....	.....
98	2.25	3.137	4,65E-07	1.058	30.1	69.9	.....	.....	.....	.....
98	2.50	3.157	4,63E-07	1.062	32.7	67.3	.....	.....	.....	.....
98	2.75	3.180	4,60E-07	1.066	35.6	64.4	.....	.....	.....	.....
98	3.25	3.231	4,53E-07	1.071	42.2	57.8	.....	.....	.....	.....
98	3.75	3.289	4,45E-07	1.074	49.7	50.3	.....	.....	.....	.....
98	4.75	3.412	4,28E-07	1.064	65.7	34.3	.....	.....	.....	.....
99	All	3.676	3,93E-07	1.000	100.0	.....	.....	.....	.....	.....

Fuente: METODO API RP 11 – L  
Realizado por: Los autores

**Tabla 2.3** Datos de la tubería.

Tubing Size	Outside Diameter (in)	Inside Diameter (in)	Metal Area (sq. In.)	Elastic Constant (in/lb*ft)
				Et
1.900	1.900	1.610	0.800	5,00E-07
2	2.375	1.995	1.304	3,07E-07
2 1/2	2.875	2.441	1.812	2,21E-07
<b>3</b>	<b>3.500</b>	<b>2.992</b>	<b>2.590</b>	<b>1,54E-07</b>
4	4.000	3.476	3.077	1,30E-07
4 1/2	4.500	3.958	3.601	1,11E-07

Fuente: METODO API RP 11 – L  
Realizado por: Los autores

### CALCULO DE VARIABLES ADIMENSIONALES

- La carga de fluido sobre la bomba ( $F_o$ ), depende de la gravedad específica del fluido ( $G$ ), la profundidad de levantamiento ( $H$ ) y el diámetro del pistón ( $D_p$ ). Así que,

$$F_o = 0.340 * G * D_p^2 * H$$

$$F_o = 0.340 * 0.986 * 2.75^2 * 1936$$

$$F_o = 4908.2 \text{ lbs}$$

- La elongación total de la sarta de varillas ( $1/Kr$ ) está en pulgadas por libra de fuerza aplicada.

$$\frac{1}{Kr} = E_r * L$$

$$\frac{1}{Kr} = (0.61 * 10^{-6}) * 1953$$

$$\frac{1}{Kr} = 1.19 * 10^{-3} \left( \frac{\text{pulg}}{\text{lbs}} \right)$$

Esto significa que los 1953 pies de varillas se estiraran alrededor de  $1.19 * 10^{-3}$  pulgadas por cada libra aplicada sobre ella.

- Carga necesaria para elongar la sarta de varillas una longitud igual al recorrido de la barra pulida.

$$Skr = \frac{s}{\left(\frac{1}{kr}\right)}$$

$$Skr = \frac{122}{1.19 * 10^{-3}}$$

$$Skr = 102406.6 \text{ lbs}$$

- Calculo de la relación adimensional de estiramiento de la sarta de varillas.

$$\frac{Fo}{Skr} = \frac{4908.2}{102406.6} = 0.048$$

Esto quiere decir, que los 1953 pies de varillas se estirarán alrededor del 4.8 % de la carrera de superficie, cuando levanta 4908.2 libras de carga de fluido.

- Relación de la velocidad de bombeo a la frecuencia natural de la sarta de varillas, (un solo diámetro).

$$\frac{N}{No} = \frac{N * L}{245000}$$

$$\frac{N}{No} = \frac{1 * 1953}{245000}$$

$$\frac{N}{No} = 0.008$$

- La otra relación importante es la velocidad de bombeo adimensional (N/No'). Este factor es el coeficiente entre la velocidad de bombeo y la frecuencia natural de las varillas. Esta última, es la frecuencia mediante la cual, la sarta de varillas vibrará sin fricción, y si estuviera fija en tope y libre en el fondo.

$$\frac{N}{No'} = \frac{\left(\frac{N}{No}\right)}{Fc}$$

$$\frac{N}{No'} = \frac{0.008}{1.119}$$



$$\frac{N}{No'} = 7.1 * 10^{-3}$$

Es importante resaltar que, la frecuencia natural de una sarta de varillas combinada es mayor que una de un solo diámetro de igual longitud; es decir,  $F_c$  es mayor que uno cuando se utiliza combinación de diámetros de varillas.

- Constante de elasticidad de la tubería, para tubería desanclada.

$$\frac{1}{Kt} = Et * L$$

$$\frac{1}{Kt} = 0.154 * 10^{-6} * 1935$$

$$\frac{1}{Kt} = 0.301 * 10^{-3} \frac{in}{lbs}$$

#### RESOLVER PARA $S_p$ Y $P_D$

- La carrera del pistón de la bomba de subsuelo, gobierna la tasa de producción conjuntamente con la velocidad de bombeo, tamaño de la bomba y la capacidad de producción del pozo. La relación adimensional de longitud de carrera ( $S_p/S$ ) se obtiene de la figura 2.1, entrando con los valores adimensionales de velocidad ( $N/No'$ ) = 0.0071 y de estiramiento de varillas ( $F_o/Skr$ ) = 0.048. Obteniéndose el valor de  $\left(\frac{S_p}{s}\right) = 0.95$

El valor obtenido de  $(S_p/S) = 0.95$  significa que la carrera efectiva del pistón en el fondo ( $S_p$ ) es el 0.95% mayor que la carrera en superficie ( $S$ ).

- Desplazamiento en el fondo de la bomba.

$$Sp = \left[ \left( \frac{Sp}{s} \right) * s \right] - \left[ Fo * \left( \frac{1}{Kt} \right) \right]$$

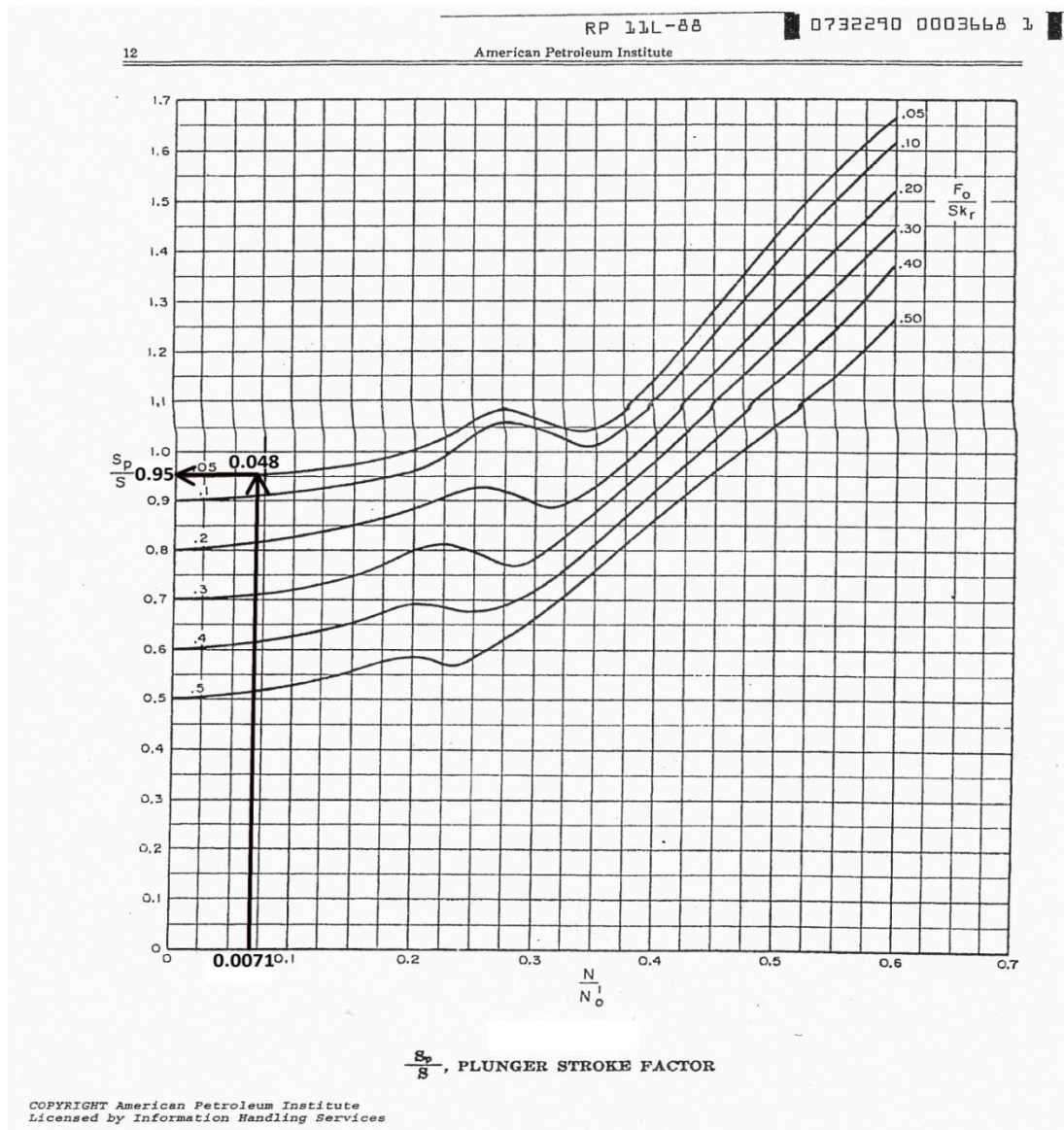
$$Sp = [(0.95) * 122] - [4908.2 * (0.301 * 10^{-3})]$$

$$Sp = 114.42 \text{ pulg}$$

$(S_p)$  es la longitud del pistón de la bomba y  $(S)$  es la longitud del recorrido en superficie de la varilla.

Un valor de  $(S_p/S) < 1$ , indica un viaje menor en la bomba debido a la elongación en las varillas. En cambio  $(S_p/S) > 1$ , indica un sobre viaje en la bomba.

Figura 2.1 (Sp/S) Correlación para corregir la carrera del pistón.



Fuente: METODO API RP 11 – L

- El desplazamiento de la bomba depende de la velocidad de bombeo, diámetro del pistón y recorrido de la bomba. El recorrido de la bomba depende principalmente de la profundidad de la bomba, diseño, material de la sarta de varillas, velocidad de bombeo y tipo de unidad de bombeo, el desplazamiento de la bomba es calculado, utilizando la siguiente ecuación:

$$PD = 0.1166 * Sp * N * D^2$$



$$PD = 0.1166 * 114.42 * 1 * 2.75^2$$

$$PD = 100.9 \text{ BFPD}$$

Esto significa que la bomba tiene la capacidad de levantar 100.9 BFPD, con una eficiencia del (100%), pero no quiere decir que esta sea la producción real del pozo. La eficiencia volumétrica de la bomba es menor a uno, debido a las siguientes razones:

- Fuga de fluido en el pistón.
- Formación de una capa de gas en la superficie líquida, disminuyendo la eficiencia de bombeo.
- La disminución de presión en superficie provoca la liberación de gas en solución, provocando una reducción del líquido correspondiente al factor de la bomba, generalmente esta entre 70 y 90%.

El caudal calculado de la bomba satisface la producción del pozo "USCO 1", lo que quiere decir que se procede con los cálculos de diseño.

## DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ADIMENSIONALES

- El peso de las varillas en el aire ( $W_r$ ) es igual a 2.455 lbs/pie, Entonces, el peso total de la sarta ( $W$ ) será:

$$W = W_r * L$$

$$W = 2.455 * 1953$$

$$W = 4794.6 \text{ lbs}$$

- Como la sarta de varillas está sumergida en un fluido con gravedad específica de 0,986, su peso será menor, debido a la flotabilidad. El peso total de la sarta de varillas en flotación ( $W_{rf}$ ) será:

$$W_{rf} = W * [1 - (0.128 * G)]$$

$$W_{rf} = 4794.6 * [1 - (0.128 * 0.986)]$$

$$W_{rf} = 4189.5 \text{ lbs}$$

- Se calcula la relación  $\left(\frac{Wrf}{Skr}\right)$ , que muestra si es necesario hacer ajustes en el torque.

$$\frac{Wrf}{S * kr} = \frac{4189.5}{102406.6}$$

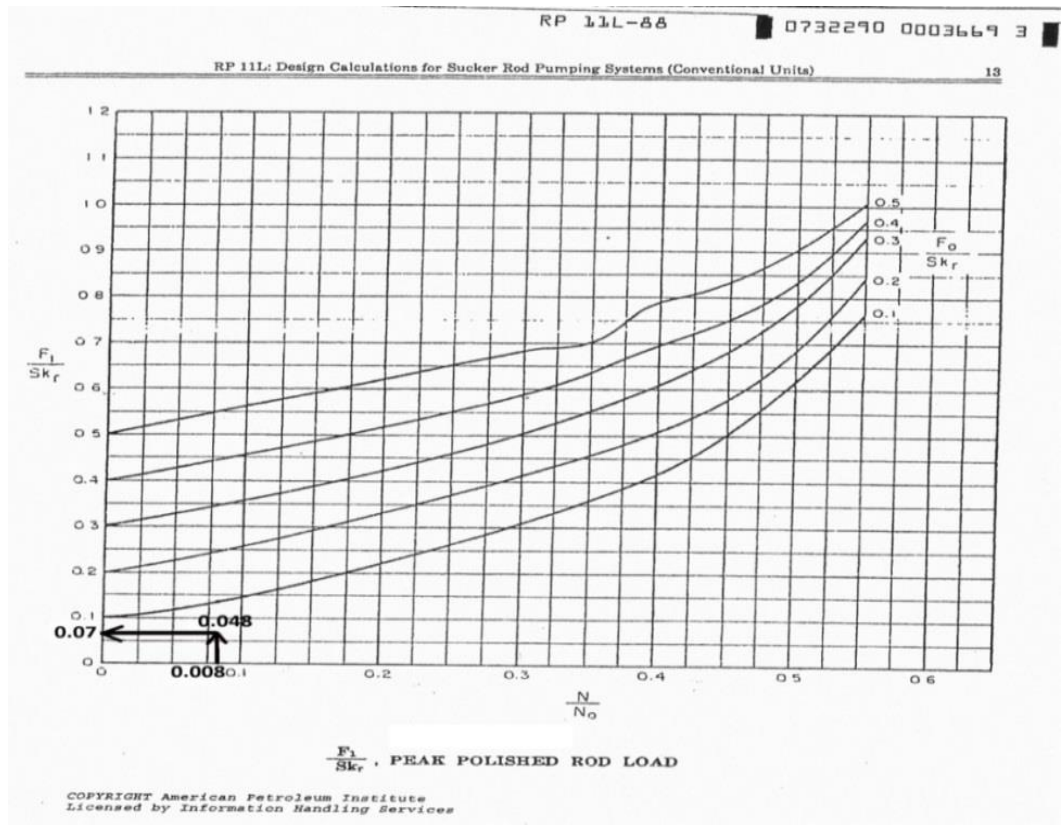
$$\frac{Wrf}{S * kr} = 0.041$$

**REGISTRO DE FACTORES DE LAS FIGURAS 2.2 A LA 2.6**

- Consultando la figura 2.2, con las relaciones de velocidad  $(N/No) = 0.008$  y estiramiento de las varillas  $(Fo/Skr) = 0.048$  se tiene que:

$$\frac{F_1}{Skr} = 0.07$$

**Figura 2.2 ( $F_1/Skr$ )** Correlación para calcular la carga máxima sobre la barra pulida.

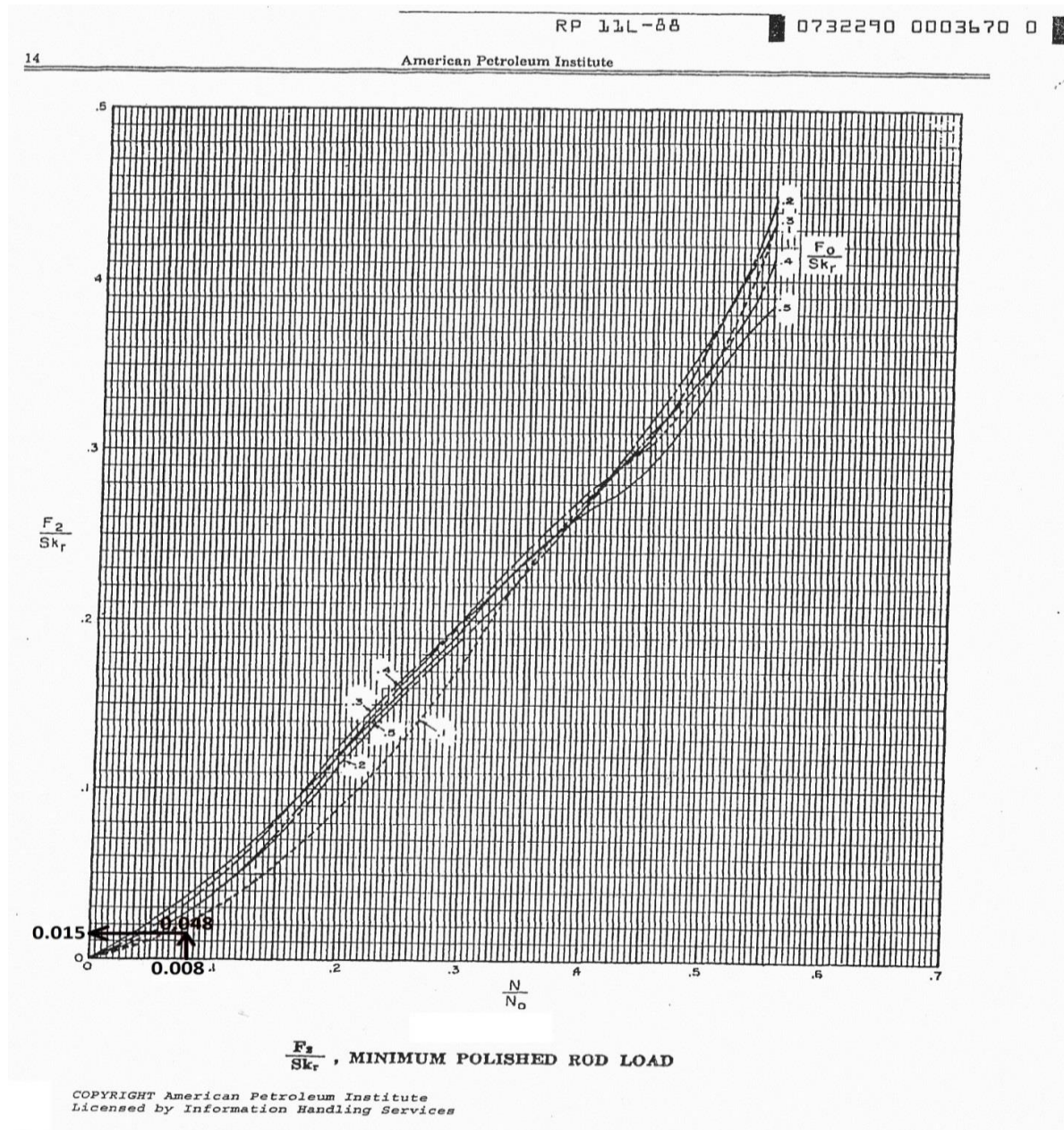


Fuente: METODO API RP 11 – L

- Consultando la figura 2.3, con las relaciones de velocidad  $(N/N_0) = 0.008$  y estiramiento de las varillas,  $(F_0/Sk_r) = 0.048$  se tiene que:

$$\frac{F_2}{Sk_r} = 0.015$$

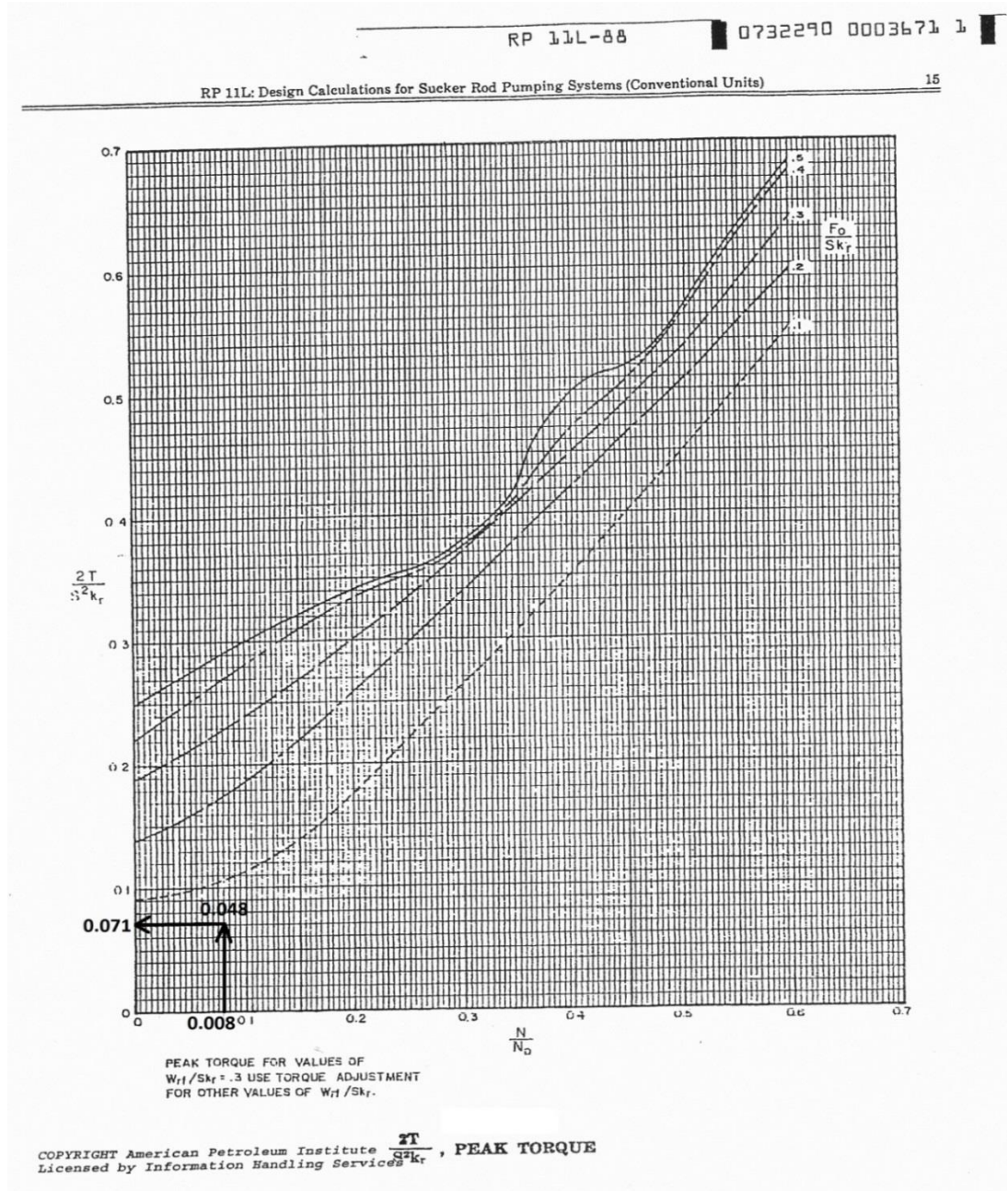
**Figura 2.3:  $(F_2/Sk_r)$  Correlación para calcular la carga mínima sobre la sarta de varillas.**



Fuente: METODO API RP 11 – L

- Consultando la figura 2.4, con las relaciones de velocidad  $(N/N_0) = 0.008$  y estiramiento de las varillas,  $(F_0/Sk_r) = 0.048$  se tiene que:  $(2T/S^2 * Kr) = 0.071$

Figura 2.4:  $(2T/S^2Kr)$  Correlación para calcular el torque máximo.

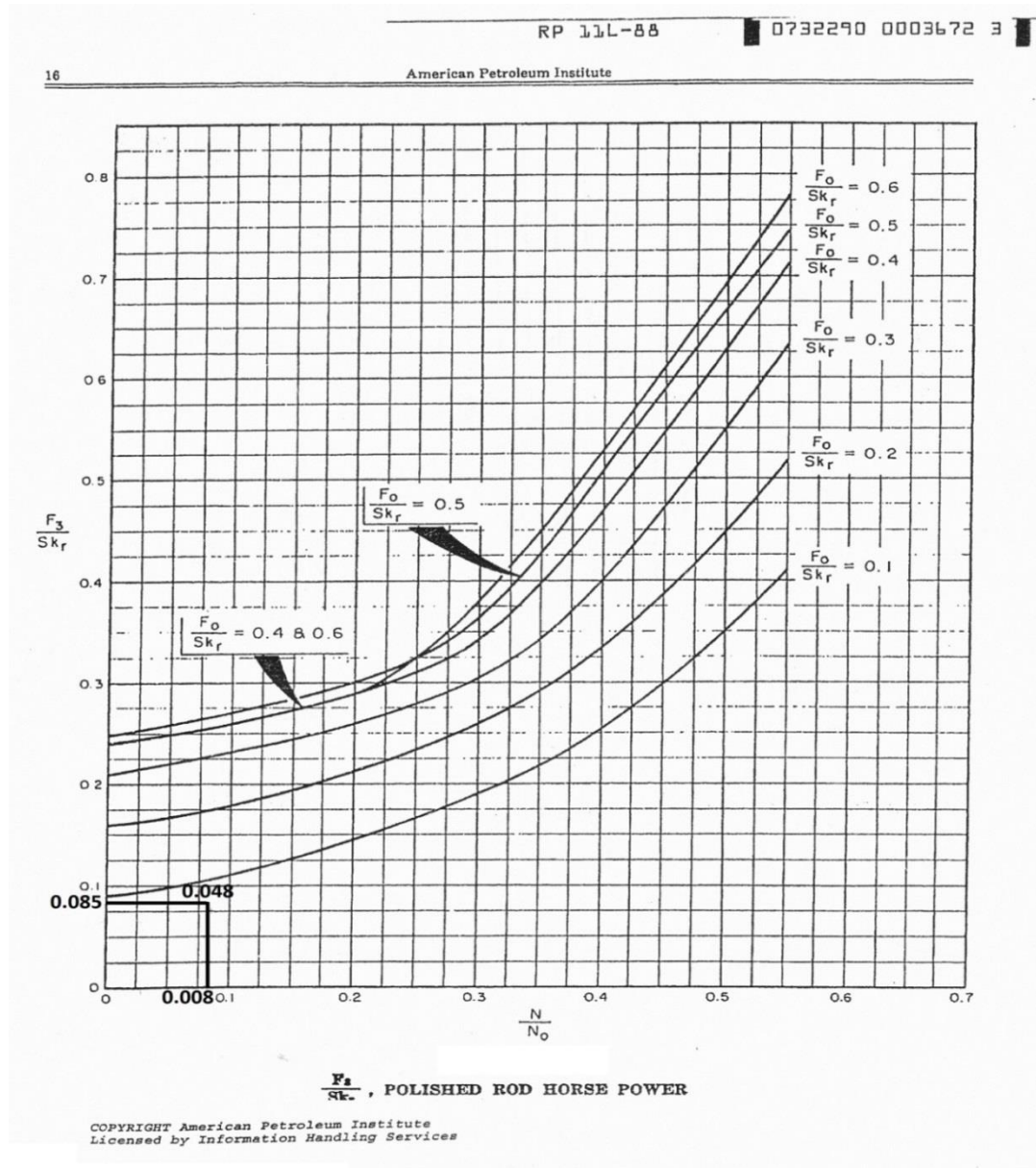


Fuente: METODO API RP 11 - L

- Consultando la figura 2.5, con las relaciones de velocidad  $(N/N_0) = 0.008$  y estiramiento de las varillas,  $(F_0/Sk_r) = 0.048$  se tiene que:

$$\frac{F_3}{Sk_r} = 0.085$$

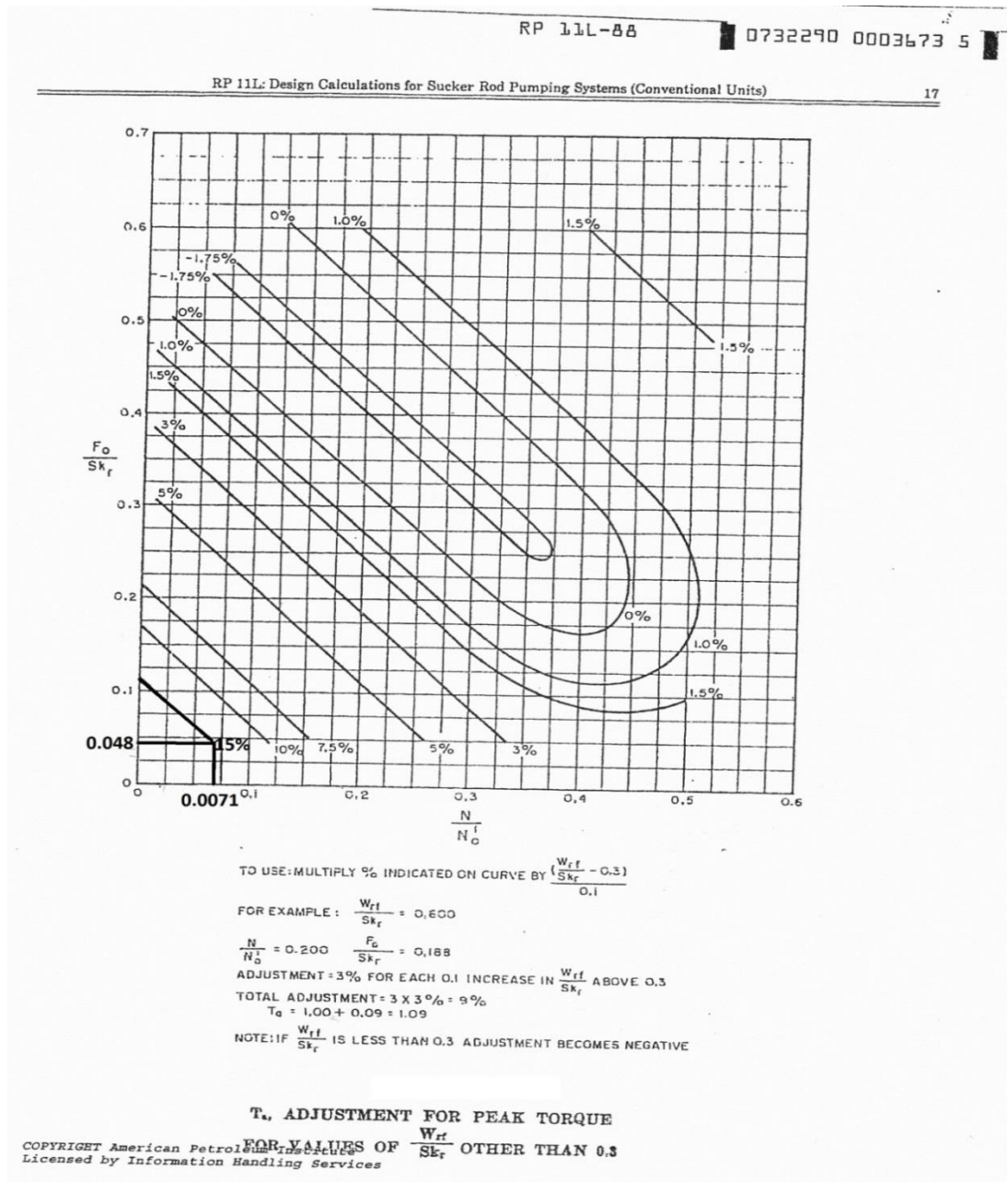
**Figura 2.5:**  $(F_3/Sk_r)$  Correlación para determinar la potencia en la sarta de varillas.



Fuente: METODO API RP 11 – L

- Consultando la figura 2.6, con la relación de velocidad  $(N/N_o') = 0.0071$  y estiramiento de las varillas,  $(F_o/Sk_r) = 0.048$  se tiene el % de corrección=15%, y con la relación  $(W_{rf}/Sk_r) = 0.041$  se tiene que:

Figura 2.6:  $T_a$ , Correlación para la corrección del torque máximo.



Fuente: METODO API RP 11 – L



$$\frac{Wrf}{S * Kr} - 0.3$$

$$0.1$$

$$\frac{0.041 - 0.3}{0.1} = -2.59 \text{ ahora}$$

$$15\% * -2.59 = -38.85\%$$

$$Ta = 1 + (-0.3885)$$

$$Ta = 0.61$$

## RESOLVEMOS PARA LAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN.

- En la figura 2.2 se muestra una gráfica que permite obtener una relación adimensional  $(F_1/SKr) = 0.07$ , para calcular la carga máxima que se puede aplicar sobre la sarta de varillas, utilizando los factores adimensionales conocidos;  $(N/No) = 0,008$  y  $(Fo/Skr) = 0,048$ .

$$PPRL = Wrf + \left[ \left( \frac{F_1}{SKr} \right) * Skr \right]$$

$$PPRL = 4189.5 + [(0.07) * 102406.6]$$

$$PPRL = 11358 \text{ lbs}$$

Esto significa que la máxima carga que soportará la estructura de la unidad será 11358 libras, y esto determina las especificaciones de carga de la unidad. Con este valor se puede hacer la equivalencia a una unidad convencional de bombeo mecánico que soporte como mínimo las mismas cargas de lo contrario estaría estructuralmente subdimensionada.

- De la figura 2.3, se obtiene la relación adimensional  $(F_2/SKr) = 0.015$ , utilizando los mismos factores de velocidad  $(N/No) = 0,008$  y estiramiento de las varillas  $(Fo/SKr) = 0,048$ . Con estos valores y utilizando la siguiente relación se puede calcular la carga mínima que se puede aplicar sobre la sarta de varillas.

$$MPRL = Wrf - \left[ \left( \frac{F_2}{SKr} \right) * Skr \right]$$

$$MPRL = 4189.5 - [(0.015) * 102406.6]$$



$$MPRL = 2653.4 \text{ lbs}$$

La importancia del cálculo de ésta carga mínima es la siguiente:

Si la carga es negativa, se requieren unas consideraciones diferentes de diseño; por ejemplo, una velocidad de bombeo más baja. Esto se explica, porque las varillas no bajarían lo suficientemente rápido en la carrera descendente; por lo tanto no produciría un fuerte golpe en el sistema, lo cual se traduce en daños sobre el equipo mecánico. Este golpe afectará la eficiencia de bombeo.

El rango entre las cargas máximas y mínimas en la barra pulida, gobiernan los límites de esfuerzos impuestos sobre la sarta de varillas, y son factores claves en la fatiga y vida útil de la misma.

- Como el cálculo se hace para una unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI el torque máximo en la caja reductora no se tiene en cuenta ya que esta unidad no tiene caja reductora.
- La potencia requerida para mover la carga en la barra pulida (PRHP) se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$PRHP = \left[ \left( \frac{F_3}{Skr} \right) * Skr * S * N * 2.53 * 10^{-6} \right]$$

La relación adimensional  $(F_3/S Kr) = 0.085$  se obtiene de la figura 2.5, utilizando los valores adimensionales de velocidad  $(N/No) = 0.008$  y de estiramiento de varillas  $(Fo/S Kr) = 0.048$ .

$$PRHP = [(0.085) * 102406.6 * 122 * 1 * 2.53 * 10^{-6}]$$

$$PRHP = 2.7 \text{ HP}$$

Conociendo el PRHP, se puede calcular la potencia del motor HPm, que es la potencia hidráulica más la potencia para compensar las pérdidas por fricción. Entonces:

$$HPm = [1.5 * (Hh + Hf)] + PRHP$$

$$Hh = 7.36 * 10^{-6} * PD * G * L$$

$$Hh = 7.36 * 10^{-6} * 100.9 * 0.986 * 1953$$

$$Hh = 1.43$$

$$Hf = 6.31 * 10^{-7} * W * S * N$$



$$H_f = 6.31 * 10^{-7} * 4794.6 * 122 * 1$$

$$H_f = 0.34$$

$$HP_m = 1.5 * (0.34 + 1.43) + 2,7$$

$$HP_m = 5.4 \text{ HP}$$

- El contrabalance de la unidad de bombeo no se tiene en cuenta ya que es una unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI.

Entonces teniendo en cuenta la designación o código utilizado por SERINPET para nombrar las unidades hidráulicas, se determina la unidad hidráulica en base a la potencia del motor eléctrico (HPm), la capacidad máxima en la sarta de varillas (PPRL), la longitud del recorrido (S), y la velocidad de bombeo (N).

La unidad seleccionada es:

**A6 – 12 – 122 – 1**

Dónde:

- A6: Motor eléctrico de 6 Hp.
- 12: Máxima carga de diseño estructural en miles de libras.
- 122: Máximo recorrido en pulgadas.
- 1: Velocidad de bombeo.

Consultando el catalogo Lufkin anexo (3), una unidad convencional de bombeo mecánico que sea equivalente a esta unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI sería aquella que cumpla las características de diseño estructural y longitud del recorrido. Esta unidad sería:

**C - 228D – 213 - 120**

Dónde:

- C= Corresponde a una unidad convencional.
- 228 = Clasificación de la torsión máxima en miles de libras-pulgadas.
- D= Reductor de engranajes con doble reducción.
- 213 = Clasificación de carga de la varilla pulida en cientos de libras.
- 120 = Longitud de la carrera en pulgadas

### 2.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL METODO API RP 11-L PARA EL POZO USCO 2.

Por medio del método API RP 11-L se calcula la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI instalada en el pozo Usco 2 y para completar este análisis se procede de la misma manera como se hizo con el pozo Usco 1. Generando de esta manera las siguientes tablas de datos y de resultados.

**Tabla 2.4** Datos de entrada pozo Usco 2.

Unidad de bombeo	Hidráulica
Caudal producido	5 BFPD
Nivel de fluido (H)	1872 pies
Profundidad de la bomba (L)	1895 pies
Diámetro interior de la tubería (Dtb)	2.441 pulg
la tubería no está anclada	
Velocidad de bombeo (N)	1 SPM
Longitud de la carrera en superficie (S)	122 pulg
Diámetro del pistón (Dp)	2.25 pulg
Gravedad específica del fluido (G)	0.986
Arreglo de varillas	87

Fuente: Departamento de producción, Mansarovar Energy Colombia  
Realizado por: Los autores.

El caudal producido que se registra en la tabla anterior es el promedio de producción de los primeros 4 meses del año 2013. (Ver anexo 6)

Siguiendo el procedimiento realizado en el pozo Usco 1, se procede a calcular la unidad del pozo Usco 2 mostrando así la siguiente tabla de resultados por medio del cálculo del método API RP 11- L.

**Tabla 2.5** Resultados de cálculo del método API RP 11- L para el pozo Usco 2.

Wr	2.472	lbs/pie
Er	$0.594 \cdot 10^{-6}$	pulg/(lbs*pie)
Fc	1.075	
Et	$0.221 \cdot 10^{-6}$	pulg/(lbs/pie)
Fo	3177.07	lbs
1/Kr	$1.13 \cdot 10^{-3}$	pulg/lbs
Skr	108383.7	lbs
Fo/Skr	0.03	
N/No	0.008	
N/No'	0.0072	
1/Kt	$0.419 \cdot 10^{-3}$	pulg/lbs
Sp/S	0.98	
Sp	118.2	pulg
PD	69.8	BFPD
W	4684.4	lbs
Wrf	4093.2	lbs
Wrf/Skr	0.038	
F1/Skr	0.07	
F2/Skr	0.01	
$2T/S^2kr$	0.08	
F3/Skr	0.075	
Ta	0.58	
PPRL	11680.1	lbs
MPRL	3009.4	lbs
PT	No se tiene en cuenta	
PRHP	2.51	HP
CBE	No se tiene en cuenta	
HPm	4.5	HP
Unidad hidráulica	A5 – 12 – 122 – 1	
Unidad convencional equivalente	C-228D-213-120	

Fuente: Los autores.

Realizado por: Los autores.

## 2.4 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL METODO API RP 11-L PARA EL POZO USCO 3.

Por medio del método API RP 11-L se calcula la unidad convencional de bombeo mecánico instalada en el pozo Usco 3, y para completar este análisis se procede de la misma manera como se hizo con el pozo Usco 1. Generando de esta manera las siguientes tablas de datos y de resultados.

**Tabla 2.6** Datos de entrada pozo Usco 3

Unidad de bombeo	Convencional
Caudal producido	9 BFPD
Nivel de fluido (H)	1967 pies
Profundidad de la bomba (L)	2200 pies
Diámetro interior de la tubería (Dtb)	2.441 pulg
la tubería no está anclada	
Velocidad de bombeo (N)	3 SPM
Longitud de la carrera en superficie (S)	122 pulg
Diámetro del pistón (Dp)	2.25 pulg
Gravedad específica del fluido (G)	0.986
Arreglo de varillas	87

Fuente: Departamento de producción, Mansarovar Energy Colombia  
Realizado por: Los autores.

El caudal producido que se registra en la tabla anterior es el promedio de producción de los primeros 6 meses del año 2013. (Ver anexo 6)

Siguiendo el procedimiento realizado en el pozo Usco 1, se procede a calcular la unidad del pozo Usco 3 mostrando así la siguiente tabla de resultados por medio del cálculo del método API RP 11- L.

**Tabla 2.7** Resultados de cálculo del método API RP 11- L para la unidad convencional de bombeo mecánico en el pozo Usco 3.

Wr	2.472	lbs/pie
Er	$0.594 \cdot 10^{-6}$	pulg/(lbs*pie)
Fc	1.075	
Et	$0.221 \cdot 10^{-6}$	pulg/(lbs*pie)
Fo	3338.3	lbs
1/Kr	$1.31 \cdot 10^{-3}$	pulg/lbs
Skr	93357.82	lbs
Fo/Skr	0.036	
N/No	0.027	
N/No'	0.025	
1/Kt	$0.486 \cdot 10^{-3}$	pulg/lbs
Sp/S	0.99	
Sp	119.16	pulg
PD	211.01	BFPD
W	5438.4	lbs
Wrf	4752.03	lbs
Wrf/Skr	0.051	
F1/Skr	0.07	
F2/Skr	0.01	
$2T/S^2kr$	0.08	
F3/Skr	0.07	
Ta	0.63	
PPRL	11287.1	lbs
MPRL	3818.54	lbs
PT	239962.9	lbs/pulg
PRHP	6.1	HP
CBE	6806.5	lbs
HPm	14	HP
Unidad convencional	C-320D-213-120	

Fuente: los autores

Realizado por: los autores

Como en el pozo Usco 3 se tiene instalada una unidad convencional de bombeo mecánico, a esta unidad es importante calcularle el torque máximo en la caja de engranajes y el efecto del contrabalanceo que para las unidades hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI no son tenidas en cuenta.

- El torque máximo en la caja reductora, es otro parámetro importante en la selección de una unidad convencional de bombeo mecánico. La figura 2.4 muestra una gráfica para calcular una relación adimensional de torque  $\left(\frac{2T}{S^2K_r}\right) = 0.08$ , usando los valores adimensionales de velocidad  $(N/N_o) = 0.027$  y estiramiento de varillas  $(F_o/Skr) = 0.036$  mencionados en los pasos anteriores.

$$PT = \left[ \left( \frac{2T}{S^2K_r} \right) * Skr * \left( \frac{S}{2} \right) * Ta \right]$$

$$PT = \left[ (0.08) * 93357.82 * \frac{122}{2} * Ta \right]$$

$$PT = 455586.2 * (Ta) \frac{lbs}{pulg}$$

Para determinar  $Ta$  se necesita conocer la relación  $\frac{Wrf}{Skr}$ , si la relación es:  $\frac{Wrf}{Skr} = 0.3$ ;  $Ta = 1$ , ó

$\frac{Wrf}{Skr} \neq 0.3$ ;  $Ta$  Se determina de la gráfica de la figura 2.6, para este caso tenemos que;

$$\frac{Wrf}{Skr} = 4752.03 * \frac{1.31 * 10^{-3}}{122}$$

$$\frac{Wrf}{Skr} = 0.051$$

Como  $\frac{Wrf}{Skr}$  es diferente de 0.3 entonces se utilizan los valores adimensionales de velocidad  $\left(\frac{N}{N_o}\right)$  y estiramiento de varillas  $\left(\frac{F_o}{Skr}\right)$  y se determina un porcentaje de X de la figura 2.6 que sirve para hacer la corrección respectiva al torque calculado:

El porcentaje X = 19%

$$Ta = 1 + \left( \frac{+}{-} X\% \right) * \left[ \frac{\left( \frac{Wrf}{Skr} \right) - 0.3}{0.1} \right]$$

$$Ta = 1 + (0.19) * \left[ \frac{(0.051) - 0.3}{0.1} \right]$$

$$Ta = 0.53$$



Ta es el factor de corrección de torque.

Una vez calculado el factor de corrección Ta se puede calcular el torque máximo PT, de donde se obtiene:

$$PT = 455586.2 * (0.53)$$

$$PT = 239962.9 \frac{lbs}{pulg}$$

Esto significa que una unidad convencional con una caja de engranajes de una capacidad de 228000 lbs/pulg estaría sobrecargada bajo estas condiciones; en cambio, una unidad convencional con una caja de engranajes de 320000 lbs/pulg no lo estaría y trabajaría en óptimas condiciones.

- La potencia requerida para mover la carga en la barra pulida (PRHP) se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$PRHP = \left[ \left( \frac{F_3}{Skr} \right) * Skr * S * N * 2.53 * 10^{-6} \right]$$

La relación adimensional  $(F_3/S Kr) = 0.07$  se obtiene de la figura 2.5, utilizando los valores adimensionales de velocidad  $(N/No) = 0.027$  y de estiramiento de varillas  $(Fo/S Kr) = 0.036$ .

$$PRHP = [(0.07) * 93357.82 * 122 * 1 * 2.53 * 10^{-6}]$$

$$PRHP = 6.1 \text{ HP}$$

Conociendo el PRHP, se puede calcular la potencia del motor para el fabricante HPm, que es la potencia mínima requerida para arrancar la unidad.

$$HPm = \frac{PRHP * CLF}{Esup}$$

Dónde:

*CLF*: Factor de carga cíclica del motor (dada por el fabricante del motor).

*Esup*: Eficiencia en superficie de la unidad de bombeo.

**Tabla 2.8** Valores de CLF para varios tipos de motores.

TIPO DE MOTOR PRIMARIO	VALOR DE CLF
NEMA "D" Motores eléctricos de baja velocidad	1.375
NEMA "C" Motores eléctricos de multicilindros	1.897
NEMA "D" Motor eléctrico de alta velocidad	1.10
NEMA "C" Motor eléctrico de multicilindros	1.517

Fuente: Industrias Lufkin, Lufkin, TX, USA  
Realizado por: Los autores.

$$E_{sup} = \text{Eficiencia mecánica} * \text{Eficiencia del motor}$$

Cuando se habla de la eficiencia mecánica se está haciendo referencia a la eficiencia de la unidad de bombeo en superficie, y para ello se debe tener en cuenta la inercia que debe vencer el motor para poder arrancar la unidad. Dicho de otra manera es la cantidad de energía que se necesita para mover la caja de engranajes y la unidad de bombeo ya que el motor no aplica la fuerza de forma directa a la unidad de bombeo. La eficiencia mecánica se calcula en un rango entre el 70 - 90%. La eficiencia del motor está dada por el fabricante, para este caso se utiliza un motor tipo NEMA "D", y este valor de eficiencia es de 0.7.

$$E_{sup} = 0.85 * 0.7$$

$E_{sup} = 0.595$  Valor que ahora se reemplaza en la fórmula de caballaje,

$$HP_m = \frac{PRHP * CLF}{E_{sup}}$$

$$HP_m = \frac{6.1 * 1.375}{0.595}$$

$$HP_m = 14.1 \text{ HP}$$

- La cantidad de peso necesario para el contrabalance de la unidad de bombeo mecánico también debe ser considerado en el diseño. El método API, utiliza la siguiente ecuación para determinar el contrabalance efectivo.

$$CBE = 1.06 * \left( Wrf + \frac{1}{2} * Fo \right)$$

$$CBE = 1.06 * \left( 4752.03 + \frac{1}{2} * 3338.3 \right)$$

$$CBE = 6806.5 \text{ lbs}$$

En principio, 6806.5 lbs de contrabalance en la barra pulida debe balancear la unidad, de tal manera que, el torque máximo en la carrera ascendente sea igual al de la carrera descendente. Este valor de contrabalance es equivalente a 3403.25 Lbs/pulg.

Entonces teniendo en cuenta la nomenclatura utilizada por el fabricante LUFKIN en su catálogo anexo (3), se determina la unidad convencional de bombeo mecánico en base al torque máximo en la caja reductora (PT), carga máxima en la sarta de varillas (PPRL) y la longitud de carrera del pistón (Sp).

La unidad seleccionada es:

**C - 320D – 213 – 120**

Dónde:

- C= Corresponde a una unidad convencional.
- 228 = Clasificación de la torsión máxima en miles de libras-pulgadas.
- D= Reductor de engranajes con doble reducción.
- 213 = Clasificación de carga de la varilla pulida en miles de libras.
- 120 = Longitud de la carrera en pulgadas.

## 2.5 RESUMEN DEL ANALISIS TECNICO

**Tabla 2.9** Resumen de las características de operación de las unidades instaladas en los pozos Usco 1, 2 y 3.

NOMBRE DEL POZO	UNIDAD	PPRL (lbs)	MPRL (lbs)	PT (lbs/pulg)	PRHP (HP)	CBE (lbs)	HPm (HP)
USCO 1	HIDRAULICA	11358	2653.4	-	2.7	-	5.4
USCO 2	HIDRAULICA	11680.1	3009.4	-	2.51	-	4.5
USCO 3	CONVENCIONAL	11287.1	3818.5	239963	6.1	6806.5	14.1

Fuente: Los autores.

Realizado por: Los autores.

Como se puede observar en la tabla anterior las unidades hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI de los pozos Usco 1 y Usco2 soportan cargas máximas sobre la sarta de varillas (PPRL) mayores que la unidad convencional de bombeo mecánico del pozo Usco 3, y a pesar de esa condición estas unidades aportan la misma producción de fluidos a la misma profundidad del yacimiento, además se debe tener en cuenta que el motor de estas unidades tienen un consumo de energía real dado en (HP) más pequeño que los motores de la unidad convencional de bombeo mecánico. Cuando se hace la equivalencia entre una unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI y una unidad convencional, a lo que se quiere llegar es a comparar el motor eléctrico que estas utilizan para desplazar las cargas a las cuales son sometidas.

Una de las razones por las cuales los motores de las unidades hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI, consumen menos energía al desplazar las cargas a las que son sometidas, es que en ellas la acción de la potencia sobre la carga se hace de forma directa a la barra pulida por medio del actuador hidráulico, mientras tanto que en las unidades convencionales de bombeo mecánico la acción de la potencia no es directa, puesto que esta potencia primero es transmitida desde el motor a la caja de engranajes, después la potencia pasa por la viga viajera, demás accesorios y ahí si es transmitida a la barra pulida. Otra de las razones por las cuales la energía consumida por el motor es menor en las unidades hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI es que la potencia es transmitida por un fluido (aceite hidráulico), mientras que en las unidades

convencionales de bombeo mecánico se debe vencer la inercia generada por las partes solidas (acero) que se encuentran en contacto a través del camino tomado por la energía aportada por el motor, El desgaste de un sistema hidráulico en comparación a un sistema mecánico es menor, ya que en el sistema hidráulico el rozamiento se presenta entre el aceite y el metal. Aquí el aceite es incapaz de erosionar al metal. Por el contrario en los sistemas mecánicos el rozamiento se presenta entre metal-metal. En estos casos el metal más duro erosiona al metal más blando. Es por esta razón que las unidades convencionales de bombeo mecánico deben tener motores eléctricos grandes en caballaje que garanticen el suministro de esta energía y además deben tener potencia disponible para cualquier sobrecarga posible, esto hace que la unidad pierda eficiencia en su funcionamiento y trabaje sobredimensionada.

Desde que se planteó este proyecto se hizo énfasis en la economía que puede generar un motor eléctrico pequeño en comparación con un motor eléctrico grande en un sistema de levantamiento de Hidrocarburos y esto queda demostrado por la siguiente operación:

- Watts es la unidad en que se mide la potencia.
- Amperio es la unidad en que se mide la corriente eléctrica.
- Voltio, es la unidad con que se mida la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

La relación matemática entre los tres parámetros es: (Watts) = (amperio) \* (voltio)

Como los motores están consumiendo energía en (HP), esto es equivalente a la potencia consumida, entonces:

$$\left(\frac{HP}{hora}\right) * \left(\frac{1Kwatt}{1.341HP}\right) * \left(\frac{168 \$}{Kwatts}\right) * \left(\frac{24 hora}{1 dia}\right) * \left(\frac{30 dia}{1 mes}\right) = \left(\frac{\$}{mes}\right)$$

La relación anterior lo que permite calcular es el consumo de energía de un motor eléctrico traducido al costo mensual pagado por el servicio. En esta relación se tiene en cuenta que:

1. La medida que arroja el consumo del motor esta dado en (HP/hora).
2. Las unidades están encendidas 24 horas al día.
3. El precio de la energía eléctrica en campo es USD 0.087 Kwatt/hora.
4. El resultado es expresado en consumo mensual en periodos de 30 días.

Estos valores de consumo energético se deben tener en cuenta a la hora de realizar el análisis económico para así evaluar la viabilidad del proyecto.

### **3. ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO**

#### **3.1 INTRODUCCION**

El análisis técnico-económico se realiza con el fin de evaluar la factibilidad de instalar la unidad hidráulica de bombeo mecánica SERINPET MINI en pozos donde el cliente crea conveniente, por esta razón es necesario revisar los costos en los que se incurre a la hora de tomar esta decisión. El análisis económico se basa en el análisis de inversiones, ingresos, egresos, valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio costo (RBC), con lo cual podemos determinar si el proyecto es rentable.

Un proyecto se puede considerar rentable si se cumple:

- El valor actual neto es mayor que cero.
- La tasa de retorno, es mayor que la tasa de actualización.
- Si la relación Beneficio/Costo es mayor a uno tenemos un proyecto rentable.

#### **3.2 METODOS UTILIZADOS EN LA EVALUACION DEL PROYECTO**

Los métodos que se utilizarán para evaluar el proyecto son: Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), y la relación Beneficio/Costo (RBC), ya que son los indicadores económicos más utilizados a la hora de evaluar proyectos.

##### **3.2.1 VALOR ACTUAL NETO**

Es la diferencia entre todos los ingresos y egresos llevados al periodo actual. Este procedimiento permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos, originados por una inversión, la metodología es sencilla y consiste en descontar al momento actual todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial.

La tasa de interés que se utiliza para evaluar el proyecto se denomina “tasa de descuento”, esta tasa es fijada dependiendo el grado de riesgo que tenga la inversión y por encima de los riesgos del sistema financiero.

Para su cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{n=0}^n \frac{FNC}{(1+i)^n}$$

Dónde:

VAN: Valor Actual Neto.

FNC: Flujo Neto de Caja.

i: tasa de actualización o descuento.

n: periodos de análisis.

#### CONDICIONES:

- **VAN > 0** proyecto aceptable.
- **VAN = 0** solo se recupera la inversión.
- **VAN < 0** el proyecto no se acepta.

### 3.2.2 TASA INTERNA DE RETORNO

Es la tasa que iguala el Valor actual neto a cero. Es también conocida como la tasa de rentabilidad, producto de la reinversión de los flujos netos de efectivo dentro de la operación propia del negocio y se expresa en porcentaje. La evaluación de los proyectos cuando se hacen con base en la tasa interna de retorno, toman como referencia la tasa de descuento.

#### CONDICIONES:

- **TIR > i**, el proyecto se debe aceptar, pues estima un rendimiento mayor al mínimo requerido.
- **TIR < i**, el proyecto se debe rechazar, pues estima un rendimiento menor al mínimo requerido.

Para el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR), se tiene en cuenta la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{n=0}^n \frac{FNC}{(1+i)^n} - io = 0$$



Dónde:

VAN: Valor Actual Neto.

FNC: Flujo Neto de Caja.

i: Tasa de actualización o descuento.

n: Periodos de análisis.

io : Inversión que se realiza en el periodo cero.

### 3.2.3 RELACION BENEFICIO COSTO

La relación beneficio/costo es un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que un proyecto puede generar.

- Se toma como tasa de descuento la tasa social en vez de la tasa interna de oportunidad.
- Se traen a valor presente los ingresos netos de efectivo asociados con el proyecto.
- Se traen a valor presente los egresos netos de efectivo del proyecto.
- Se establece la relación entre el Valor Actual Neto de los ingresos y el Valor Actual Neto de los egresos.

La relación Beneficio/Costo se calcula mediante:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum VP(+)}{\sum VP(-)}$$

$$\sum VP(+): \text{Beneficios}$$

$$\sum VP(-): \text{Costos}$$

#### CONDICIONES:

**B/C > 1**, proyecto rentable.

**B/C < 1**, proyecto no rentable.

**B/C = 1**, proyecto indiferente.



En resumen la viabilidad del proyecto se puede resumir en la tabla 3.1 como se muestra a continuación.

**Tabla 3.1.** Viabilidad del proyecto.

INDICADOR DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	VAN	TIR	RC/B
INDIFERENTE	$VAN = 0$	$TIR = i$	$RC/B = 1$
VIABLE	$VAN > 0$	$TIR > i$	$RC/B > 1$
NO VIABLE	$VAN < 0$	$TIR < i$	$RC/B < 1$

Fuente: [www.pymesfuturo.com](http://www.pymesfuturo.com)

Realizado por: Los autores.

### 3.3 TASA REPRESENTATIVA DEL MERCADO

La tasa de cambio representativa del mercado (TRM) es la cantidad de pesos colombianos por un dólar de los Estados Unidos. La TRM se calcula con base en las operaciones de compra y venta de divisas entre intermediarios financieros que transan en el mercado cambiario colombiano. La TRM utilizada en el proyecto se muestra en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Tasa representativa del mercado.

INDICADOR	13-SEP-13	06-SEP-13
TASA REPRESENTATIVA DEL MERCADO	1919.25	1952.11

Fuente: Superintendencia Financiera de Colombia, Cálculos Banco de la Republica.

### 3.4 CONDICIONES PARA EL ANALISIS ECONOMICO

- Para el pozo Usco 1, se hará un análisis económico con una producción de 7 BPPD.
- Se tiene en cuenta que cada 6 meses se hacen intervenciones de mantenimiento a las unidades de bombeo donde se debe considerar el costo de la inversión más el tiempo no productivo (NPT por sus siglas en ingles).



- Como se puede ver en la tabla 3.2, en el proyecto se utilizó una Tasa Representativa del Mercado (TRM) de 1919.25 pesos por dólar.
- Se estima una tasa de actualización anual del 48 %, que corresponde a una tasa mensual del 4 %. Esta tasa está por encima de la que maneja el sistema financiero debido a los riesgos que se toman a la hora de hacer una inversión, teniendo en cuenta la DTF para certificado de depósitos a 90 días, Información actualizada al 4 de Octubre 2013.
- La estimación del costo operativo de producción por barril de petróleo es USD 13,8.
- El precio estimado de venta del barril de petróleo es USD 90.
- Periodo mensual considerado 30 (días).
- El análisis se hará a un periodo de 5 años.
- Contingencias del 30 %.
- Cada cambio de año se tiene en cuenta la inflación que es aproximadamente el 3%.

### **3.5 INVERSION DEL PROYECTO**

Para poner en marcha el sistema hidráulico de bombeo mecánico SERINPET MINI, basado en el estudio se tienen en cuenta aspectos técnicos y económicos, cada uno de estos aspectos representan un valor que conlleva a realizar una inversión inicial para el proyecto.

Los costos estimados para la instalación y puesta en marcha de una unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI se detallan a continuación en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3** Costos estimados para la instalación y puesta en marcha de una unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI.

OPERACIONES Y MATERIALES	DESCRIPCION	HIDRAULICA
COSTO DE LA UNIDAD (USD)	HIDRAULICA DE BOMBEO MECANICO	\$ 27.615,1
COSTO DEL MOTOR (USD)	MOTOR ELECTRICO 7,5 HP	\$ 1.563,1
COSTO DE EQUIPO DE INSTALACION (USD)	SERVICIO A POZO	\$ 1.563,1
CONTINGENCIAS (USD)	30%	\$ 9.222,4
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 39.963,7</b>
COSTO DE ENERGIA (USD)	SERVICIO MENSUAL	\$ 234,9
MANTENIMIENTO (USD)	PREVENTIVO CADA 6 MESES	\$ 2.084,1
PARADAS DE PRODUCCION (USD)	TIEMPO NO PRODUCTIVO POR 2 hr/ 6 MESES	\$ 44,2
<b>TOTAL (USD)</b>		<b>\$ 45.216,9</b>

Fuente: Departamento de Ingeniería Serinpet, Departamento de Ingeniería Mansarovar Energy Colombia.

Realizado por: Los autores.

**Tabla 3.4** Análisis económico del proyecto.

MES	PERIODO	PRODUCCION POR DIA (BPPD)	PARADAS DE PRODUCCION / 6 MESES (BPPM)	PRODUCCION POR MES (BPPM)	INGRESOS POR VENTA (USD)	INVERSION INICIAL (USD)	COSTOS OPERATIVOS (USD)	COSTOS INDIRECTOS (USD)	EGRESO TOTAL(USD)	FLUJO NETO DE CAJA (USD)	FLUJOS DE CAJA ACTUALIZADOS	SUMATORIA DE FLUJOS DE CAJA ACTUALIZADOS
1	0	0,0	0,00	0,0	0,0	39963,7	0,0	0,0	-39963,7	-39963,7	-39963,7	-39963,7
2	1	7,0	0,00	210,0	18900,0	0,0	2898,0	234,9	3132,9	15767,1	15160,7	-24803,0
3	2	7,0	0,00	210,0	18900,0	0,0	2898,0	234,9	3132,9	15767,1	14577,6	-10225,5
4	3	7,0	0,00	210,0	18900,0	0,0	2898,0	234,9	3132,9	15767,1	14016,9	3791,4
5	4	7,0	0,00	210,0	18900,0	0,0	2898,0	234,9	3132,9	15767,1	13477,8	17269,2
6	5	7,0	0,58	209,4	18847,8	0,0	2890,0	2319,0	5209,0	13638,8	11210,1	28479,3
7	6	7,0	0,00	210,0	18900,0	0,0	2898,0	234,9	3132,9	15767,1	12461,0	40940,3
8	7	7,0	0,00	210,0	18900,0	0,0	2898,0	234,9	3132,9	15767,1	11981,7	52922,0
9	8	7,0	0,00	210,0	18900,0	0,0	2898,0	234,9	3132,9	15767,1	11520,9	64442,9
10	9	7,0	0,00	210,0	18900,0	0,0	2898,0	234,9	3132,9	15767,1	11077,8	75520,6
11	10	7,0	0,00	210,0	18900,0	0,0	2898,0	234,9	3132,9	15767,1	10651,7	86172,3
12	11	7,0	0,58	209,4	18847,8	0,0	2890,0	2319,0	5209,0	13638,8	8859,5	95031,8
13	12	7,0	0,00	210,0	19467,0	0,0	2884,9	241,9	3226,9	16240,1	10143,5	105175,3
14	13	7,0	0,00	210,0	19467,0	0,0	2884,9	241,9	3226,9	16240,1	9753,4	114928,7
15	14	7,0	0,00	210,0	19467,0	0,0	2884,9	241,9	3226,9	16240,1	9378,3	124307,0
16	15	7,0	0,00	210,0	19467,0	0,0	2884,9	241,9	3226,9	16240,1	9017,6	133324,5
17	16	7,0	0,00	210,0	19467,0	0,0	2884,9	241,9	3226,9	16240,1	8670,7	141995,3
18	17	7,0	0,58	209,4	19413,2	0,0	2976,7	2388,6	5365,3	14048,0	7211,9	149207,1
19	18	7,0	0,00	210,0	19467,0	0,0	2984,9	242,0	3226,9	16240,1	8016,6	157223,7
20	19	7,0	0,00	210,0	19467,0	0,0	2984,9	242,0	3226,9	16240,1	7708,2	164931,9
21	20	7,0	0,00	210,0	19467,0	0,0	2984,9	242,0	3226,9	16240,1	7411,8	172343,7
22	21	7,0	0,00	210,0	19467,0	0,0	2984,9	242,0	3226,9	16240,1	7126,7	179470,4
23	22	7,0	0,00	210,0	19467,0	0,0	2984,9	242,0	3226,9	16240,1	6852,6	186323,0
24	23	7,0	0,58	209,4	19413,2	0,0	2976,7	2388,6	5365,3	14048,0	5699,6	192022,7
25	24	7,0	0,00	210,0	20051,0	0,0	3074,5	249,2	3323,7	16727,3	6525,7	198548,3
26	25	7,0	0,00	210,0	20051,0	0,0	3074,5	249,2	3323,7	16727,3	6274,7	204823,0
27	26	7,0	0,00	210,0	20051,0	0,0	3074,5	249,2	3323,7	16727,3	6033,4	210856,4
28	27	7,0	0,00	210,0	20051,0	0,0	3074,5	249,2	3323,7	16727,3	5801,3	216657,7
29	28	7,0	0,00	210,0	20051,0	0,0	3074,5	249,2	3323,7	16727,3	5578,2	222235,9
30	29	7,0	0,58	209,4	19995,6	0,0	3066,0	2460,2	5526,2	14469,4	4639,6	226875,5
31	30	7,0	0,00	210,0	20051,0	0,0	3074,5	249,2	3323,7	16727,3	5157,3	232032,9
32	31	7,0	0,00	210,0	20051,0	0,0	3074,5	249,2	3323,7	16727,3	4959,0	236991,8
33	32	7,0	0,00	210,0	20051,0	0,0	3074,5	249,2	3323,7	16727,3	4768,3	241760,1
34	33	7,0	0,00	210,0	20051,0	0,0	3074,5	249,2	3323,7	16727,3	4584,9	246345,0
35	34	7,0	0,00	210,0	20051,0	0,0	3074,5	249,2	3323,7	16727,3	4408,5	250753,5
36	35	7,0	0,58	209,4	19995,6	0,0	3066,0	2460,2	5526,2	14469,4	3666,8	254420,2
37	36	7,0	0,00	210,0	20652,5	0,0	3166,7	256,7	3423,4	17229,1	4198,2	258618,4
38	37	7,0	0,00	210,0	20652,5	0,0	3166,7	256,7	3423,4	17229,1	4036,7	262655,2
39	38	7,0	0,00	210,0	20652,5	0,0	3166,7	256,7	3423,4	17229,1	3881,5	266536,6
40	39	7,0	0,00	210,0	20652,5	0,0	3166,7	256,7	3423,4	17229,1	3732,2	270268,8
41	40	7,0	0,00	210,0	20652,5	0,0	3166,7	256,7	3423,4	17229,1	3588,6	273857,5
42	41	7,0	0,58	209,4	20595,5	0,0	3158,0	2534,0	5692,0	14903,5	2984,8	276842,3
43	42	7,0	0,00	210,0	20652,5	0,0	3166,7	256,7	3423,4	17229,1	3317,9	280160,2
44	43	7,0	0,00	210,0	20652,5	0,0	3166,7	256,7	3423,4	17229,1	3190,3	283350,5
45	44	7,0	0,00	210,0	20652,5	0,0	3166,7	256,7	3423,4	17229,1	3067,6	286418,1
46	45	7,0	0,00	210,0	20652,5	0,0	3166,7	256,7	3423,4	17229,1	2949,6	289367,7
47	46	7,0	0,00	210,0	20652,5	0,0	3166,7	256,7	3423,4	17229,1	2836,2	292203,8
48	47	7,0	0,58	209,4	20595,5	0,0	3158,0	2534,0	5692,0	14903,5	2359,0	294562,8
49	48	7,0	0,00	210,0	21272,1	0,0	3261,7	264,4	3526,1	17746,0	2700,8	297263,6
50	49	7,0	0,00	210,0	21272,1	0,0	3261,7	264,4	3526,1	17746,0	2597,0	299860,6
51	50	7,0	0,00	210,0	21272,1	0,0	3261,7	264,4	3526,1	17746,0	2497,1	302357,7
52	51	7,0	0,00	210,0	21272,1	0,0	3261,7	264,4	3526,1	17746,0	2401,0	304758,7
53	52	7,0	0,00	210,0	21272,1	0,0	3261,7	264,4	3526,1	17746,0	2308,7	307067,4
54	53	7,0	0,58	209,4	21213,4	0,0	3252,7	2610,1	5862,8	15350,6	1920,3	308987,7
55	54	7,0	0,00	210,0	21272,1	0,0	3261,7	264,4	3526,1	17746,0	2134,5	311122,2
56	55	7,0	0,00	210,0	21272,1	0,0	3261,7	264,4	3526,1	17746,0	2052,4	313174,6
57	56	7,0	0,00	210,0	21272,1	0,0	3261,7	264,4	3526,1	17746,0	1973,5	315148,1
58	57	7,0	0,00	210,0	21272,1	0,0	3261,7	264,4	3526,1	17746,0	1897,6	317045,7
59	58	7,0	0,00	210,0	21272,1	0,0	3261,7	264,4	3526,1	17746,0	1824,6	318870,3
60	59	7,0	0,00	210,0	21213,4	0,0	3252,7	2610,1	5862,8	15350,6	1517,6	320387,9

Fuente: Los autores.

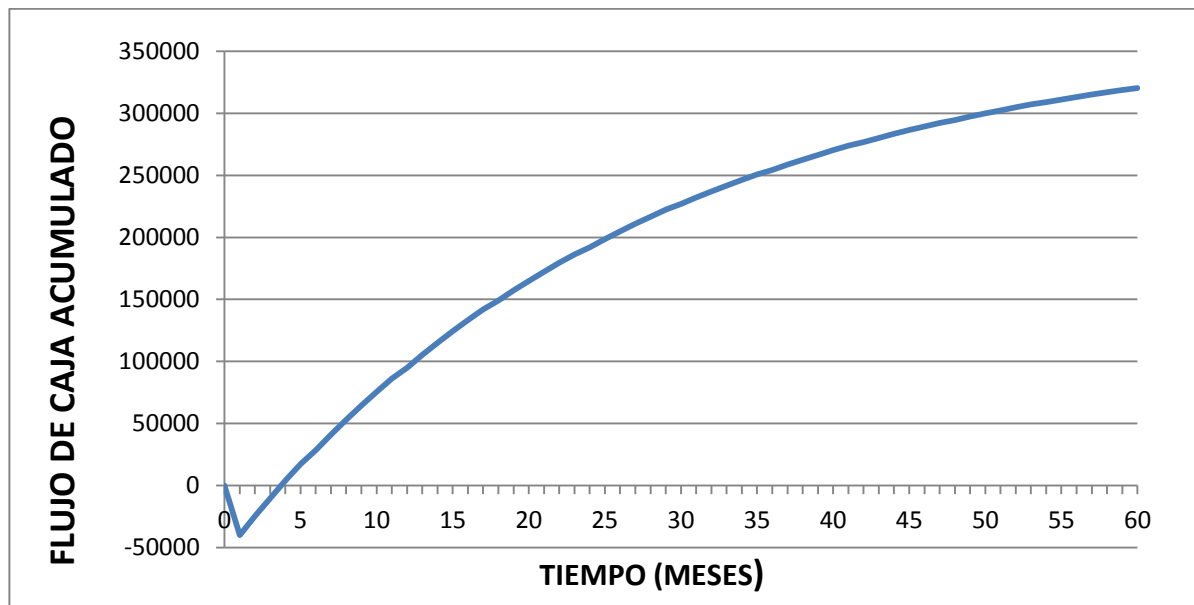
Realizado por: Los autores.

En la tabla 3.4 se puede observar que el análisis económico se hace a un tiempo de cinco años (60 meses), en la tabla se ve que cada seis meses se hacen intervenciones de mantenimiento preventivas a la unidad de bombeo. El análisis económico empieza en un periodo cero donde se ha hecho una inversión inicial de USD 39963.7, y no hay producción, por tanto el flujo neto de caja para dicho periodo es negativo. A partir del primer periodo se puede observar que hay una producción de 7 BFPD y entonces el flujo neto de caja actualizado se empieza a recuperar con un valor de USD 15160.7, en la tabla 3,4 también se puede observar que a partir del tercer periodo la inversión ya se recupera y se empiezan a tener ganancias en el proyecto.

### 3.6 ANALISIS ECONOMICO

El análisis económico del proyecto se puede observar en la tabla 3.4, donde se ve que la inversión inicial del proyecto es USD 39962.7. En este se puede ver que la inversión se recupera en el cuarto mes donde se nota un valor de USD 3971,4. Como se ve en la gráfica 3,1, al final del análisis en el quinto año se puede observar una ganancia de USD 320387,9.

**Grafico 3.1** Tiempo de recuperación del proyecto.



Fuente: Los autores  
Realizado por: Los autores.



Otra relación a tener en cuenta a la hora de analizar la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI en comparación con la unidad convencional de bombeo mecánico es el motor que utilizan y el consumo de energía que estos motores generan.

La relación entre el consumo de energía del motor y el costo mensual pagado por el servicio para la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI instalada en el pozo Usco 1 se detalla a continuación, se debe tener en cuenta que el motor de la unidad consume 5,4 HP.

$$\left(\frac{5,4 \text{ HP}}{\text{hora}}\right) * \left(\frac{1 \text{ Kwatt}}{1.341 \text{ HP}}\right) * \left(\frac{168 \$}{\text{Kwatts}}\right) * \left(\frac{24 \text{ hora}}{1 \text{ día}}\right) * \left(\frac{30 \text{ día}}{1 \text{ mes}}\right) * \left(\frac{\text{USD}}{\$ 1919,25}\right) = \left(\frac{\text{USD } 254}{\text{mes}}\right)$$

Ahora, si este consumo de energía traducido a dólares mensuales se proyecta a cinco años que es el tiempo estimado para el análisis del proyecto se genera el siguiente valor:

$$\left(\frac{\text{USD } 254}{\text{mes}}\right) * \left(\frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}\right) * 5 \text{ años} = \text{USD } 15227$$

Realizando el mismo procedimiento anterior aplicado al consumo de energía del motor de la unidad convencional de bombeo instalada en el pozo Usco 3 que consume 14 HP se tiene la siguiente relación:

$$\left(\frac{14 \text{ HP}}{\text{hora}}\right) * \left(\frac{1 \text{ Kwatt}}{1.341 \text{ HP}}\right) * \left(\frac{168 \$}{\text{Kwatts}}\right) * \left(\frac{24 \text{ hora}}{1 \text{ día}}\right) * \left(\frac{30 \text{ día}}{1 \text{ mes}}\right) * \left(\frac{\text{USD}}{\$ 1919,25}\right) = \left(\frac{\text{USD } 658}{\text{mes}}\right)$$

Por lo tanto este consumo de energía traducido a dólares mensuales se proyecta a cinco años que es el tiempo estimado para el análisis del proyecto y se genera el siguiente valor:

$$\left(\frac{\text{USD } 658}{\text{mes}}\right) * \left(\frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}\right) * 5 \text{ años} = \text{USD } 39478,5$$

Como se ve en los cálculos anteriores la diferencia entre el consumo de energía del motor de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI y el motor de la unidad convencional de bombeo llevado a un tiempo de cinco años es de USD 25384,5.

$$\text{USD } 39478,5 - \text{USD } 15227 = \text{USD } 24251$$

La relación entre el consumo de energía del motor de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI del pozo Usco 1 y el consumo de energía de

la unidad convencional de bombeo mecánico del pozo Usco 3 puede ser expresada en porcentaje como se ve a continuación:

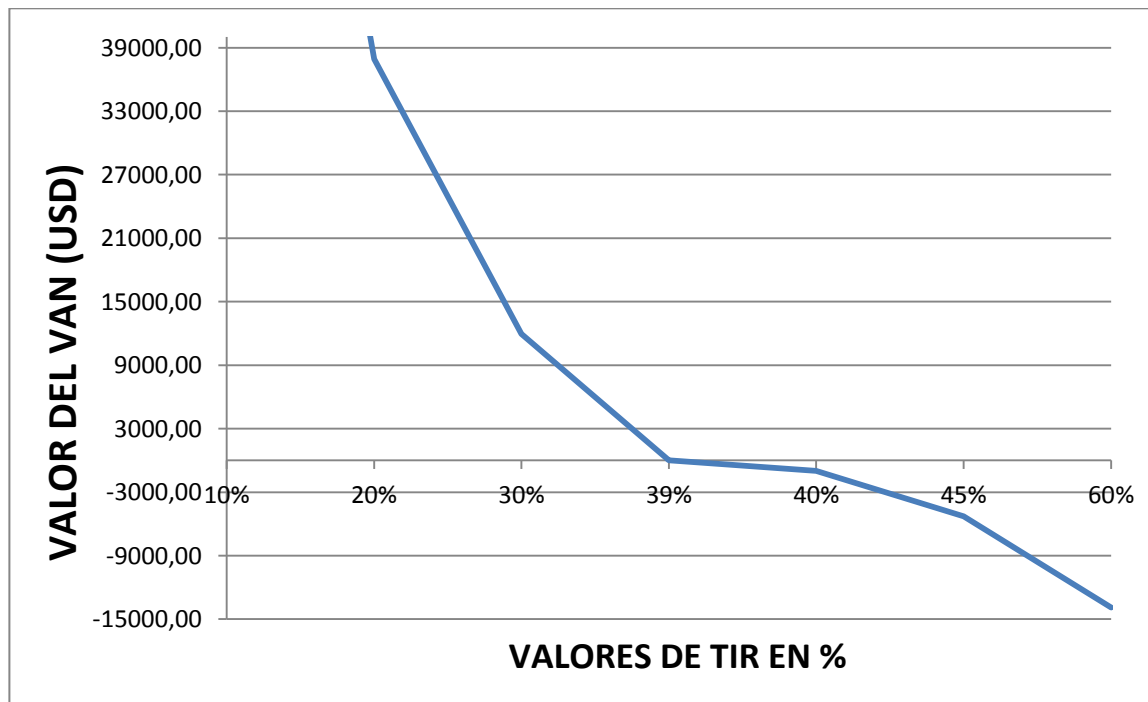
$$\frac{\text{consumo unidad convencional}(HP) - \text{consumo unidad hidraulica}(HP)}{\text{consumo unidad convencional}(HP)} * 100$$

$$\frac{14 - 5,4}{14} * 100 = 61,4\%$$

### 3.7 EVALUACION DEL PROYECTO

Los indicadores económicos son los encargados de evaluar el proyecto; su cálculo se hace respecto a los flujos de caja. El cálculo de la TIR (Tasa Interna de Retorno), se hace por el método grafico calculando varios VAN (Valores Actual Neto) a varias tasas de oportunidad y esto se hace cuando el VAN se vuelve cero. Su representación se muestra en la gráfica 3.2.

**Gráfico 3.2** Calculo de la TIR por el método gráfico.



Fuente: Los autores  
Realizado por: Los autores.



En base a los indicadores económicos se analiza si el proyecto es viable realizarlo, en la tabla 3.5 se presentan los resultados arrojados por los indicadores económicos.

**Tabla 3.5** Evaluación del proyecto

INDICADOR	VAN	TIR	B/C
RESULTADOS	320387,89	39%	8
VIABILIDAD	$VAN > 0$	$TIR > i$	$B / C > 1$

Fuente: Los autores

Realizado por: Los autores.

Como se puede observar en la tabla 3.5, este proyecto es viable según los indicadores económicos utilizados para su evaluación, teniendo en cuenta que la producción de fluidos es de 7 BPD y este pozo se encuentra en un yacimiento “maduro” donde el aporte del yacimiento no es muy significativo.



## CONCLUSIONES

1. Es muy importante conocer el correcto funcionamiento del Sistema Hidráulico de Bombeo Mecánico SERINPET MINI, ya que podemos hacer comparaciones técnicas y económicas frente al Sistema de Bombeo Mecánico Convencional, para así tener criterios a la hora de seleccionar las unidades de bombeo.
2. En la tabla de resultados del análisis técnico se puede ver que las unidades hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI, soportan cargas máximas sobre la sarta de varillas (PPRL) mayores que la unidad convencional de bombeo mecánico, y a pesar de esto utilizan un motor eléctrico mucho menor en comparación a las unidades convencionales de bombeo mecánico.
3. El análisis económico se hace con una producción en el pozo Usco 1 de 7 barriles, pero la capacidad de la unidad en este pozo es de 100,9 BFPD lo que quiere decir que si el análisis se hace a una producción de petróleo mayor la rentabilidad del proyecto también será mayor.
4. A pesar que los pozos Usco 1 y 2 producen solo cinco y siete barriles de fluido respectivamente con un porcentaje de BSW del 6%, resulta rentable implementar el sistema hidráulico de bombeo mecánico SERINPET MINI pues la inversión se recupera en cuatro meses y a partir de este tiempo se empiezan a tener ganancias.
5. Las unidades hidráulicas de bombeo mecánico SERINPET MINI tienen un motor eléctrico cuyo consumo de energía es mucho menor que el consumo de energía de los motores de las unidades convencionales de bombeo mecánico, y esto debido a que en ellas la potencia aplicada por el motor se hace directamente a la barra pulida.
6. El motor de la unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI tiene un consumo de energía mucho menor al motor de la unidad convencional de bombeo mecánico, que equivale al 61,4% de ahorro en consumo de energía.



7. Con base al análisis económico, para una unidad hidráulica de bombeo mecánico SERINPET MINI se requiere una inversión inicial de USD 39963,7 recuperando la inversión a los cuatro meses de instalada la unidad.
  
8. Se puede concluir que si es viable la implementación del sistema hidráulico de bombeo mecánico SERINPET MINI, ya que los indicadores económicos cumplen con las características para viabilidad del proyecto, siendo el VAN (Valor Actual Neto) de USD 320387,9, La TIR (Tasa Interna de Retorno) de 39% y la RB/C (Relación beneficio costo) de ocho.



## RECOMENDACIONES

1. En los pozos Usco 1 y Usco 2 donde se implementa el sistema hidráulico de bombeo mecánico SERINPET MINI, se recomienda trabajar con un recorrido alto (mínimo 120") y 2 ciclos por minuto (máximo 8), para aumentar el tiempo de vida útil de la sarta de varillas y las bombas de subsuelo.
2. El pozo Usco 3 está operado por una unidad convencional de bombeo mecánico, con un motor eléctrico de 50 HP. Se hizo el análisis técnico y se obtuvo un caballaje de 14.1 teniendo en cuenta el torque máximo, la carga máxima de las varillas y la longitud de carrera del pistón. Se recomienda el cambio de unidad por una que consuma menos energía y realice el mismo trabajo.
3. Para tomar una decisión de cambio de sistema de levantamiento artificial, se recomienda tener en cuenta la información de la tabla 2.9 donde se pueden ver las cargas a las cuales están sometidas las unidades en los diferentes pozos estudiados, igualmente el anexo 6 donde se detalla la producción de cada uno de estos.
4. Antes de implementar el sistema hidráulico de bombeo mecánico SERINPET MINI en un pozo, se debe asegurar de que este posea las características adecuadas y que la información proporcionada sea confiable, para que el diseño se ajuste a la realidad del pozo y cuando se encuentre en funcionamiento tenga un buen desempeño y así no tener pérdidas económicas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ALMEIDA, Ramiro. Curso de Bombeo Mecánico. Petroecuador, 1999.
2. ARANDA, Ervin. Universidad Surcolombiana. Neiva, 2013
3. CAMPOS, Orlando y PANCHI, Cristian. Estudio para el cambio de sistema de levantamiento artificial a bombeo mecánico en el campo lago agro operado por EP-PETROECUADOR. Escuela Politécnica Nacional. Quito, 2011.
4. GÁBOR, Tákacs. Sucker Rod Pumping Manual. SPE 1998.
5. LADRON, Alejandro. Manual y Presentación de Unidades hidráulicas de Bombeo Mecánico. SERINPET. Bogotá, Colombia, 2013.
6. NORRIS, A DOVER COMPANY. Productos. Varillas de bombeo. EE.UU. 2013.
7. OJEDAHOSTING.COM. Tecnología Integral Petrolera C.A, Catalogo General. Abril 2008.
8. THETA Enterprise Inc. Manual de Optimización de Bombeo Mecánico. 2005.
9. Manual de Producción. PAE. Argentina, abril 2002.



## ANEXOS

## ANEXO 1 CARACTERISTICAS DE LAS VARILLAS API

### TABLA DE VARILLAS API

Rod No	Plunger Diameter, (in)	Rod Weight, (lb/ft)	Elastic Constant, (in/lb*ft)	Frequency Factor	Rod String, % of each size					
					1 1/8	1	7/8	3/4	5/8	1/2
44	All	0.726	1,990E-06	1.000	.....	.....	.....	.....	.....	100.0
54	1.06	0.908	1,668E-06	1.138	.....	.....	.....	.....	44.6	55.4
54	1.25	0.929	1,633E-06	1.140	.....	.....	.....	.....	49.5	50.5
54	1.50	0.957	1,584E-06	1.137	.....	.....	.....	.....	56.4	43.6
54	1.75	0.990	1,525E-06	1.122	.....	.....	.....	.....	64.6	35.4
54	2.00	1.027	1,460E-06	1.095	.....	.....	.....	.....	73.7	26.3
54	2.25	1.067	1,391E-06	1.061	.....	.....	.....	.....	83.4	16.6
54	2.50	1.108	1,318E-06	1.023	.....	.....	.....	.....	93.5	6.5
55	All	1.135	1,270E-06	1.000	.....	.....	.....	.....	100.0	.....
64	1.06	1.164	1,382E-06	1.229	.....	.....	.....	33.3	33.1	33.5
64	1.25	1.211	1,319E-06	1.215	.....	.....	.....	37.2	35.9	26.9
64	1.50	1.275	1,232E-06	1.184	.....	.....	.....	42.3	40.4	17.3
64	1.75	1.341	1,141E-06	1.145	.....	.....	.....	47.4	45.2	7.4
65	1.06	1.307	1,138E-06	1.098	.....	.....	.....	34.4	65.6	.....
65	1.25	1.321	1,127E-06	1.104	.....	.....	.....	37.3	62.7	.....
65	1.50	1.343	1,110E-06	1.110	.....	.....	.....	41.8	58.2	.....
65	1.75	1.369	1,090E-06	1.114	.....	.....	.....	46.9	53.1	.....
65	2.00	1.394	1,070E-06	1.114	.....	.....	.....	52.0	48.0	.....
65	2.25	1.426	1,045E-06	1.110	.....	.....	.....	58.4	41.6	.....
65	2.50	1.460	1,018E-06	1.099	.....	.....	.....	65.2	34.8	.....
65	2.75	1.497	9,900E-07	1.082	.....	.....	.....	72.5	27.5	.....
65	3.25	1.574	9,300E-07	1.037	.....	.....	.....	88.1	11.9	.....
66	All	1.634	8,830E-07	1.000	.....	.....	.....	100.0	.....	.....
75	1.06	1.566	9,970E-07	1.191	.....	.....	27.0	27.4	45.6	.....
75	1.25	1.604	9,730E-07	1.193	.....	.....	29.4	29.8	40.8	.....
75	1.50	1.664	9,350E-07	1.189	.....	.....	33.3	33.3	33.3	.....
75	1.75	1.732	8,920E-07	1.174	.....	.....	37.8	37.0	25.1	.....
75	2.00	1.803	8,470E-07	1.151	.....	.....	42.4	41.3	16.3	.....
75	2.25	1.875	8,010E-07	1.121	.....	.....	46.9	45.8	7.2	.....
76	1.06	1.802	8,160E-07	1.072	.....	.....	28.5	71.5	.....	.....
76	1.25	1.814	8,120E-07	1.077	.....	.....	30.6	69.4	.....	.....
76	1.50	1.833	8,040E-07	1.082	.....	.....	33.8	66.2	.....	.....
76	1.75	1.855	7,950E-07	1.088	.....	.....	37.5	62.5	.....	.....
76	2.00	1.880	7,850E-07	1.093	.....	.....	41.7	58.3	.....	.....
76	2.25	1.908	7,740E-07	1.096	.....	.....	46.5	53.5	.....	.....
76	2.50	1.934	7,640E-07	1.097	.....	.....	50.8	49.2	.....	.....
76	2.75	1.967	7,510E-07	1.094	.....	.....	56.5	43.5	.....	.....
76	3.25	2.039	7,220E-07	1.078	.....	.....	68.7	31.3	.....	.....
76	3.75	2.119	6,900E-07	1.047	.....	.....	82.3	17.7	.....	.....
77	All	2.224	6,490E-07	1.000	.....	.....	100.0	.....	.....	.....
85	1.06	1.883	8,730E-07	1.261	.....	22.2	22.4	22.4	33.0	.....
85	1.25	1.943	8,410E-07	1.253	.....	23.9	24.2	24.3	27.6	.....
85	1.50	2.039	7,910E-07	1.232	.....	26.7	27.4	26.8	19.2	.....
85	1.75	2.138	7,380E-07	1.201	.....	29.6	30.4	29.5	10.5	.....

### Continuación anexo 1

Rod	Plunger Diameter, (in)	Rod Weight, (lb/ft)	Elastic Constant, (in/lb*ft)	Frecuency Factor	Rod String, % of each size					
No	D	Wr	Er	Fc	1 1/8	1	7/8	3/4	5/8	1/2
86	1.06	2.058	7,42E-07	1.151	.....	22.6	23.0	54.3	.....	.....
86	1.25	2.087	7,32E-07	1.156	.....	24.3	24.5	51.2	.....	.....
86	1.50	2.133	7,17E-07	1.162	.....	26.8	27.0	46.3	.....	.....
86	1.75	2.185	6,99E-07	1.164	.....	29.4	30.0	40.6	.....	.....
86	2.00	2.247	6,79E-07	1.161	.....	32.8	33.2	33.9	.....	.....
86	2.25	2.315	6,56E-07	1.153	.....	36.9	36.0	27.1	.....	.....
86	2.50	2.385	6,33E-07	1.138	.....	40.6	39.7	19.7	.....	.....
86	2.75	2.455	6,10E-07	1.119	.....	44.5	43.3	12.2	.....	.....
87	1.06	2.390	6,12E-07	1.055	.....	24.3	75.7	.....	.....	.....
87	1.25	2.399	6,10E-07	1.058	.....	25.7	74.3	.....	.....	.....
87	1.50	2.413	6,07E-07	1.062	.....	27.7	72.3	.....	.....	.....
87	1.75	2.430	6,03E-07	1.066	.....	30.3	69.7	.....	.....	.....
87	2.00	2.450	5,98E-07	1.071	.....	33.2	66.8	.....	.....	.....
87	2.25	2.472	5,94E-07	1.075	.....	36.4	63.6	.....	.....	.....
87	2.50	2.496	5,88E-07	1.079	.....	39.9	60.1	.....	.....	.....
87	2.75	2.523	5,82E-07	1.082	.....	43.9	56.1	.....	.....	.....
87	3.25	2.575	5,70E-07	1.084	.....	51.6	48.4	.....	.....	.....
87	3.75	2.641	5,56E-07	1.078	.....	61.2	38.8	.....	.....	.....
87	4.75	2.793	5,22E-07	1.038	.....	83.6	16.4	.....	.....	.....
88	All	2.904	4,97E-07	1.000	.....	100.0	.....	.....	.....	.....
96	1.06	2.382	6,70E-07	1.222	19.1	19.2	19.5	42.3	.....	.....
96	1.25	2.435	6,55E-07	1.224	20.5	20.5	20.7	38.3	.....	.....
96	1.50	2.511	6,33E-07	1.223	22.4	22.5	22.8	32.3	.....	.....
96	1.75	2.607	6,06E-07	1.213	24.8	25.1	25.1	25.1	.....	.....
96	2.00	2.703	5,78E-07	1.196	27.1	27.9	27.4	17.6	.....	.....
96	2.25	2.806	5,49E-07	1.172	29.6	30.7	29.8	9.8	.....	.....
97	1.06	2.645	5,68E-07	1.120	19.6	20.0	60.3	.....	.....	.....
97	1.25	2.670	5,63E-07	1.124	20.8	21.2	58.0	.....	.....	.....
97	1.50	2.707	5,56E-07	1.131	22.5	23.0	54.5	.....	.....	.....
97	1.75	2.751	5,48E-07	1.137	24.5	25.0	50.4	.....	.....	.....
97	2.00	2.801	5,38E-07	1.141	26.8	27.4	45.7	.....	.....	.....
97	2.25	2.856	5,28E-07	1.143	29.4	30.2	40.4	.....	.....	.....
97	2.50	2.921	5,15E-07	1.141	32.5	33.1	34.4	.....	.....	.....
97	2.75	2.989	5,03E-07	1.135	36.1	35.3	28.6	.....	.....	.....
97	3.25	3.132	4,75E-07	1.111	42.9	41.9	15.2	.....	.....	.....
98	1.06	3.068	4,75E-07	1.043	21.2	78.8	.....	.....	.....	.....
98	1.25	3.076	4,74E-07	1.045	22.2	77.8	.....	.....	.....	.....
98	1.50	3.089	4,72E-07	1.048	23.8	76.2	.....	.....	.....	.....
98	1.75	3.103	4,70E-07	1.051	25.7	74.3	.....	.....	.....	.....
98	2.00	3.118	4,68E-07	1.055	27.7	72.3	.....	.....	.....	.....
98	2.25	3.137	4,65E-07	1.058	30.1	69.9	.....	.....	.....	.....
98	2.50	3.157	4,63E-07	1.062	32.7	67.3	.....	.....	.....	.....
98	2.75	3.180	4,60E-07	1.066	35.6	64.4	.....	.....	.....	.....
98	3.25	3.231	4,53E-07	1.071	42.2	57.8	.....	.....	.....	.....
98	3.75	3.289	4,45E-07	1.074	49.7	50.3	.....	.....	.....	.....
98	4.75	3.412	4,28E-07	1.064	65.7	34.3	.....	.....	.....	.....
99	All	3.676	3,93E-07	1.000	100.0	.....	.....	.....	.....	.....

**Continuación anexo 1**

Rod	Plunger Diameter, (in)	Rod Weight, (lb/ft)	Elastic Constant, (in/lb*ft)	Frecuency Factor	Rod String, % of each size					
No	D	Wr	Er	Fc	1 1/8	1	7/8	3/4	5/8	1/2
107	1.06	2.977	5,24E-07	1.184	16.9	16.8	17.1	49.1	.....	.....
107	1.25	3.019	5,17E-07	1.189	17.9	17.8	18.0	46.3	.....	.....
107	1.50	3.085	5,06E-07	1.195	19.4	19.2	19.5	41.9	.....	.....
107	1.75	3.158	4,94E-07	1.197	21.0	21.0	21.2	36.9	.....	.....
107	2.00	3.238	4,80E-07	1.195	22.7	22.8	23.1	31.4	.....	.....
107	2.25	3.336	4,64E-07	1.187	25.0	25.0	25.0	25.0	.....	.....
107	2.50	3.435	4,47E-07	1.174	26.9	27.7	27.1	18.2	.....	.....
107	2.75	3.537	4,3E-07	1.156	29.1	30.2	29.3	11.3	.....	.....
108	1.06	3.325	4,47E-07	1.097	17.3	17.8	64.9	.....	.....	.....
108	1.25	3.345	4,45E-07	1.101	18.1	18.6	63.2	.....	.....	.....
108	1.50	3.376	4,41E-07	1.106	19.4	19.9	60.7	.....	.....	.....
108	1.75	3.411	4,37E-07	1.111	20.9	21.4	57.7	.....	.....	.....
108	2.00	3.452	4,32E-07	1.117	22.6	23.0	54.3	.....	.....	.....
108	2.25	3.498	4,27E-07	1.121	24.5	25.0	50.5	.....	.....	.....
108	2.50	3.548	4,21E-07	1.124	26.5	27.2	46.3	.....	.....	.....
108	2.75	3.603	4,15E-07	1.126	28.7	29.6	41.6	.....	.....	.....
108	3.25	3.731	4E-07	1.123	34.6	33.9	31.6	.....	.....	.....
108	3.75	3.873	3,83E-07	1.108	40.6	39.5	19.9	.....	.....	.....
109	1.06	3.839	3,78E-07	1.035	18.9	81.1	.....	.....	.....	.....
109	1.25	3.845	3,78E-07	1.036	19.6	80.4	.....	.....	.....	.....
109	1.50	3.855	3,77E-07	1.038	20.7	79.3	.....	.....	.....	.....
109	1.75	3.867	3,76E-07	1.040	22.1	77.9	.....	.....	.....	.....
109	2.00	3.880	3,75E-07	1.043	23.7	76.3	.....	.....	.....	.....
109	2.25	3.896	3,74E-07	1.046	25.4	74.6	.....	.....	.....	.....
109	2.50	3.911	3,72E-07	1.048	27.2	72.8	.....	.....	.....	.....
109	2.75	3.930	3,71E-07	1.051	29.4	70.6	.....	.....	.....	.....
109	3.25	3.971	3,67E-07	1.057	34.2	65.8	.....	.....	.....	.....
109	3.75	4.020	3,63E-07	1.063	39.9	60.1	.....	.....	.....	.....
109	4.75	4.120	3,54E-07	1.066	51.5	48.5	.....	.....	.....	.....
1010	All	4.538	3,18E-07	1.000	100.0	.....	.....	.....	.....	.....

Fuente: METODO API RP 11 – L

Realizado por: Los autores



## ANEXO 2 CARACTERISTICAS DE LA SARTA DE VARILLAS

### DATOS DE LA SARTA DE VARILLAS


Rod Size	Metal Area (sq. In.)	Rod Weight in air, (lb/ft)	Elastic Constant (in/lb*ft)
			Et
1/2	0.196	0.72	1,99E-06
5/8	0.307	1.13	1,27E-06
3/4	0.442	1.63	8,83E-07
7/8	0.601	2.22	6,49E-06
1	0.785	2.90	4,97E-06
1 1/8	0.994	3.67	3,93E-06

Fuente: método API RP 11 – L  
Realizado por: Los autores

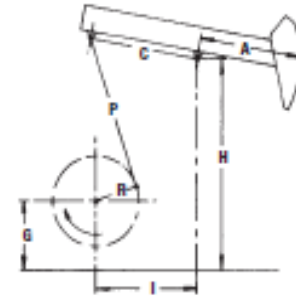




## DIMENSIONES GEOMETRICAS (API)

	<h3>CONVENTIONAL CRANK BALANCED PUMPING UNITS</h3>	450 Gears Road, Suite 550 Houston, Texas 77067 Phone: 281/875-6500 Fax: 281/875-4296 <a href="http://www.lufkin.com">www.lufkin.com</a>
---	--	---

*The first "enclosed, geared" pumping unit was built by Lufkin for Humble Oil in 1923. Since then, over 250,000 Lufkin units have been manufactured.*




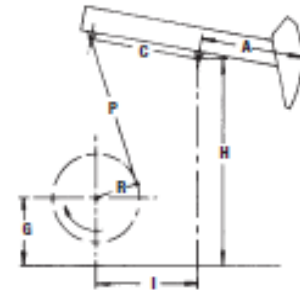
### API Geometry Dimensions (inches)

Unit Size	A	C	I	P	H	G	R1, R2, R3, R4	S.U.*	T.F. @ 90°/Stroke Length
C-18240-305-240	228	120.03	120	226.75	340.00	111.00	60, 53, 46, 39	-2740	111.78/240
C-12800-305-240	228	120.03	120	226.80	340.00	111.00	60, 53, 46, 39	-2855	111.78/240
C-9120-305-240	228	120.03	120	226.75	340.00	111.00	60, 53, 46, 39	-2740	111.78/240
C-18240-365-216	255	120.03	120	172.50	286.00	111.00	53, 46, 39, 32	-2030	101.31/216
C-12800-427-192	210	120.03	120	172.50	286.50	111.00	53, 46, 39, 32	-995	90.43/192
C-18240-365-192	210	120.03	120	172.50	286.00	111.00	53, 46, 39, 32	-1985	90.51/192
C-12800-365-192	210	120.03	120	172.50	286.00	111.00	53, 46, 39, 32	-1800	90.51/192
C-9120-365-192	210	120.03	120	172.50	286.00	111.00	53, 46, 39, 32	-1800	90.51/192
C-9120-305-192	210	120.03	120	172.50	286.00	111.00	53, 46, 39, 32	-1800	90.51/192
C-9120-365-168	210	120.03	120	148.50	262.00	111.00	47, 41, 35	-1500	80.29/168
C-9120-305-168	210	120.03	120	148.50	262.00	111.00	47, 41, 35	-1500	80.29/168
C-6400-365-168	210	120.03	120	148.50	262.00	111.00	47, 41, 35	-1500	80.29/168
C-6400-305-168	210	120.03	120	148.50	262.00	111.00	47, 41, 35	-1500	80.29/168
C-4560-305-168	210	120.03	120	148.50	262.00	111.00	47, 41, 35	-1500	80.29/168
C-9120-427-144	180	120.03	120	148.50	262.00	111.00	47, 41, 35	-650	68.82/144
C-9120-365-144	180	120.03	120	148.50	262.00	111.00	47, 41, 35	-650	68.82/144
C-6400-365-144	180	120.03	120	148.50	262.00	111.00	47, 41, 35	-650	68.82/144
C-6400-305-144	180	120.08	120	144.50	260.00	111.00	47, 41, 35	-520	68.45/144
C-4560-305-144	180	120.08	120	144.50	260.00	111.00	47, 41, 35	-520	68.45/144
C-6400-256-144	180	120.08	120	144.50	260.00	111.00	47, 41, 35	-400	68.45/144
C-4560-256-144	180	120.08	120	144.50	260.00	111.00	47, 41, 35	-400	68.45/144
C-3200-256-144	180	120.08	120	144.50	260.00	111.00	47, 41, 35	-400	68.45/144
C-6400-365-120	152	120.03	120	148.50	262.00	111.00	47, 41, 35	570	58.12/120
C-4560-365-120	152	120.03	120	148.50	262.00	111.00	47, 41, 35	570	58.12/120
C-6400-305-120	155	111.09	111	133.50	234.00	96.00	42, 36, 30	-120	57.02/120
C-4560-305-120	155	111.09	111	133.50	234.00	96.00	42, 36, 30	-120	57.02/120
C-4560-256-120	155	111.07	111	132.00	232.00	96.00	42, 36, 30	55	57.05/120
C-3200-256-120	155	111.07	111	132.00	232.00	96.00	42, 36, 30	55	57.05/120
C-4560-213-120	155	111.07	111	132.00	232.00	96.00	42, 36, 30	0	57.05/120
C-3200-213-120	155	111.07	111	132.00	232.00	96.00	42, 36, 30	0	57.05/120
C-2280-213-120	155	111.07	111	132.00	232.00	96.00	42, 36, 30	0	57.05/120
C-4560-256-100	129	111.07	111	132.00	232.00	96.00	42, 36, 30	550	47.48/100
C-3200-256-100	129	111.07	111	132.00	232.00	96.00	42, 36, 30	550	47.48/100
C-3200-305-100	129	111.07	111	132.00	232.00	96.00	42, 36, 30	550	47.48/100
C-2280-213-100	129	96.08	96	113.00	196.13	79.13	37, 32, 27	0	48.21/100
C-2280-173-100	129	96.05	96	114.00	196.13	79.13	37, 32, 27	0	48.36/100
C-1600-173-100	129	96.05	96	114.00	195.88	78.88	37, 32, 27	0	48.36/100
C-3200-246-86	111	111.04	111	133.00	232.00	96.00	42, 36, 30	800	40.96/86
C-2280-246-86	111	111.04	111	133.00	232.00	96.00	42, 36, 30	800	40.96/86
C-3200-213-86	111	96.05	96	114.00	196.13	79.13	37, 32, 27	450	41.61/86
C-2280-213-86	111	96.05	96	114.00	196.13	79.13	37, 32, 27	450	41.61/86
C-1600-173-86	111	96.05	96	114.00	195.88	78.88	37, 32, 27	450	41.61/86
C-1140-119-86	111	84.05	84	93.75	166.00	69.25	32, 27, 22	115	40.98/86

\*Structural Unbalance in pounds.

## Continuación dimensiones geometricas (API)

450 Geary Road, Suite 550 Houston, Texas 77067 Phone: 281/875-6500 Fax: 281/875-4236 www.lufkin.com	<b>CONVENTIONAL CRANK BALANCED PUMPING UNITS</b>	 OILFIELD PRODUCTS GROUP
---	--	--




### API Geometry Dimensions (Inches)

Well Size	A	C	I	P	R	G	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> , R <sub>4</sub>	S.U. <sup>a</sup>	T.F. @ 90°/Stroke Length
C-3200-246-74	96	96.05	96	114.00	196.13	79.13	37, 32, 27	800	35.99/74
C-2280-200-74	96	96.05	96	114.00	196.13	79.13	37, 32, 27	800	35.99/74
C-1600-200-74	96	96.05	96	114.00	195.88	78.88	37, 32, 27	800	35.99/74
C-2280-173-74	96	84.05	84	96.00	168.25	69.25	32, 27, 22	450	35.49/74
C-1600-173-74	96	84.05	84	96.00	168.25	69.25	32, 27, 22	450	35.49/74
C-1600-143-74	96	84.05	84	93.75	166.00	69.25	32, 27, 22	300	35.45/74
C-1140-143-74	96	84.05	84	93.75	166.00	69.25	32, 27, 22	300	35.45/74
C-1600-173-64	84	84.05	84	93.75	166.00	69.25	32, 27, 22	550	31.02/64
C-1140-173-64	84	84.05	84	93.75	166.00	69.25	32, 27, 22	550	31.02/64
C-1600-143-64	84	72.06	72	84.00	144.25	57.25	27, 22, 17	360	30.59/64
C-1140-143-64	84	72.06	72	84.00	144.25	57.25	27, 22, 17	360	30.59/64
C-800-119-64	84	64.00	64	74.50	126.13	51.13	24, 20, 16	0	30.85/64
C-1140-173-54	72	72.06	72	84.00	144.25	57.25	27, 22, 17	500	26.22/54
C-1140-133-54	72	64.00	64	74.50	126.13	51.13	24, 20, 16	330	26.45/54
C-800-133-54	72	64.00	64	74.50	126.13	51.13	24, 20, 16	330	26.45/54
C-800-119-54	72	64.00	64	74.50	126.13	51.13	24, 20, 16	300	26.45/54
C-570-76-54	72	56.05	56	65.63	115.13	47.13	21, 16, 11	0	26.22/54
C-800-133-48	64	64.00	64	74.50	126.13	51.13	24, 20, 16	440	23.51/48
C-800-109-48	64	56.05	56	65.63	115.13	47.13	21, 16, 11	320	23.30/48
C-570-109-48	64	56.05	56	65.63	115.13	47.13	21, 16, 11	320	23.30/48
C-570-95-48	64	56.05	56	65.63	115.13	47.13	21, 16, 11	320	23.30/48
C-570-89-42	56	48.17	48	57.50	106.63	45.13	18, 14, 10	150	20.21/42
C-570-76-42	56	48.17	48	57.50	106.63	45.13	18, 14, 10	150	20.21/42

<sup>a</sup> Structural Unbalance in pounds.


## DATOS ESTRUCTURALES

 <b>LUFKIN</b> <small>WILFELD PRODUCTS GROUP</small>	<h3>CONVENTIONAL CRANK BALANCED PUMPING UNITS</h3>	450 Geers Road, Suite 550 Houston, Texas 77067 Phone: 281/875-6500 Fax: 281/875-4236 <a href="http://www.lufkin.com">www.lufkin.com</a>
---	--	---

### Structural Data

Unit Size	Polished Rod Capacity (lbs.)	Stroke Lengths (inches)	Walking Beam	Wire (line Hanger) (inches)	Cranks	Crank Pin Bearing	Equalizer Bearing	Center Bearing
C-18240-305-240	30,500	240, 209, 179, 151	W33 x 241	1-3/8 x 16 CTBL	120110CA	1SE	OFA	OTGB
C-12800-305-240	30,500	240, 209, 179, 151	W33 x 241	1-3/8 x 16 CTBL	120110CA	1SE	OFA	OTGB
C-9120-305-240	30,500	240, 209, 179, 151	W33 x 241	1-3/8 x 16 CTBL	120110CA	1SE	OFA	OTGB
C-18240-365-216	36,500	216, 185, 155, 126	W33 x 241	1-3/8 x 16 CTBL	106110CA	0S	OOR	OOTG
C-12800-427-192	42,700	192, 166, 139, 113	W36 x 247	1-3/8 x 16 CTBL	106110CA	0S	OOR	OOTG
C-18240-365-192	36,500	192, 165, 139, 113	W33 x 221	1-3/8 x 16 CTBL	106110CA	1SE	OFA	OTGB
C-12800-365-192	36,500	192, 165, 139, 113	W33 x 221	1-3/8 x 16 CTBL	106110CA	1SE	OFA	OTGB
C-9120-365-192	36,500	192, 165, 139, 113	W33 x 221	1-3/8 x 16 CTBL	106110CA	1SE	OFA	OTGB
C-9120-305-192	30,500	192, 165, 139, 113	W33 x 201	1-1/4 x 16 CTBL	106110CA	1SE	OFA	OTGB
C-9120-365-168	36,500	168, 145, 124	W33 x 221	1-3/8 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	OTGB
C-6400-365-168	36,500	168, 145, 124	W33 x 221	1-3/8 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	OTGB
C-9120-305-168	30,500	168, 145, 124	W33 x 201	1-1/4 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	OTGB
C-6400-305-168	30,500	168, 145, 124	W33 x 201	1-1/4 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	OTGB
C-4560-305-168	30,500	168, 145, 124	W33 x 201	1-1/4 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	OTGB
C-9120-427-144	42,700	144, 124, 106	W33 x 221	1-3/8 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	OTGB
C-9120-365-144	36,500	144, 124, 106	W33 x 201	1-3/8 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	OTGB
C-6400-365-144	36,500	144, 124, 106	W33 x 201	1-3/8 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	OTGB
C-6400-305-144	30,500	144, 124, 106	W30 x 173	1-1/4 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	1TGC
C-4560-305-144	30,500	144, 124, 106	W30 x 173	1-1/4 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	1TGC
C-6400-256-144	25,600	144, 124, 106	W30 x 173	1-1/4 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	1TGC
C-4560-256-144	25,600	144, 124, 106	W30 x 173	1-1/4 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	1TGC
C-3200-256-144	25,600	144, 124, 106	W30 x 173	1-1/4 x 16 CTBL	94110CA	1SE	OFA	1TGC
C-6400-365-120	36,500	120, 105, 90	W30 x 173	1-3/8 x 12 CTBL	94110CA	1SE	OFA	OTGB
C-4560-365-120	36,500	120, 105, 90	W30 x 173	1-3/8 x 12 CTBL	94110CA	1SE	OFA	OTGB
C-6400-305-120	30,500	120, 102, 85	W27 x 161	1-1/4 x 12 CTBL	8495CA	2SE	OFA	1TGC
C-4560-305-120	30,500	120, 102, 85	W27 x 161	1-1/4 x 12 CTBL	8495CA	2SE	OFA	1TGC
C-4560-256-120	25,600	120, 102, 85	W27 x 146	1-1/8 x 12 CTBL	8495CA	2SE	1FA	2TGC
C-3200-256-120	25,600	120, 102, 85	W27 x 146	1-1/8 x 12 CTBL	8495CA	2SE	1FA	2TGC
C-4560-213-120	21,300	120, 102, 85	W27 x 146	1-1/8 x 12 CTBL	8495CA	2SE	1FA	2TGC
C-3200-213-120	21,300	120, 102, 85	W27 x 146	1-1/8 x 12 CTBL	8495CA	2SE	1FA	2TGC
C-2280-213-120	21,300	120, 102, 85	W27 x 146	1-1/8 x 12 CTBL	8495CA	2SE	1FA	2TGC
C-3200-305-100	30,500	100, 85, 70	W27 x 146	1-1/4 x 12 CTBL	8495CA	2SE	1FA	2TGC
C-4560-256-100	25,600	100, 85, 70	W27 x 146	1-1/8 x 12 CTBL	8495CA	2SE	1FA	2TGC
C-3200-256-100	25,600	100, 85, 70	W27 x 146	1-1/8 x 12 CTBL	8495CA	2SE	1FA	2TGC
C-2280-213-100	21,300	100, 86, 73	W24 x 117	1-1/8 x 12 CTBL	7478CA	2SE	1FA	2TGC
C-2280-173-100	17,300	100, 86, 73	W24 x 104	1-1/8 x 12 CTBL	7478CA	3SF	2FB	2TGC
C-1600-173-100	17,300	100, 86, 73	W24 x 104	1-1/8 x 12 CTBL	7478CA	3SF	2FB	2TGC
C-3200-246-86	24,600	86, 74, 61	W24 x 117	1-1/8 x 12 CTBL	8495CA	3SF	2FB	2TGC
C-2280-246-86	24,600	86, 74, 61	W24 x 117	1-1/8 x 12 CTBL	8495CA	3SF	2FB	2TGC
C-3200-213-86	21,300	86, 74, 62	W24 x 104	1-1/8 x 12 CTBL	7478CA	3SF	2FB	2TGC
C-2280-213-86	21,300	86, 74, 62	W24 x 104	1-1/8 x 12 CTBL	7478CA	3SF	2FB	2TGC
C-1600-173-86	17,300	86, 74, 62	W24 x 104	1-1/8 x 12 CTBL	7478CA	3SF	2FB	2TGC
C-1140-119-86	11,900	86, 72, 59	W24 x 84	1-1/8 x 12 CTBL	6468CA	4SF	3FA	4TG

## Continuación datos estructurales

450 Geers Road, Suite 550 Houston, Texas 77067 Phone: 281/875-6500 Fax: 281/875-4236 www.lufkin.com	<b>CONVENTIONAL CRANK BALANCED PUMPING UNITS</b>	
---	--	---

### Structural Data

Unit Size	Polished Rod Capacity (lbs.)	Stroke Lengths (Inches)	Welding Beam	Wireline RANGER (Inches)	Cranks	Crank Pin Bearing	Equalizer Bearing	Center Bearing
C-3200-246-74	24,600	74, 64, 54	W24 x 104	1-1/8 x 9 CTRS.	7478CA	3SF	2RB	21GC
C-2280-200-74	20,000	74, 64, 54	W24 x 94	1 x 9 CTRS.	7478CA	3SF	2RB	21GC
C-1600-200-74	20,000	74, 64, 54	W24 x 94	1 x 9 CTRS.	7478CA	3SF	2RB	21GC
C-2280-173-74	17,300	74, 62, 51	W24 x 84	1 x 9 CTRS.	6468CA	3SF	2RB	21GC
C-1600-173-74	17,300	74, 62, 51	W24 x 84	1 x 9 CTRS.	6468CA	3SF	2RB	21GC
C-1600-143-74	14,300	74, 62, 51	W24 x 84	1 x 9 CTRS.	6468CA	4SF	3RA	4TG
C-1140-143-74	14,300	74, 62, 51	W24 x 84	1 x 9 CTRS.	6468CA	4SF	3RA	4TG
C-1600-173-64	17,300	64, 54, 44	W24 x 84	1 x 9 CTRS.	6468CA	4SF	3RA	4TG
C-1140-173-64	17,300	64, 54, 44	W24 x 84	1 x 9 CTRS.	6468CA	4SF	3RA	4TG
C-1600-143-64	14,300	64, 52, 40	W18 x 71	1 x 9 CTRS.	5456CA	4SF	3RA	4TG
C-1140-143-64	14,300	64, 52, 40	W18 x 71	1 x 9 CTRS.	5456CA	4SF	3RA	4TG
C-800-119-64	11,900	64, 53, 42	W18 x 60	1 x 9 CTRS.	4850BA	5SA	4RA	4TG
C-1140-173-54	17,300	54, 44, 34	W18 x 71	1 x 9 CTRS.	5456CA	4SF	3RA	4TG
C-1140-133-54	13,300	54, 45, 36	W18 x 60	7/8 x 9 CTRS.	4850BA	5SA	4RA	4TG
C-800-133-54	13,300	54, 45, 36	W18 x 60	7/8 x 9 CTRS.	4850BA	5SA	4RA	4TG
C-800-119-54	11,900	54, 45, 36	W18 x 60	7/8 x 9 CTRS.	4850BA	5SA	4RA	4TG
C-570-76-54	7,600	54, 41, 28	W16 x 36	3/4 x 9 CTRS.	4246BA	5SA	5R	5C
C-800-133-48	13,300	48, 40, 32	W16 x 57	7/8 x 9 CTRS.	4850BA	5SA	4RA	4TG
C-800-109-48	10,900	48, 37, 25	W16 x 45	7/8 x 9 CTRS.	4246BA	5SA	5R	5C
C-570-109-48	10,900	48, 37, 25	W16 x 45	7/8 x 9 CTRS.	4246BA	5SA	5R	5C
C-570-95-48	9,500	48, 37, 25	W16 x 45	7/8 x 9 CTRS.	4246BA	5SA	5R	5C
C-570-89-42	8,900	42, 33, 23	W16 x 36	3/4 x 6-1/2 CTRS.	3644BA	6	7R	6CA
C-570-76-42	7,600	42, 33, 23	W16 x 36	3/4 x 6-1/2 CTRS.	3644BA	6	7R	6CA



## DATOS DE CONTRABALANCE



	<b>CONVENTIONAL CRANK BALANCED PUMPING UNITS</b>	450 Gears Road, Suite 550 Houston, Texas 77067 Phone: 281/875-6500 Fax: 281/875-4236 www.lufkin.com

### Counterbalance Data (shown in lbs., effective at polished rod with weights at maximum position, including structural unbalance.)

Unit Size	C-18240-305-240 C-8120-305-240		C18240-305-216	C-18240-305-182	C-12900-305-240		C-12900-427-182	C-12900-305-182 C-8120-305-182		C-12900-305-182	C-4560-305-168 C-8120-305-168		C-4560-305-168	C-4410-305-168	C-4410-305-168	C-4560-305-168	
	Maximum Stroke	240"	216"	192"	240"	192"	182"	168"	182"	168"	168"	168"	168"	168"	168"	168"	168"
<b>Structural Unbalance</b>	-2,740 lbs.	-2,030 lbs.	-	-1,885 lbs.	-2,855 lbs.	-1,140 lbs.	-1,140 lbs.	-1800 lbs.	-1,800 lbs.	-1,800 lbs.	-1,800 lbs.	-1,800 lbs.	-1,800 lbs.	-1,800 lbs.	-1,800 lbs.	-1,800 lbs.	-1,800 lbs.
<b>Cranks</b>	120110CA	106110CA	106110CA	106110CA	120110CA	106110CA	106110CA	106110CA	106110CA	106110CA	106110CA	106110CA	106110CA	106110CA	106110CA	106110CA	106110CA
<b>C'Bal., Cranks Only</b>	1,470	2,815	3,215	1,358	4,060	3,400	4,380	3,400	4,380	3,400	4,380	3,400	4,380	3,400	4,380	3,400	4,380
4 No. ODRJ Counterweights	15,095	17,585	19,070	14,920	20,820	16,765	20,155	15,095	17,585	19,070	14,920	20,820	16,765	20,155	15,095	17,585	19,070
4 No. ODS Aux. Weights	19,040	22,000	24,915	18,925	25,716	25,100	25,100	25,100	25,100	25,100	25,100	25,100	25,100	25,100	25,100	25,100	25,100
8 No. OOSL Aux. Weights	23,040	26,415	29,860	22,925	30,724	30,045	30,045	30,045	30,045	30,045	30,045	30,045	30,045	30,045	30,045	30,045	30,045
4 No. OORJ Counterweights	12,255	14,515	16,535	12,140	17,395	16,720	19,380	12,255	14,515	16,535	12,140	17,395	16,720	19,380	12,255	14,515	16,535
4 No. OOS Aux. Weights	15,510	18,105	20,555	15,395	21,420	20,740	23,910	15,510	18,105	20,555	15,395	21,420	20,740	23,910	15,510	18,105	20,555
8 No. OOSL Aux. Weights	18,765	21,895	24,575	18,650	25,445	24,760	28,440	18,765	21,895	24,575	18,650	25,445	24,760	28,440	18,765	21,895	24,575
4 No. ORJ Counterweights	10,880	12,995	14,835	10,765	15,690	15,020	17,455	10,880	12,995	14,835	10,765	15,690	15,020	17,455	10,880	12,995	14,835
4 No. OS Aux. Weights	14,005	16,440	18,695	13,885	19,560	18,880	21,885	14,005	16,440	18,695	13,885	19,560	18,880	21,885	14,005	16,440	18,695
8 No. OS Aux. Weights	17,130	19,885	22,555	17,010	23,410	22,740	26,150	17,130	19,885	22,555	17,010	23,410	22,740	26,150	17,130	19,885	22,555
4 No. OARD CounterWeights	9,400	11,400	13,045	9,315	13,900	13,230	15,440	9,400	11,400	13,045	9,315	13,900	13,230	15,440	9,400	11,400	13,045
4 No. OAS Aux. Weights	11,895	14,120	16,090	11,780	16,945	16,270	18,870	11,895	14,120	16,090	11,780	16,945	16,270	18,870	11,895	14,120	16,090
8 No. OAS Aux. Weights	14,360	16,840	19,135	14,245	19,990	19,320	22,300	14,360	16,840	19,135	14,245	19,990	19,320	22,300	14,360	16,840	19,135
4 No. TRJ CounterWeights	7,890	9,450	10,865	7,545	11,715	11,050	12,980	7,890	9,450	10,865	7,545	11,715	11,050	12,980	7,890	9,450	10,865
4 No. TS Aux. Weights	9,565	11,550	13,215	9,460	14,070	13,400	15,630	9,565	11,550	13,215	9,460	14,070	13,400	15,630	9,565	11,550	13,215
8 No. TS Aux. Weights	11,470	13,650	15,565	11,355	16,425	15,750	18,280	11,470	13,650	15,565	11,355	16,425	15,750	18,280	11,470	13,650	15,565
4 No. TRJ CounterWeights	6,825	8,305	9,580	6,510	10,435	9,765	11,335	6,825	8,305	9,580	6,510	10,435	9,765	11,335	6,825	8,305	9,580
4 No. TS Aux. Weights	8,470	10,345	11,860	8,355	12,720	12,045	14,195	8,470	10,345	11,860	8,355	12,720	12,045	14,195	8,470	10,345	11,860
8 No. TS Aux. Weights	10,315	12,385	14,140	10,200	15,005	14,325	16,675	10,315	12,385	14,140	10,200	15,005	14,325	16,675	10,315	12,385	14,140
4 No. SCRD CounterWeights	5,820	7,195	8,340	5,505	9,190	8,525	10,135	5,820	7,195	8,340	5,505	9,190	8,525	10,135	5,820	7,195	8,340
4 No. SS Aux. Weights	7,410	9,170	10,550	7,295	11,400	10,735	12,625	7,410	9,170	10,550	7,295	11,400	10,735	12,625	7,410	9,170	10,550
8 No. SS Aux. Weights	9,200	11,145	12,760	9,080	13,610	12,945	15,115*	9,200	11,145	12,760	9,080	13,610	12,945	15,115*	9,200	11,145	12,760
4 No. SA10 CounterWeights	-	-	-	-	-	-	8,505	-	-	-	-	-	-	8,505	-	-	-
4 No. SA Aux. Weights	-	-	-	-	-	-	10,185	-	-	-	-	-	-	10,185	-	-	-
8 No. SA Aux. Weights	-	-	-	-	-	-	11,825*	-	-	-	-	-	-	11,825*	-	-	-
4 No. SCRD CounterWeights	-	-	-	-	-	-	7,430	-	-	-	-	-	-	7,430	-	-	-
4 No. SCS Aux. Weights	-	-	-	-	-	-	8,945	-	-	-	-	-	-	8,945	-	-	-
8 No. SCS Aux. Weights	-	-	-	-	-	-	10,465	-	-	-	-	-	-	10,465	-	-	-

\* Use only one aux. weight per counterweight on bell cover side on 9100, 9300 & 1600 units.  
 \*\* Use only one aux. weight per counterweight on bell cover side on 9300 & 2300 units.  
 \*\*\* Use only one aux. weight per counterweight on bell cover side on 1600 units.





### Continuación datos de contrabalance

450 Gears Road, Suite 500 Houston, Texas 77067 Phone: 281/875-6500 Fax: 281/875-4236 www.lufkin.com	<b>CONVENTIONAL CRANK BALANCED PUMPING UNITS</b>	<b>LUFKIN</b> OILFIELD PRODUCTS GROUP
---	--	--


C-4000-385-144 C-4000-385-144	C-4000-385-144 C-4000-385-144	C-4000-385-144 C-4000-385-144	C-4000-385-120 C-4000-385-120	C-4000-385-120 C-4000-385-120	C-4000-385-120 C-4000-385-120	C-1600-211-120 C-2200-211-120
144" - 650 lbs.	144" - 520 lbs.	144" - 490 lbs.	120" + 570 lbs.	120" - 120 lbs.	120" + 55 lbs.	120" 0 lbs.
94110CA	94110CA	94110CA	94110CA	8495CA	8495CA	8495CA
6,190	6,380	6,480	6,670	5,570	5,740	5,585
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
23,710	23,070	-	29,415	-	-	-
28,995	29,285	-	35,670	-	-	-
34,285	-	-	-	-	-	-
21,475	21,725	21,845	28,765	20,430	20,595	-
26,550	26,825	-	32,775	25,365	-	-
31,625	-	-	-	-	-	-
19,125	19,360	19,460	23,980	18,305	18,470	18,415
23,130	23,385	23,505	28,725	22,250	22,415	-
27,130	27,410	-	33,465	26,190	-	-
16,250	16,470	16,590	20,580	15,505	15,670	15,615
19,545	19,580	19,700	24,240	18,555	18,725	18,670
22,435	22,690	22,810*	27,905	21,610	21,775	-
14,585	14,775	14,895	18,585	13,845	14,010	13,955
17,585	17,790	17,910	22,135	16,810	16,975	16,920
20,585	20,810	20,930*	25,690	19,770	19,935	19,880
12,935	13,135	13,255	16,650	12,285	12,450	12,395
15,840	16,055	16,175	20,095	15,175	15,345	15,290
18,745*	18,980	19,100*	23,535	18,070	18,235*	18,180**
11,025	11,200	11,340	14,395	10,475	10,645	10,590
12,965	13,165	13,285	16,690	12,445	12,615	12,560
14,905*	15,115	15,235*	18,985	14,410	14,580*	14,525*
9,775	9,960	10,080	12,910	9,185	9,355	9,300
11,545	11,740	11,860	15,005	10,970	11,140	11,085
13,315	13,520	*13,640	17,105	12,755	12,920	12,865

C-2200-173-74 C-1600-173-74	C-1600-143-74 C-1140-143-74	C-1600-173-64 C-1140-173-64	C-1600-143-64 C-1140-143-64	C-900-110-64	C-1140-173-54	C-1140-133-54 C-800-133-54
74" + 450 lbs.	74" + 300 lbs.	64" + 350 lbs.	64" + 360 lbs.	64" 0 lbs.	64" + 500 lbs.	64" + 330 lbs.
6469CA	6469CA	6469CA	5456CA	4859EA	5456CA	4859EA
4,235	4,090	4,880	2,665	2,155	3,190	2,845
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
11,005	10,870	12,650	8,605	-	16,115	-
13,925	13,790	15,965	11,165	-	13,105	-
16,840	-	-	13,725	-	16,090	-
9,320	9,220	10,745	7,280	6,120	8,585	7,470
11,410	11,275	13,080	9,145	7,740	10,745	9,360
13,465*	13,330*	15,440*	10,995*	-	12,910	11,250
8,040	7,900	9,235	6,120	5,735	7,220	6,320
9,915	9,780	11,380	7,830	6,610	9,210	8,040
11,795*	11,660*	13,530*	9,535*	-	11,205	9,760
7,220	7,075	8,295	5,400	4,515	6,380	5,595
8,345	8,205	9,580	6,430	5,495	7,580	6,635
9,470	9,330	10,870	7,460	6,295	8,785	7,675
6,760	6,615	7,885	4,440	3,700	5,260	4,645
7,820	7,680	8,070	5,225	4,395	6,190	5,460
7,880	7,740	9,050	6,030	5,090	7,115	6,270

**EXAMPLE:** A C-4000-385-120 Unit with 4 No. 2910 Counterweights and 4 No. 20 Auxiliary Weights would have a maximum counterbalance effect of 16,875 pounds in the 120" stroke. This effect includes a structural imbalance of -55 pounds. If the counterbalance effect is desired for the 90" stroke, subtract the structural imbalance from the effect in the 120" stroke and multiply the difference by the ratio of 120 ÷ 90, then add the structural imbalance to this product. Thus, counterbalance effect in the 90" stroke = [16,875 - (-55)] × (120/90) + (-55) = 16,820 × (120/90) - 55 = 23,940 pounds. Structural imbalance with a negative (-) sign indicates a walking beam assembly that is heavy on the well end. Structural imbalance without the negative sign indicates a walking beam assembly that is heavy on the gear reducer end.

## Continuación datos de contrabalance

 <b>LUFKIN</b> OILFIELD PRODUCTS GROUP	<b>CONVENTIONAL CRANK BALANCED PUMPING UNITS</b>	450 Gears Road, Suite 550 Houston, Texas 77067 Phone: 281/875-6500 Fax: 281/875-4236 www.lufkin.com
---	--	---

### Counterbalance Data (shown in lbs., effective at polished rod with weights at maximum position, including structural unbalance.)

Well Size	C-800-110-54	C-570-76-54	C-800-133-48	C-800-100-48 C-570-100-48	C-570-88-42 C-570-76-42
Maximum Stroke	54"	54"	48"	48"	42"
Structural Unbalance	+ 300 lbs.	0 lbs.	+ 440 lbs.	+ 320 lbs.	+ 150 lbs.
Cranks	48508A	42468A	48508A	42468A	36448A
C'Bal., Cranks Only	2,946	1,660	3,270	2,175	1,675
4 No. 5400 Counterweights	7,470	5,790	8,475	6,300	-
4 No. 54 Aux. Weights	9,360	7,440	10,595	8,680	-
4 No. 5070 Counterweights	6,500	4,750	7,175	5,665	5,300
4 No. 503 Aux. Weights	8,040	6,295	8,115	7,395	7,165
4 No. 6970 Counterweights	5,595	4,120	6,365	4,955	4,700
4 No. 6 Aux. Weights	6,035	5,050	7,535	6,005	5,840
8 No. 6 Aux. Weights	7,675	5,985	8,705	7,055	6,985*
4 No. 7970 Counterweights	4,645	3,275	5,295	4,005	3,670
4 No. 7 Aux. Weights	5,460	4,005	6,210	4,830	4,570
8 No. 7 Aux. Weights	6,270	4,740	7,125	5,655	5,475*

\*Use only one aux. weight per counterweight on bell cover side on 400 units.

NOTE: To convert effective counterbalance to maximum counterbalance torque for dynamometer card analysis, multiply the pounds counterbalance, minus the structural unbalance, by the torque factor at the 90° crank position.

## ANEXO 4 NIVELES DE FLUIDO

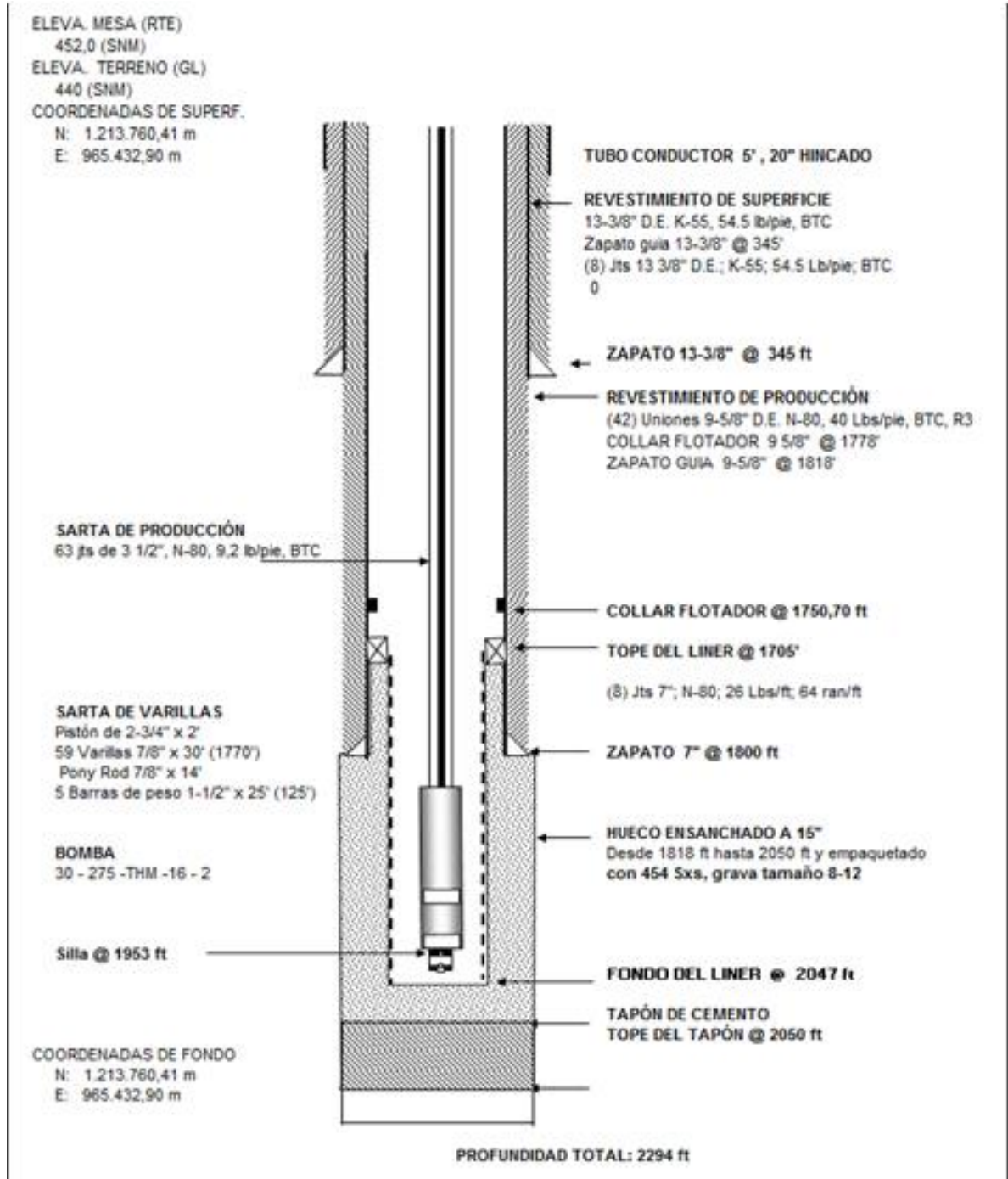
### NIVELES DE FLUIDO DE LOS POZOS USCO 1, USCO 2, Y USCO 3

POZO	NIVEL DE FLUIDO	FECHA
Usco 1	1936	Mayo 29 2013
Usco 2	1872	Mayo 29 2013
Usco 3	1967	Mayo 29 2013

Fuente: Departamento de producción de Mansarovar Energy Colombia  
Elaborado por: los autores

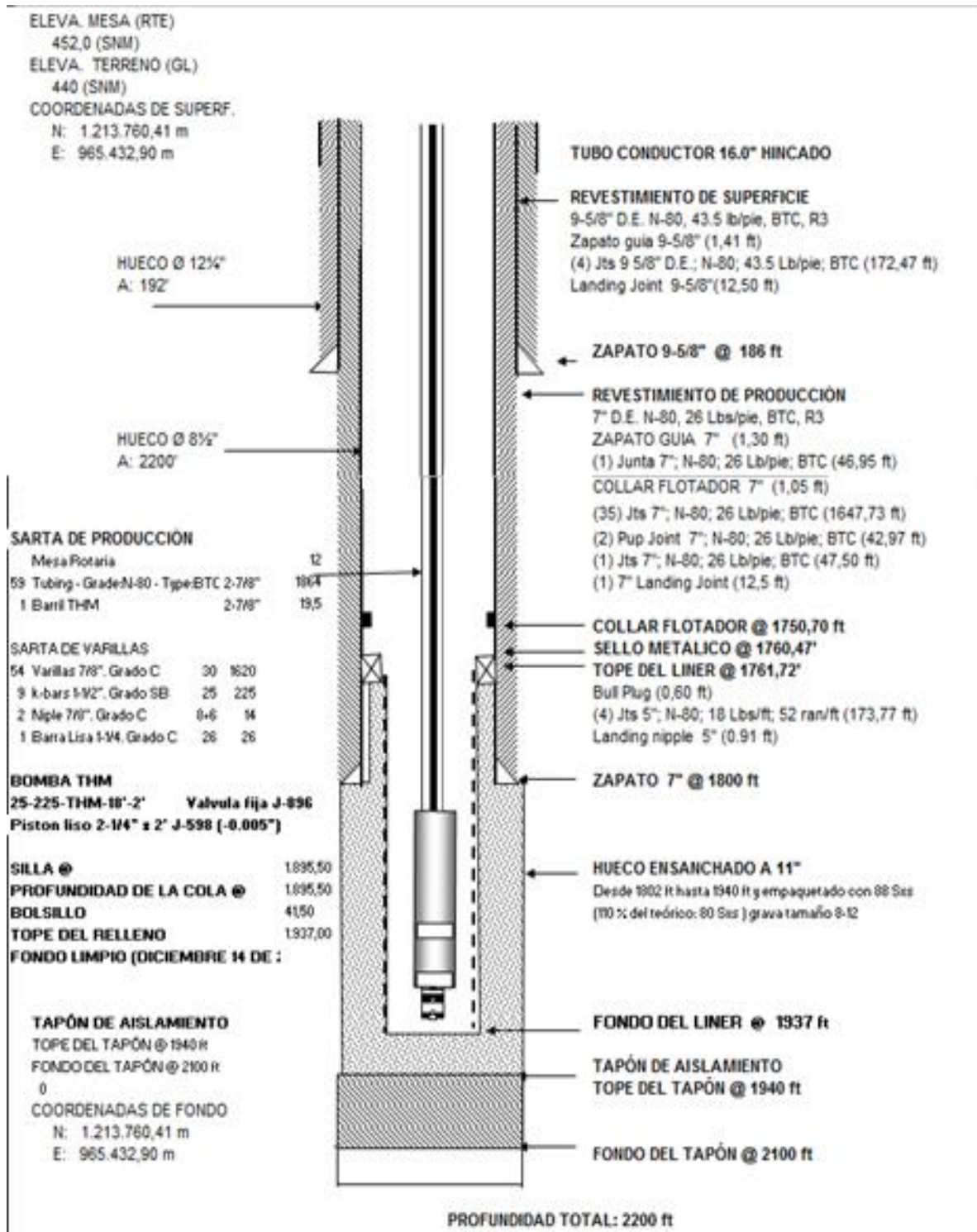
## ANEXO 5 ESTADOS MECANICOS

### ESTADO MECANICO POZO USCO 1



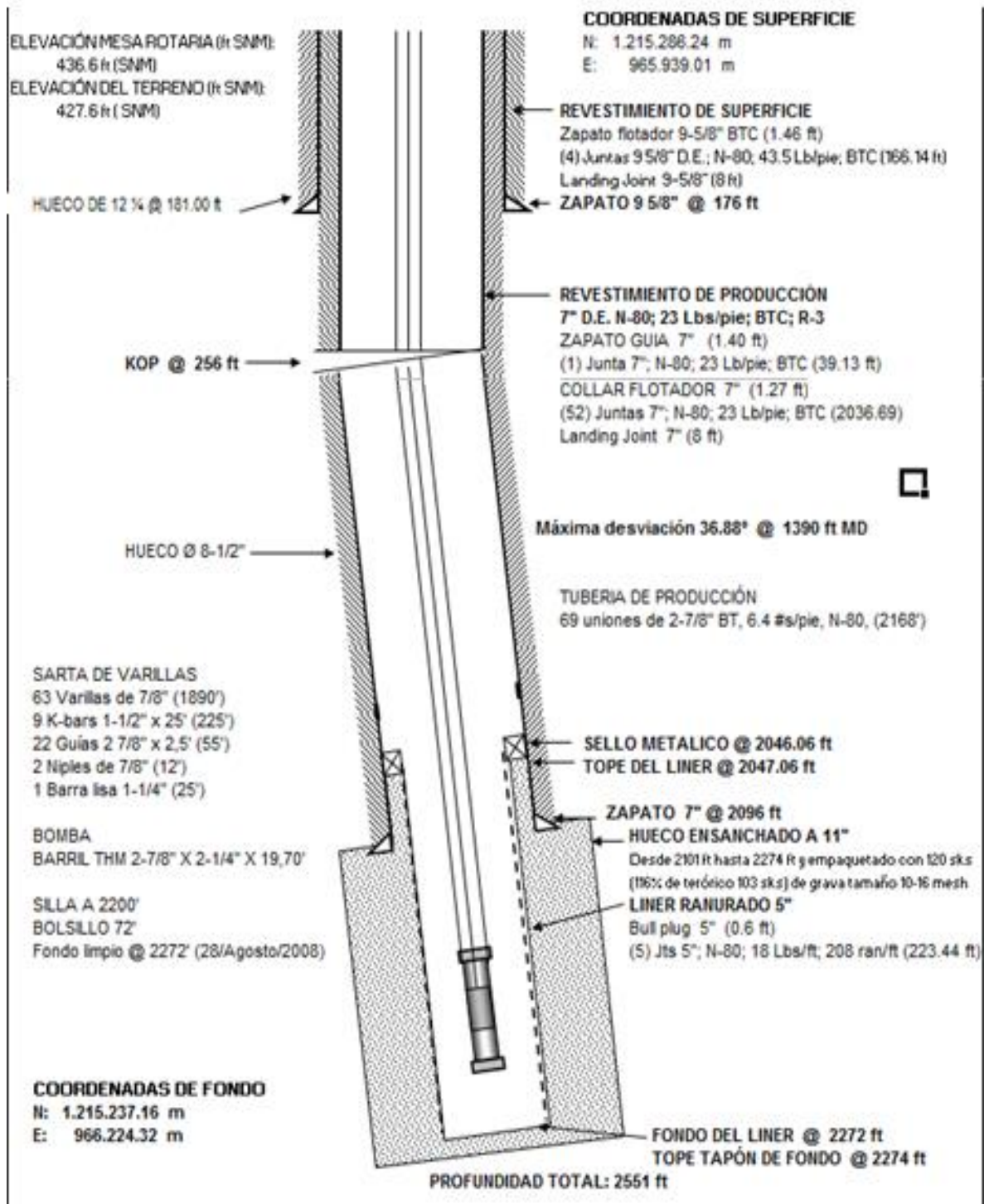
Fuente: Departamento de producción, Mansarovar Energy Colombia.

## ESTADO MECANICO POZO USCO 2



Fuente: Departamento de producción, Mansarovar Energy Colombia

## ESTADO MECANICO POZO USCO 3



Fuente: Departamento de producción, Mansarovar Energy Colombia

## ANEXO 6 PRUEBAS DE PRODUCCION

### PRUEBA DE PRODUCCION USCO 1

Pozo	Fecha	BFPD	BSW %	BOPD	API	TEMPERAT	Reportable	Sal #/1000 bi	SPM	CHP (lbs)	THP (lbs)	Stroke (pulg)
usco 1	01/01/2013	6	4,6	5,724	12	102	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	04/01/2013	5	5	4,75	12	99	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	07/01/2013	6	4	5,76	12	100	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	10/01/2013	6	3	5,82	12	102	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	13/01/2013	5	6	4,7	12	102	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	16/01/2013	5	5	4,75	12	100	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	19/01/2013	5	9	4,55	12	96	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	22/01/2013	6	7,2	5,568	12	103	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	25/01/2013	5	6	4,7	12	102	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	28/01/2013	6	6	5,64	12	95	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	31/01/2013	5	5	4,75	12	99	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	01/02/2013	5	9	4,55	12	96	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	04/02/2013	5	4	4,8	12	110	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	07/02/2013	5	3,6	4,82	12	108	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	10/02/2013	5	4	4,8	12	106	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	13/02/2013	6	2	5,88	12	110	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	14/02/2013	3	7	2,79	12	109	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	16/02/2013	6	7	5,58	12	112	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	18/02/2013	6	1	5,94	12	102	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	20/02/2013	5	6	4,7	12	100	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	22/02/2013	6	8	5,52	12	102	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	24/02/2013	5	8	4,6	12	102	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	26/02/2013	6	7,6	5,544	12	99	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	28/02/2013	5	7	4,65	12	96	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	01/03/2013	5	7	4,65	12	99	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	03/03/2013	6	6,8	5,592	12	99	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	05/03/2013	6	6,8	5,592	12	110	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	07/03/2013	5	7,2	4,64	12	110	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	09/03/2013	6	12	5,28	12	102	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	11/03/2013	6	10	5,4	12	104	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	13/03/2013	7	12	6,16	12	103	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	15/03/2013	6	10	5,4	12	109	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	17/03/2013	4	10	3,6	12	105	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	20/03/2013	5	8	4,6	12	98	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	22/03/2013	5	9	4,55	12	100	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	24/03/2013	5	9	4,55	12	99	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	26/03/2013	6	7	5,58	12	100	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	28/03/2013	4	8	3,68	12	114	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	30/03/2013	6	6	5,64	12	112	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	01/04/2013	10	8	9,2	12	98	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	03/04/2013	5	10	4,5	12	108	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	05/04/2013	5	8	4,6	12	104	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	07/04/2013	6	6	5,64	12	102	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	09/04/2013	5	3	4,85	12	101	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	11/04/2013	6	4	5,76	12	111	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	13/04/2013	4	3,6	3,856	12	100	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	15/04/2013	4	7	3,72	12	105	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	16/04/2013	5	7	4,65	12	107	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	18/04/2013	7	7	6,51	12	96	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	19/04/2013	6	7	5,58	12	108	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	20/04/2013	5	6	4,7	12	101	verdadero	0	1	0	20	122
usco 1	21/04/2013	5	6	4,7	12	100	verdadero	0	1	0	20	122

Fuente: Departamento de producción, Mansarovar Energy Colombia.

## PRUEBA DE PRODUCCION POZO USCO 2

Pozo	Fecha	BFPD	BSW %	BOPD	API	TEMPERAT	Reportable	Sal #/1000 bl	SPM	CHP (lbs)	THP (lbs)	Stroke (pulgs)
usco 2	10/06/2013	3	20	2,4	12,3	82	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	08/06/2013	3	22	2,34	12,3	82	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	06/06/2013	4	8	3,68	12,3	82	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	04/06/2013	4	5	3,8	12,3	82	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	02/06/2013	3	16	2,52	12,3	83	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	31/05/2013	4	16	3,36	12,3	83	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	29/05/2013	5	4	4,8	12,3	102	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	27/05/2013	3	6	2,82	12,3	84	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	25/05/2013	4	4	3,84	12,3	83	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	23/05/2013	3	3,6	2,892	12,3	84	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	21/05/2013	3	4	2,88	12,3	82	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	19/05/2013	4	8,2	3,672	12,3	81	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	17/05/2013	4	10	3,6	12,3	83	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	15/05/2013	4	12	3,52	12,3	84	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	13/05/2013	3	7	2,79	12,3	83	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	11/05/2013	4	12	3,52	12,3	82	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	09/05/2013	3	10	2,7	12,3	82	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	07/05/2013	3	10	2,7	12,3	81	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	05/05/2013	4	6	3,76	12,3	82	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	03/05/2013	4	7	3,72	12,3	80	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	01/05/2013	6	7	5,58	12,3	83	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	26/04/2013	2	10	1,8	12,3	92	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	24/04/2013	5	12	4,4	12,3	99	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	23/04/2013	3	12	2,64	12,3	98	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	22/04/2013	3	12	2,64	12,3	101	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	21/04/2013	3	8	2,76	12,3	102	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	20/04/2013	5	8	4,6	12,3	101	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	19/04/2013	4	10	3,6	12,3	101	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	18/04/2013	6	10	5,4	12,3	96	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	16/04/2013	3	4	2,88	12,3	100	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	15/04/2013	4	4	3,84	12,3	107	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	13/04/2013	3	10	2,7	12,3	103	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	11/04/2013	4	3,8	3,848	12,3	110	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	09/04/2013	4	3,2	3,872	12,3	100	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	07/04/2013	3	16	2,52	12,3	100	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	05/04/2013	5	18	4,1	12,3	100	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	03/04/2013	4	20	3,2	12,3	100	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	01/04/2013	5	14	4,3	12,3	98	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	30/03/2013	4	8	3,68	12,3	109	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	28/03/2013	3	6	2,82	12,3	109	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	26/03/2013	4	16	3,36	12,3	114	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	24/03/2013	4	9,8	3,608	12,3	98	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	22/03/2013	4	9,8	3,608	12,3	98	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	20/03/2013	4	10	3,6	12,3	100	falso	0	1	0	20	122
usco 2	17/03/2013	3	20	2,4	12,3	101	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	15/03/2013	5	20	4	12,3	106	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	13/03/2013	5	22	3,9	12,3	104	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	11/03/2013	4	20	3,2	12,3	101	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	09/03/2013	4	26	2,96	12,3	104	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	07/03/2013	4	10	3,6	12,3	104	verdadero	0	1	0	20	122
usco 2	05/03/2013	4	13	3,48	12,3	114	verdadero	0	1	0	20	122

Fuente: Departamento de producción, Mansarovar Energy Colombia.



### PRUEBA DE PRODUCCION POZO USCO 3

Pozo	Fecha	BFPD	BSW %	BOPD	API	TEMPERAT	Reportable	Sal #/1000 bls	SPM	CHP (lbs)	THP (lbs)	Stroke (pulgs)
usco 3	10/06/2013	8	3,5	7,72	12,3		83 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	08/06/2013	10	3	9,7	12,3		83 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	06/06/2013	9	3	8,73	12,3		84 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	04/06/2013	9	14	7,74	12,3		83 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	02/06/2013	8	2	7,84	12,3		85 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	31/05/2013	8	2	7,84	12,3		84 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	29/05/2013	9	5	8,55	12,3		83 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	27/05/2013	9	9	8,19	12,3		81 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	25/05/2013	9	2	8,82	12,3		82 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	23/05/2013	8	1,4	7,888	12,3		83 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	21/05/2013	9	0,8	8,928	12,3		80 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	19/05/2013	10	8,4	9,16	12,3		80 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	17/05/2013	9	7	8,37	12,3		80 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	15/05/2013	10	6,2	9,38	12,3		84 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	13/05/2013	9	8	8,28	12,3		83 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	11/05/2013	9	4	8,64	12,3		83 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	09/05/2013	10	4	9,6	12,3		83 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	07/05/2013	9	4	8,64	12,3		83 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	05/05/2013	9	3	8,73	12,3		82 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	03/05/2013	9	3,6	8,676	12,3		82 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	01/05/2013	8	3,6	7,712	12,3		83 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	29/04/2013	9	4	8,64	12,3		93 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	26/04/2013	10	4,4	9,56	12,3		99 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	24/04/2013	7	4	6,72	12,3		100 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	23/04/2013	9	4	8,64	12,3		104 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	22/04/2013	10	3,6	9,64	12,3		106 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	21/04/2013	10	3,5	9,65	12,3		108 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	20/04/2013	9	3,5	8,685	12,3		104 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	19/04/2013	9	4	8,64	12,3		100 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	18/04/2013	10	4	9,6	12,3		96 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	16/04/2013	10	3	9,7	12,3		104 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	15/04/2013	9	3	8,73	12,3		109 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	13/04/2013	10	3	9,7	12,3		110 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	11/04/2013	9	3	8,73	12,3		112 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	09/04/2013	9	2,4	8,784	12,3		100 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	07/04/2013	10	3	9,7	12,3		100 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	05/04/2013	8	3,2	7,744	12,3		102 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	03/04/2013	9	2	8,82	12,3		106 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	01/04/2013	10	1,4	9,86	12,3		98 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	30/03/2013	9	2	8,82	12,3		107 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	28/03/2013	9	1	8,91	12,3		108 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	26/03/2013	9	3	8,73	12,3		101 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	24/03/2013	10	4	9,6	12,3		101 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	22/03/2013	10	4	9,6	12,3		102 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	20/03/2013	10	2	9,8	12,3		100 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	17/03/2013	11	5	10,45	12,3		103 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	15/03/2013	10	5	9,5	12,3		108 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	13/03/2013	10	5	9,5	12,3		108 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	11/03/2013	10	8	9,2	12,3		111 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	09/03/2013	12	4	11,52	12,3		108 verdadero	0	3	0	20	122
usco 3	07/03/2013	10	10	9	12,3		114 verdadero	0	3	0	20	122

Fuente: Departamento de producción, Mansarovar Energy Colombia.