

ESTUDIO TÉCNICO FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNIDADES  
DE BOMBEO MECANICO NO CONVENCIONALES EN EL CAMPO LA CIRA-  
INFANTAS

CRISTIAN DAVID PEÑA DUARTE

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA

2014

ESTUDIO TÉCNICO FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNIDADES  
DE BOMBEO MECANICO NO CONVENCIONALES EN EL CAMPO LA CIRA-  
INFANTAS

CRISTIAN DAVID PEÑA DUARTE  
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO DE  
PETRÓLEOS

DIRECTOR:  
MSC. FERNANDO CALVETE  
PROFESOR ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS UIS

CODIRECTOR:  
ING. CAMILO ANDRES CORDOBA  
INGENIERO DE CONTROL DE PRODUCCIÓN SCI

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA

2014

Dedicado a:

A Dios, creador de este maravilloso universo por darme la vida y con ello la  
oportunidad de contemplar su infinita obra.

A mis padres Yudi Amparo Duarte y Mario Peña Rivera, por su sacrificio, sus  
enseñanzas, su compañía y su amor incondicional.

A mi hermosa Laura García por su amor, comprensión y por su apoyo siempre.

A mi abuela Alicia Saavedra, a mi familia, mis amigos, y a todos aquellos que  
siempre quieren lo mejor para mí, y me brindan su amistad.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Yudi Amparo Duarte y Mario Peña, a los que les debo todas las cosas buenas que llegan a mi vida, por el esfuerzo para que toda la familia este siempre unida y para que cada uno de sus hijos pueda salir adelante, gracias por su confianza, su comprensión, su amor y su apoyo incondicional.

A la Universidad industrial de Santander y a la escuela de ingeniería de petróleos, por formarme profesionalmente y darme el orgullo de ser uno de sus hijos.

A Ecopetrol S.A, por esos 6 meses de aprendizaje, y por la realización de este proyecto.

Al ingeniero Camilo Andrés Córdoba, por su apoyo y esfuerzo para que este proyecto saliera adelante.

Al ingeniero Fernando calvete, por su atención y orientación en el desarrollo del proyecto.

A mis compañeros de operaciones y producción de la Cira Infantas por sus enseñanzas, sus consejos y su amistad.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	18
1. GENERALIDADES DEL CAMPO LA CIRA-INFANTAS .....	20
1.1. HISTORIA.....	20
1.2. LOCALIZACIÓN .....	21
1.3 HISTORIA DE LA PRODUCCIÓN DEL CAMPO.....	22
2. GENERALIDADES DEL BOMBEO MECÁNICO EN EL CAMPO LA CIRA INFANTAS.....	25
2.1 DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL BOMBEO MECÁNICO .....	30
2.1.1 Bomba de subsuelo .....	30
2.1.1.1 Nomenclatura. ....	33
2.1.1.2 Bombas insertas. ....	33
2.1.1.3 Bombas de tubería.....	35
2.1.2 Sarta de varillas .....	35
2.1.2.1 Varillas convencionales.....	36
2.1.2.2 Varilla Continua.....	38
2.1.2.3 Varilla hueca. ....	40
2.1.3 Unidades de superficie .....	42
2.1.3.1 Caja reductora. ....	43
2.1.3.2 Motor. ....	43
2.1.3.3 Nomenclatura. ....	44
2.1.4 Unidades Mark II.....	44
2.1.5 Unidades convencionales .....	46
2.2 DINAMOMETRÍA.....	48
2.2.1 Problemas comunes. ....	51
3. UNIDADES NO CONVENCIONALES DE BOMBEO MECÁNICO .....	52
3.1 UNIDAD LONG ROD PUMP (LRP, UNICO) .....	52

3.1.1 Componentes de la unidad LRP .....	54
3.1.1 Funcionamiento de la Unidad LRP .....	58
3.1.3 Instalación de la unidad LRP .....	58
3.1.4 Mantenimiento de la unidad LRP .....	63
3.1.5 Modelos de las unidades LRP .....	64
3.1.6 Ventajas.....	66
3.2 UNIDAD DE BOMBEO HIDRONEUMÁTICA DE VELOCIDAD VARIABLE (VSH2, WEATHERFORD) .....	67
3.2.1 Componentes principales de la unidad VSH2 .....	68
3.2.2 Funcionamiento de la unidad VSH2 .....	70
3.2.3 Instalación de la unidad VSH2 .....	73
3.2.4 Mantenimiento de la unidad VSH2.....	75
3.2.5 Modelos disponibles de la unidad VSH2 .....	76
3.2.6 ventajas .....	77
3.3 UNIDAD HIDRONEUMÁTICA (MORLIFT TDA SUPPLY & SERVICE S.A.) ...	77
3.3.1 Componentes de la unidad Morlift.....	78
3.3.2 Funcionamiento de la unidad Morlift .....	80
3.3.3 Mantenimiento de la unidad Morlift .....	83
3.3.4 Instalación de la unidad Morlift.....	84
3.3.5 Modelo de la unidad Morlift .....	84
3.3.6 Ventajas.....	85
4. ANÁLISIS TÉCNICO.....	86
4.1 IDENTIFICACIÓN DE POZOS CANDIDATOS.....	86
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS	89
5. ANÁLISIS FINANCIERO.....	100
5.1 CONSIDERACIONES TECNICAS PARA EL ANALISIS FINANCIERO .....	101
5.1.1 Declinación de la Producción .....	101
5.1.2 Regalías .....	101
5.1.3 Precio del Barril .....	103
5.1.4 Costo de Levantamiento .....	104

5.1.5 Tiempo Medio de Falla (RUN LIFE) .....	106
5.1.6 Inversión Inicial .....	106
5.1.7 Producción Diferida.....	107
5.1.8 Impuesto de Renta.....	108
5.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS FINANCIERO .....	108
6. CONCLUSIONES .....	115
7. RECOMENDACIONES.....	117
BIBLIOGRAFIA.....	118
ANEXOS .....	120

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación geográfica.....	21
<b>Figura 2.</b> Patente de M.W WICK.....	28
<b>Figura 3.</b> Partes básicas de una bomba de subsuelo.....	32
<b>Figura 4.</b> Carreras ascendente y descendente de una bomba de subsuelo .....	32
<b>Figura 5.</b> Unidad Flusby .....	34
<b>Figura 6.</b> Dimensiones generales para el pin y la caja de una varilla .....	36
<b>Figura 7.</b> Conexión en la sarta de varillas .....	37
<b>Figura 8.</b> Tipos de cuplas y subcuplas .....	38
<b>Figura 9.</b> Varilla continua .....	38
<b>Figura 10.</b> Instalación de varilla continua .....	40
<b>Figura 11.</b> Varilla hueca .....	41
<b>Figura 12.</b> Partes de una varilla hueca.....	42
<b>Figura 13.</b> Partes de una unidad de superficie .....	43
<b>Figura 14.</b> Geometría de una unidad Mark II.....	45
<b>Figura 15.</b> Unidad Mark II (M-912-427-192) .....	46
<b>Figura 16.</b> Geometría de una unidad convencional.....	47
<b>Figura 17.</b> Unidad convencional C-640-365-168 .....	47
<b>Figura 18.</b> Unidad Baby Lufkin.....	48
<b>Figura 19.</b> Dinagramas de superficie y fondo .....	50
<b>Figura 20.</b> Cartas dinamométricas de referencia.....	51
<b>Figura 21.</b> Ejemplo de Unidad LRP UNICO.....	52
<b>Figura 22.</b> Componentes principales de la unidad LRP .....	54
<b>Figura 23.</b> Controlador de la unidad LRP (Driver) .....	58
<b>Figura 24.</b> Posición correcta de la barra pulida en la unidad LRP .....	59
<b>Figura 25.</b> Puntos de anclaje de la unidad LRP .....	60
<b>Figura 26.</b> Instalación de la barra pulida de la sarta de varillas y la barra pulida de la unidad LRP .....	62

<b>Figura 27.</b> Unidad LRP correctamente instalada .....	63
<b>Figura 28.</b> Ventana operacional de la unidad LRP .....	65
<b>Figura 29.</b> Ejemplo de Unidad VSH2.....	67
<b>Figura 30.</b> Componentes principales de una Unidad VSH2.....	68
<b>Figura 31.</b> Carrera ascendente y descendente de la unidad VSH2 .....	71
<b>Figura 32.</b> Sensor de separación de la barra pulida .....	73
<b>Figura 33.</b> Instalacion de la unidad VSH2 en la cabeza del pozo .....	74
<b>Figura 34.</b> Instalación de una unidad VSH2 .....	75
<b>Figura 35.</b> Ejemplo de una unidad morlift por NVO en un campo canadiense .....	77
<b>Figura 36.</b> Transductor lineal de posición (LTD).....	79
<b>Figura 37.</b> Simetría de los 4 cilindros y la carga de las varillas .....	80
<b>Figura 38.</b> Funcionamiento de la unidad Morlift.....	81
<b>Figura 39.</b> Mástil de la unidad Morlift.....	82
<b>Figura 40.</b> Base de la unidad Morlift.....	83
<b>Figura 41.</b> Datos de entrada en el simulador UNICO unidad LRP .....	90
<b>Figura 42.</b> Parámetros calculados por el simulador UNICO unidad LRP .....	91
<b>Figura 43.</b> Datos de entrada y resultados de la simulación Unidad Vsh2 .....	93
<b>Figura 44.</b> Resultados simulación unidad Morlift .....	94

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Pozos en los Campos La Cira e Infantas.....	24
<b>Tabla 2.</b> Producción por SLA junio de 2013.....	26
<b>Tabla 3.</b> Nomenclatura de las unidades de bombas de subsuelo .....	33
<b>Tabla 4.</b> Requerimientos de varillas según su grado .....	36
<b>Tabla 5.</b> Características de varilla continua según su diámetro. ....	39
<b>Tabla 6.</b> Características de los tipos de varilla hueca .....	41
<b>Tabla 7.</b> Nomenclatura de las unidades de superficie. ....	44
<b>Tabla 8.</b> Periodo de tiempo para el cambio de aceite en la caja reductora .....	63
<b>Tabla 9.</b> Mantenimiento típico de la unidad LRP.....	64
<b>Tabla 10.</b> Capacidades de modelos de unidades LRP existentes .....	65
<b>Tabla 11.</b> Modelos de la unidad VSH2 .....	76
<b>Tabla 12.</b> Mantenimiento de una unidad Hidroneumática Morlift .....	83
<b>Tabla 13.</b> Pozos candidatos .....	86
<b>Tabla 14.</b> Datos de completamiento de pozo y bomba .....	87
<b>Tabla 15.</b> Datos del yacimiento .....	87
<b>Tabla 16.</b> Parámetros de entrada al simulador de completamiento y bomba.....	88
<b>Tabla 17.</b> Parámetros de entrada al simulador de completamiento y bomba.....	89
<b>Tabla 18.</b> Comparación de parámetros calculados para las unidades de bombeo no convencionales .....	95
<b>Tabla 19.</b> Tabla comparativa entre la unidad convencional existente y las unidades no convencionales propuestas .....	97
<b>Tabla 20.</b> Porcentaje de regalías de acuerdo al promedio de producción.....	102
<b>Tabla 21.</b> Consumo energético de cada una de las unidades no convencionales propuestas para cada pozo candidato .....	105
<b>Tabla 22.</b> Costos por mantenimiento anual de cada unidad para el pozo 2360 ...	106
<b>Tabla 23.</b> Flujo de caja pozo 2360 unidad LRP .....	112
<b>Tabla 24.</b> Resumen del análisis financiero .....	113

## LISTADO DE GRAFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Histórico de producción y proyectado.....	23
<b>Gráfico 2.</b> Porcentaje de pozos con bombeo mecánico vs otros sistemas de levantamiento artificial en el campo .....	26
<b>Gráfico 3.</b> Unidades de bombeo mecánico en el campo .....	29
<b>Gráfico 4.</b> Cantidad de Unidades de bombeo mecánico antiguas y recientes en el campo.....	30
<b>Gráfico 5.</b> Forma básica de un dinagrama (carta llena) .....	49
<b>Gráfico 6.</b> Producción básica e incremental en LCI.....	103
<b>Gráfico 7.</b> Comparación del costo de las unidades más instalación para el Pozo 2360 .....	107
<b>Gráfico 8.</b> VPN vs TIR Pozo 2360 unidad LRP .....	114

## LISTADO DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Ecuación de onda para pozos verticales .....	49
<b>Ecuación 2.</b> Ecuación de onda para pozos desviados .....	50
<b>Ecuación 3.</b> Procedimiento para el cálculo del flujo de caja libre .....	108
<b>Ecuación 4.</b> Cálculo del valor presente Neto VNA .....	109
<b>Ecuación 5.</b> Cálculo de la tasa interna de retorno TIR .....	109

## LISTADO DE ANEXOS

<b>ANEXO A.</b> COMPLEMENTO DE LA INFORMACION ACERCA DE LAS UNIDADES MECANICAS NO CONVENCIONALES.....	120
<b>ANEXO B:</b> .SURVEY DATA DE LOS POZOS CANDIDATOS.....	124
<b>ANEXO C.</b> RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS A LOS POZOS CANDIDATOS.....	128
<b>ANEXO D.</b> ANÁLISIS FINANCIERO .....	154

## RESUMEN

### TITULO

**ESTUDIO TÉCNICO FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACION DE UNIDADES DE BOMBEO MECANICO NO CONVENCIONALES EN EL CAMPO LA CIRA-INFANTAS. \***

### AUTOR

**CRISTIAN DAVID PEÑA DUARTE\*\***

### PALABRAS CLAVES

Bombeo mecánico, La Cira Infantas, Unidades no convencionales, LRP, VSH2, Morlift

### DESCRIPCION:

El presente trabajo de grado muestra un análisis técnico y financiero, de 3 unidades que comercialmente están disponibles como alternativa para el levantamiento artificial de crudo con el principio de bombeo mecánico, dicho estudio fue realizado en el campo La Cira Infantas ubicado en el corregimiento del centro, Barrancabermeja, donde opera la compañía ECOPETROL S.A.

Para la realización de este proyecto, se estudiaron los principios de funcionamiento, características, mantenimiento, instalación y ventajas técnicas y económicas que ofrecen las unidades no convencionales propuestas, se realizó la búsqueda de pozos candidatos, a los que se les realizó la simulación de las 3 unidades, teniendo en cuenta la misma configuración y diseño del pozo, lo que permitió comparar las unidades no convencionales propuestas con la unidad de bombeo mecánico convencional que actualmente está operando en el pozo.

Técnicamente las unidades no convencionales ofrecen varias ventajas, la instalación en cabeza de pozo genera ahorro y rapidez mejorando tiempos de diferida, aspectos como la seguridad, el mantenimiento, la flexibilidad, la optimización de la producción por medio de cambios de velocidad o recorrido de manera sencilla y/o remotamente, además de las virtudes del controlador de las unidades como el ajuste automático para mejorar las cartas dinagráficas, hacen las propuestas técnicamente aplicables.

Financieramente, las unidades muestran un ahorro en cuanto a consumo energético y mantenimiento, el costo inicial puede variar, y las unidades según la simulación están capacitadas para lograr el potencial de producción requerido, la variable más sensible de este análisis financiero es la producción neta de crudo, mientras mayor sea el valor, menor es el tiempo de retorno de la inversión que a su vez varía entre 2 y 7 meses para todos los pozos con sus respectivas unidades simuladas.

---

\*Trabajo de grado

\*\*Facultad de ingenierías físico químicas. Escuela de ingeniería de petróleos. Director Msc. Fernando Calvete, Escuela de petróleos UIS., Ing. Camilo Andrés Córdoba, control de producción SCI

## ABSTRACT

### TITLE

**TECHNICAL -FINANCIAL STUDY FOR THE IMPLEMENTATION OF NON-CONVENTIONAL MECHANICAL PUMP ON LA CIRA-INFANTAS FIELD. \***

### AUTHOR \*\*

**CRISTIAN DAVID PEÑA DUARTE**

### KEYWORDS

Mechanical pumping, La Cira Infantas, unconventional units, LRP, HSV2, Morlift

### DESCRIPTION

The present work shows grade technical and financial analysis of 3 units are available commercially as an alternative to artificial oil lifting with mechanical pumping principle , this study was conducted at La Cira Infantas field located in the village center, Barrancabermeja , where the company operates ECOPETROL S.A.

For this project, we studied the principles of operation, characteristics, maintenance, installation and technical and economic advantages offered by the proposed unconventional units, we searched for candidate wells, which were performed simulating the 3 units, taking into account the same configuration and design of the well, allowing comparison unconventional proposals units with conventional mechanical pump unit that is currently operating in the well.

Technically unconventional units offer several advantages, installing wellhead generating savings and improving quickly deferred time, aspects such as security , maintenance , flexibility , optimizing production through changes in speed or path way simple and / or remotely , plus strengths driver units as automatic adjustment to improve dinagraficals letters make technically applicable proposals .

Financially, the units show a savings in terms of energy consumption and maintenance, initial cost may vary, and according to the simulation units are trained to achieve the required production potential, the most sensitive endpoint of this financial analysis is the net output of oil , the higher the value , the lower the return on time investment which in turn varies between 2 and 7 months for all wells with their respective simulated units.

---

\* Degree work

\*\* Physicochemical Engineering Faculty. Petroleum engineering school. Directed by Msc. Fernando Calvete, oils School UIS., Mr. Camilo Andres Cordoba, production control SCI

## INTRODUCCIÓN

En la industria del petróleo cada día se busca maximizar la utilidad. Esto puede lograrse con el aumento de caudales de producción o la reducción de costos operativos como lo son: los mantenimientos de tipo correctivo que no son planeados, todo esto sin desconocer las normatividades mínimas de seguridad industrial, salud ocupacional y conservación medioambiental. El área donde se puede realizar esto de manera directa es el área de producción y específicamente en los pozos productores.

El Campo La Cira-Infantas, es un campo maduro con casi 100 años de producción, fue el primer campo en producir petróleo en el país y actualmente es el que tiene más pozos activos, el sistema de levantamiento predominante actual es el bombeo mecánico, debido a la experiencia ganada a travez de los años con este sistema de evantamiento se hace practica la necesidad de impletmemntar nuevas alternaticas, que busquen reducir costos de mantenimiento y consumo eléctrico, instalación y problemas de seguridadasociados a las unidades convencionales.

El presente proyecto muestra un análisis técnico donde se comparan las ventajas de las unidades alternativas entre si y la unidad convencional existente, a travez de simulaciones realizadas en pozos candidatos, se pudo conocer el gaso de energía elcetrica y un presupuesto de gasto en el mantenimiento, al relaizar un flujo de caja entre egresos como el costo de la unidad, instalación y costo del levantamiento del crudo, e ingresos como lo es la produccio neta con la respectiva perdida de valoración por WTI, regalías, e impuestos de renta, se pudo analizar financieramente el proyecto a través de parámetros como el valor presente neto, el tiempo de retorno, la tasa de oportunidad y la relación beneficio costo.

Gracias a la participación de las compañías dueñas de los derechos comerciales de las unidades, a la compañía ECOPETROL S.A y la Universidad Industrial de Santander el desarrollo de este proyecto se hizo posible

## **1. GENERALIDADES DEL CAMPO LA CIRA-INFANTAS**

### **1.1. HISTORIA**

La historia de campo Infantas inicia con la perforación del Pozo Infantas-1 en el año 1916, perforado por la empresa Tropical OilCompany (Troco). A Sin embargo el Pozo Infantas-2 es considerado como el pozo descubridor del campo. Este pozo fue perforado en diciembre de 1917, alcanzando una profundidad de 1580 pies; su producción inicial fue de 42 barriles de petróleo. Para el año de 1924, el número de pozos perforados era de 17 y estaban en producción, para 1926 ya se tenían 171 pozos en producción.

Respecto al campo La Cira en 1925 su historia inicia con el primer pozo perforado La Cira-58 (LC-58) y en el mismo año La Cira-116 (LC-116), seguido de La Cira 125 (LC-125). En este mismo año se inició la construcción del oleoducto. La Tropical OilCompany y la Standard Oil mantuvieron la exploración y explotación de los campos y a principios de la década de los cuarenta, la cantidad de pozos perforados era de 1145, de los cuales 470 estaban en Infantas y 675 en La Cira.

El 25 de Agosto de 1951 cuando la concesión de Mares se revirtió a la nación el manejo de los campos pasó a la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol S.A) y la cual continuó con las operaciones de perforación hasta llegar a un total de 1702 pozos perforados. Ecopetrol en los años de 1964 y 1966, perforo 19 pozos para el desarrollo del área La Cira Norte, La Cira 1753 (LC-1753) se consideró como el descubridor.

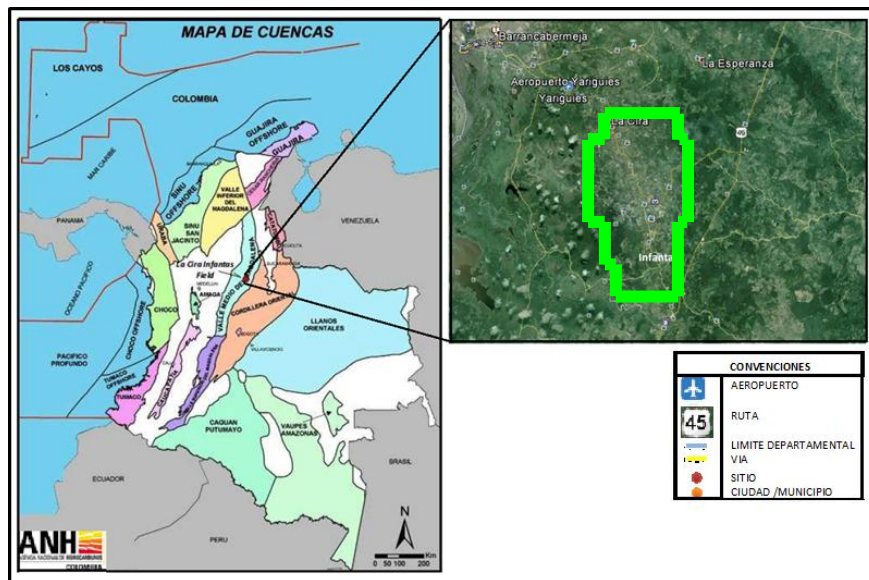
Hasta el año 2005 en el mes de septiembre, Ecopetrol quien es el operador del campo en dicho año se asoció con Occidental Andina (OXY), bajo un contrato de colaboración.

## 1.2. LOCALIZACIÓN

Los campos La Cira e Infantas están ubicados geológicamente en la cuenca del Valle Medio del Magdalena, la cual limita al este por la Cordillera Oriental, al oeste por la Cordillera Central, al Norte se extiende desde los localidades del Banco del Magdalena, y al sur por Honda, Tolima.

Geográficamente se localizan en la parte central de la antigua Concesión de Mares, al oriente del Río Magdalena y al sur del Río Sogamoso; en el departamento de Santander, en la ciudad de Barrancabermeja, en el Corregimiento El Centro. **(Ver figura1)**, a una distancia de 22 kilómetros de la ciudad de Barrancabermeja y 220 Kilómetros de Bogotá. Los campos cuentan con un área aproximada de 160 Km<sup>2</sup>, que abarca 30 veredas en el corregimiento de El Centro.

**Figura 1** Ubicación geográfica.



**Fuente:** Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) <<http://www.anh.gov.co/images/cuencas>>; Modificado por el autor.

### 1.3 HISTORIA DE LA PRODUCCIÓN DEL CAMPO

Los campos la Cira e Infantas poseen tres zonas productoras “A”, “B” y “C”. La zona “A” produce de la formación Colorado perteneciente al Oligoceno. Las zonas “B” y “C” producen de la formación Mugrosa perteneciente al Eoceno – Oligoceno, y la zona C es un yacimiento de arenas fluviales de permeabilidad baja a moderada, esta zona contiene un 80% del aceite original en el reservorio en ambos campos.

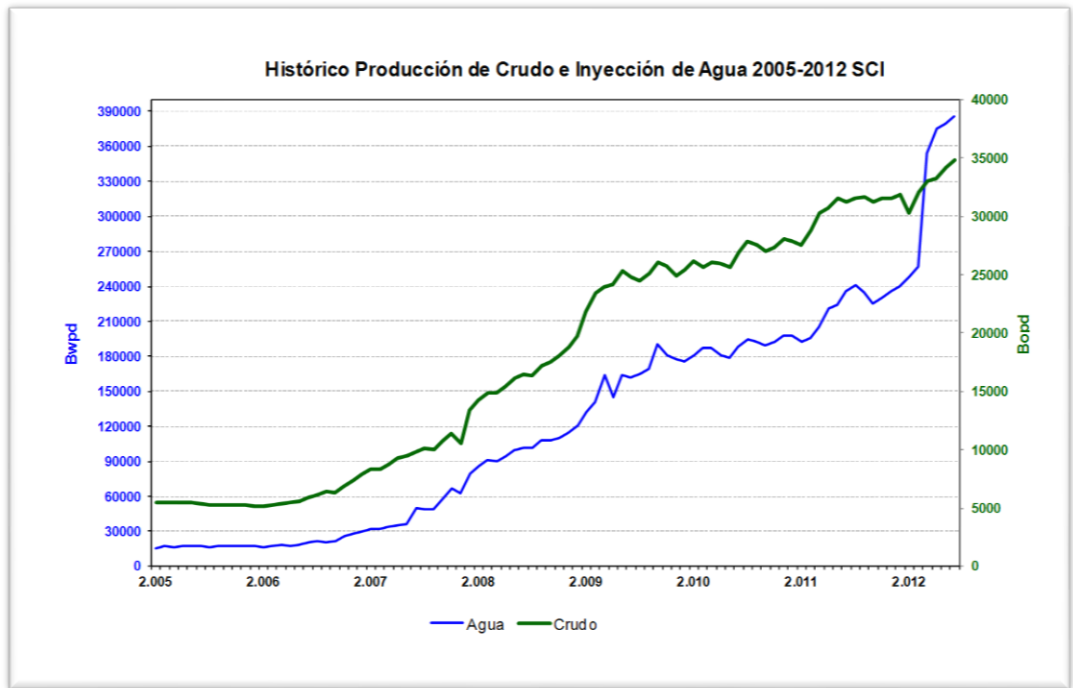
En los campos La Cira-Infantas la mayoría de los pozos produjeron por flujo natural; luego se pasó a un sistema de levantamiento por gas (Gas Lift), el cual fue desmontado en 1935 para dar paso al sistema actual de bombeo mecánico., posterior entre 1946 y 1949 se inicia un programa de inyección de agua, y en 1957 la ejecución de recobro de aceite por inyección de agua en la zona C de La Cira.

En 1951 luego de esta reversión de los campos a la nación, la producción tuvo un declive, (como se observa en el **grafico 1**) hasta 1960 donde se inició la inyección de agua, como recobro mejorado en La Cira.

En 1952 de igual manera se descubrieron las áreas 116 de la zona A, cuando se perforo el pozo La Cira 116. El primer pozo productor de la zona B fue La Cira 125, que a su vez dio apertura a la zona C en la estructura de la Cira, y el 1926 fue completado con una producción de 2350 BPD.

La producción máxima del campo se obtuvo en 1939, con 60 mil barriles por día. El pico de producción secundaria se alcanzó en octubre de 1974, con una tasa de 11.780 barriles por día.

**Gráfico 1.** Histórico de producción y proyectado.



**Fuente:** Informe anual caso de negocio. Ecopetrol. Informe picab- gia “caso de negocios”, gerencia centro oriente - operaciones LCI. Enero/2013

A mediados de 2003, ya casi en la producción más baja de la historia del campo, Ecopetrol decidió plantear en ese mítico escenario un negocio de producción incremental y firmar una alianza para invertir en esa propuesta de recuperación y crecimiento.

Finalmente se aceptó la propuesta de Occidental Andina (OXY), empresa líder en operaciones de campos maduros. El contrato de colaboración empresarial para la explotación del campo fue firmado con la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) el 6 de septiembre de 2005.

En el informe entregado por Ecopetrol y Oxy, el día 30 de junio de 2013, se reportó que los Campos La Cira e Infantas cuentan con 2634 pozos terminados,

1252 pozos activos de los cuales 908 son pozos productores y 344 son inyectores, 1252 pozos inactivos y 778 pozos abandonados (ver **tabla 1**).

También cuenta con doce equipos de completamiento, dos equipos de perforación, nueve estaciones de recolección, tres plantas de inyección de agua, una planta deshidratadora de crudo, dos plantas de tratamiento de agua y una estación de bombeo de crudo a GRB (gerencia refinería de Barrancabermeja).

**Tabla 1** Pozos en los Campos La Cira e Infantas.

Campo	Producción BLS Netos	Pozos Terminados	Pozos Abandonados	Pozos Inactivos	Pozos activos	Pozos Productores	Pozos Inyectores
Infantas	275252	787	349	162	276	189	87
Cira	825145	1837	484	366	987	721	255
<b>Total</b>	<b>1100397</b>	<b>2624</b>	<b>833</b>	<b>528</b>	<b>1263</b>	<b>910</b>	<b>342</b>

**Fuente:** INFORME MENSUAL SOBRE PRODUCCION Y ESTADO DE LOS POZOS AL FINAL DEL MES, GERENCIA CENTRO ORIENTE - OPERACIONES LCI. Cuadro 7. MES: Junio AÑO: 2013

## **2. GENERALIDADES DEL BOMBEO MECÁNICO EN EL CAMPO LA CIRA INFANTAS**

La gran mayoría de pozos productores de petróleo en el mundo, necesitan algún tipo de levantamiento artificial para llevar el crudo desde subsuelo hasta superficie. Esto debido a la baja presión en el yacimiento, lo cual se compensa con la instalación de dicho sistema de levantamiento. De estos, hay varios tipos, como el bombeo mecánico, bombeo de cavidades progresivas, bombeo electrosumergible, entre otros. Cada uno con un principio de funcionamiento diferente, lo que permite escoger para determinadas características del pozo, el sistema más adecuado a instalar.

El más antiguo de los sistemas de levantamiento artificial es el bombeo mecánico, el cual al igual que la industria del petróleo, data del siglo XIX. Como menciona, la ocurrencia relativa del bombeo mecánico esta alrededor del 80%, aunque los volúmenes de fluido producido en los pozos con este sistema, no están en las mismas proporciones. A pesar de lo anterior, el bombeo mecánico sigue siendo muy usado, dada su capacidad de trabajar en un amplio rango de caudales, además de su aplicabilidad en múltiples escenarios. Este sistema de levantamiento artificial surge de la mano de la industria petrolera (1859), cuando el coronel Drake perforó su pozo en el estado de Pennsylvania, USA. Los pozos se perforaban por percusión, con ayuda de un balancín de madera, que dejaba caer la broca sobre la formación, para abrirse paso entre está.

Cuando el pozo ya no era capaz de producir por sí mismo, se aprovechaba dicho balancín, para operar la bomba de subsuelo, que se unía a este a través de listones de madera. Así nació el principio de convertir movimiento rotatorio (motor), en movimiento reciprocante para suministrar energía a la bomba. En el campo La Cira-Infantas, el bombeo mecánico ha estado desde sus inicios, y aún hoy en día,

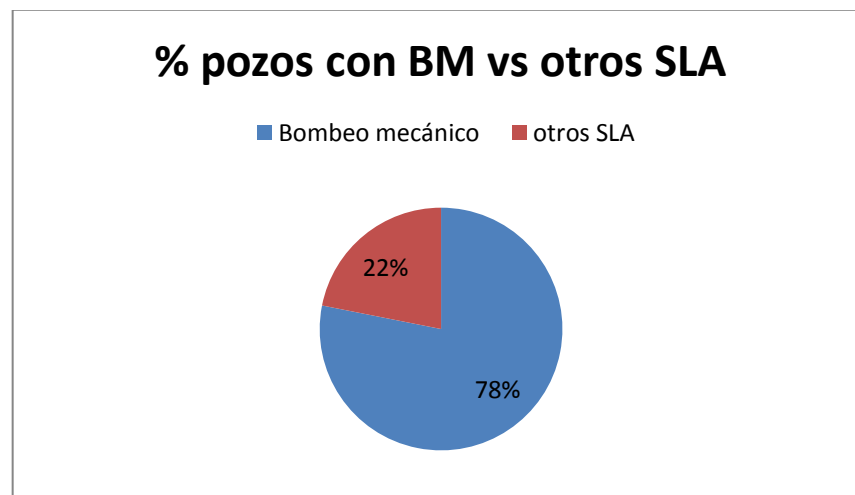
sigue siendo el sistema de levantamiento más utilizado en el campo. La **tabla 2** muestra la cantidad de pozos, la producción diaria y el respectivo porcentaje de producción para cada sistema de levantamiento artificial presente en el campo, así como el **gráfico 2** muestra porcentualmente la cantidad de pozos que producen con unidades de bombeo mecánico versus otros sistemas de levantamiento artificial.

**Tabla 2.** Producción por SLA junio de 2013

ALS	POZOS	BFPD	%DFPD
BM	710	31857	70%
ESP	52	4163	9%
ESP PCP	15	763	2%
PCP	132	8826	19%
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>909</b>	<b>45609</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Ecopetrol S.A

**Gráfico 2.** Porcentaje de pozos con bombeo mecánico vs otros sistemas de levantamiento artificial en el campo



**Fuente:** Ecopetrol S.A Modificado por el autor

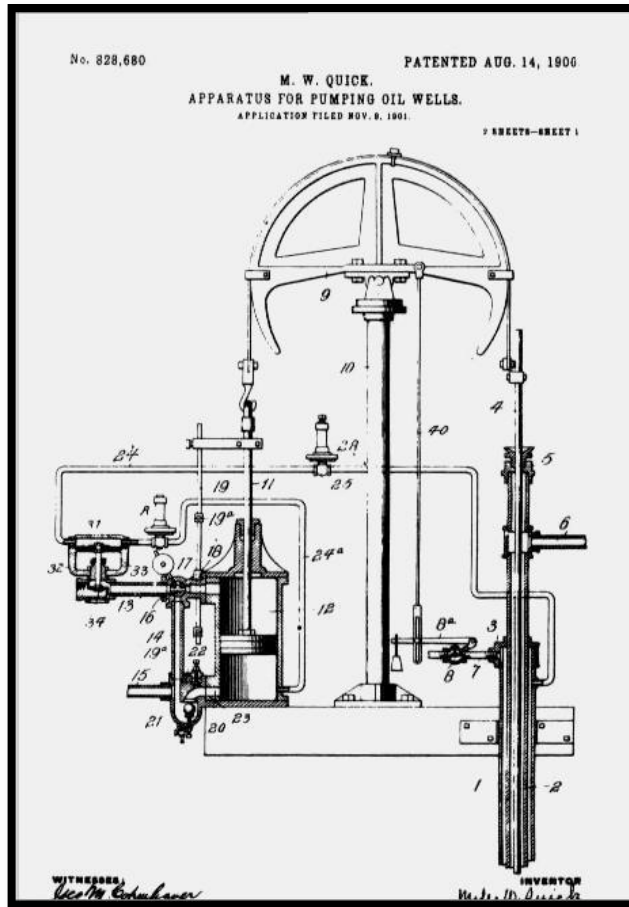
En el inicio del siglo XX, el señor M. W. Quick (ver **Figura 2**), patentó una fuente de fuerza central, que proporcionaba energía a varios pozos, a través de un sistema de engranajes. Este sistema se conoció como Catalina. Posteriormente,

J.R. Suman, se encargó de patentar el uso del balancín, como herramienta de producción. Años después, W.C. Trout, introdujo el uso de contrabalanceo en el sistema, buscando aliviar el esfuerzo que realizaba el motor.

Hoy en día, el principio de funcionamiento del bombeo mecánico es el mismo, y se mantiene su uso, debido a la implementación de nuevos materiales en sus componentes, nuevas tecnologías, monitoreo en tiempo real, automatización, entre otros factores. Estos dos últimos, son muy importantes a la hora de combinar un sistema de método de recobro primario (como el bombeo mecánico), con métodos de recobro secundario (como la inyección de agua), dado que estos últimos, presentan una gran variación en el tiempo, unos en un tiempo más corto con respecto a otros.

El principio de funcionamiento del sistema de levantamiento artificial bombeo mecánico, se define como: “la potencia transmitida es proporcional al volumen de fluido producido por unidad de tiempo y a la altura real (número de pies) que hay que levantar el fluido”. Este sistema se compone de cuatro partes básicas: bomba de subsuelo, sarta de varillas, unidad de superficie y unidad motriz.

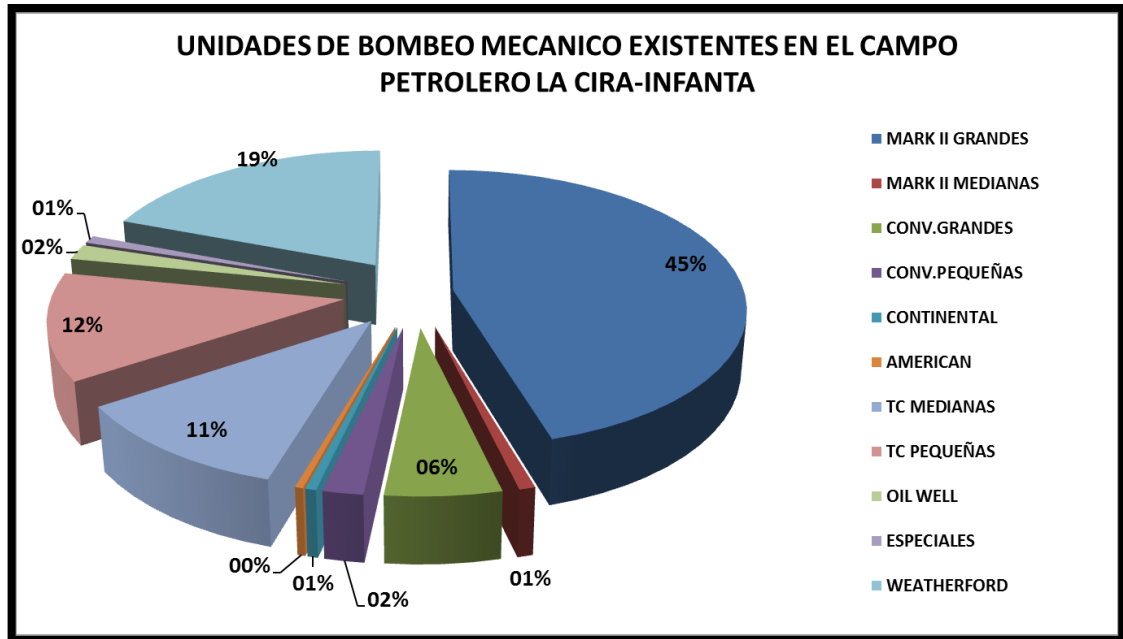
**Figura 2.** Patente de M.W WICK



**Fuente:** PARTIDAS, Héctor. Bombeo mecánico: Optimización, Diagnóstico y Operación. EN. Workshop International Bombeo mecánico: Optimización, Diagnóstico y Operación. (1: 17-23, Noviembre: San Tomé Edo. Anzoátegui, Venezuela). Memorias. Bogotá D.C.: ESP Oil Engineering Consultants, 2003

En un estudio realizado en el campo La Cira-Infantas en marzo de 2013 se clasificaron las unidades de bombeo mecánico existentes clasificándolos por su tamaño con sus respectivos porcentajes de participación, como se puede observar en el **gráfico 3**.

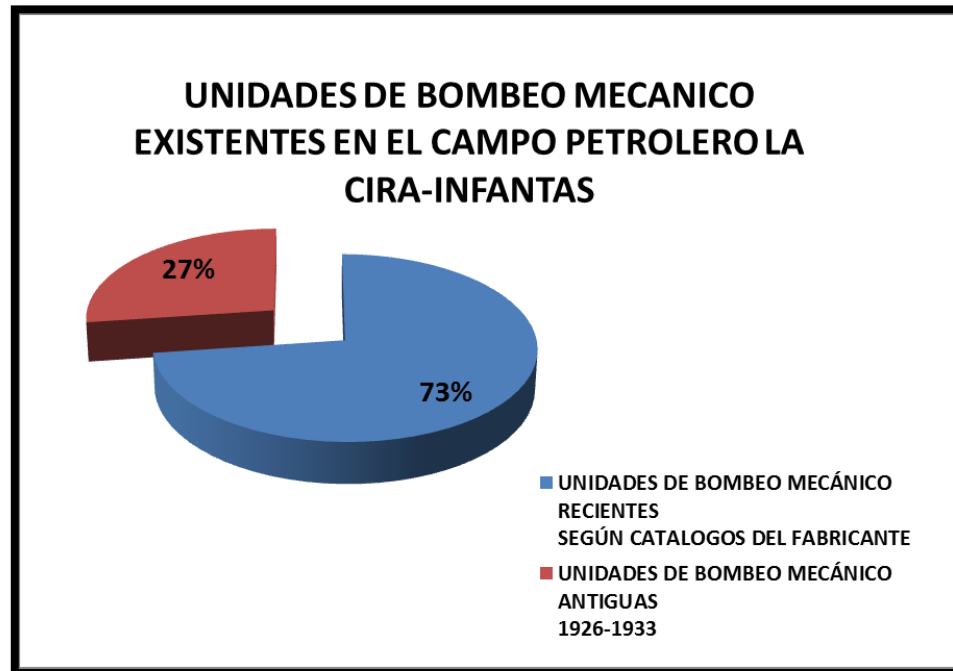
**Gráfico 3.** Unidades de bombeo mecánico en el campo



**Fuente:** MAESTRA 6 DE MARZO DE 2013, DAISON DARLWING CASTRO, BUREAU VERITAS, LA CIRA – INFANTAS 2013, modificado por el autor.

Para el desarrollo del presente proyecto es importante conocer cuáles de las unidades ya excedieron su tiempo de vida estimado por lo cual se ha hecho una clasificación considerando a las unidades antiguas en operación las instaladas antes de 1933 dicho estudio está representado en el **gráfico 4**.

**Gráfico 4.** Cantidad de Unidades de bombeo mecánico antiguas y recientes en el campo



**Fuente:** MAESTRA 6 DE MARZO DE 2013, DAISON DARLWING CASTRO, BUREAU VERITAS, LA CIRA – INFANTAS 2013, modificado por el autor.

## 2.1 DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL BOMBEO MECÁNICO

A continuación se describen los componentes del sistema de levantamiento artificial bombeo mecánico, únicamente haciendo énfasis en las características de los componentes presentes en el Campo La Cira infantas.

### 2.1.1 Bomba de subsuelo

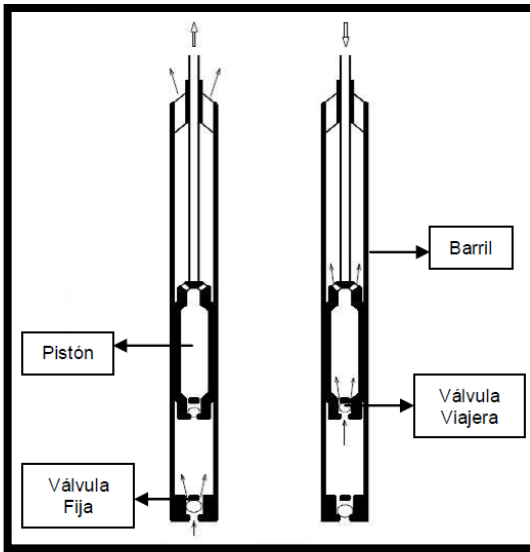
Este componente se encarga de recoger el fluido presente en el espacio anular, y descargarlo en la sarta de producción para su posterior ascenso a superficie. Esta bomba se compone de un cuerpo principal, llamado barril, y de una parte móvil llamada pistón. El fluido adquiere movimiento gracias al accionar de dos válvulas:

fija y viajera. Cuando el pistón inicia la carrera ascendente, el peso del fluido presente sobre este permite cerrar la válvula viajera, y así desplazar dicho fluido a superficie. Al mismo tiempo, el ascenso del pistón genera una disminución de presión sobre la válvula fija, lo cual permite que esta se abra para que el fluido ingrese al barril. Cuando el pistón se encuentra en carrera descendente, se invierte el funcionamiento, es decir, se cierra la válvula fija y se abre la válvula viajera, permitiendo el paso del fluido desde el barril de la bomba hacia la tubería de producción (ver **Figura 3**).

En cada uno de estos momentos, las cargas sobre la bomba son diferentes, siendo máxima durante la carrera ascendente y mínima durante la carrera descendente (en donde la carga es máxima para el sistema estacionario). Esto es de suma importancia a la hora de hacer cálculos, ya que estas oscilaciones producen estiramiento y contracción de los elementos involucrados, lo cual se manifiesta en una reducción de la carrera efectiva de la bomba.

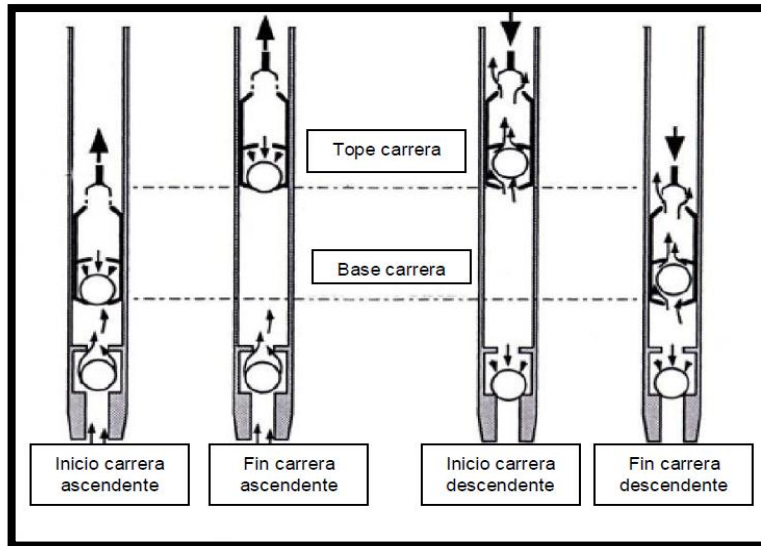
Esta carrera efectiva, se suma a otros factores como el BS&W (contenido de sólidos y agua en el fluido producido), el escurrimiento, presencia o no de gas, entre otros, para tener en cuenta a la hora de la elección de una bomba adecuada. Esto es posible gracias al amplio rango de bombas que existen, las cuales varían en longitud, diámetro, material, ubicación, entre otras características. (Ver **figura 4**)

**Figura 3.** Partes básicas de una bomba de subsuelo



**Fuente:** BOLLAND Y CÍA. S.A. Bombas mecánicas de profundidad. Buenos Aires: Bolland y Cía. S.A, 2009, versión 2.0; modificada por el autor

**Figura 4.** Carreras ascendente y descendente de una bomba de subsuelo



**Fuente:** SVINOS, John G. Optimización de bombeo mecánico. Bakersfield: Theta Enterprise, Inc., 2005.; modificada por el autor

2.1.1.1 Nomenclatura. Las bombas de subsuelo poseen una nomenclatura especial basada en el API (instituto Americano del petróleo) en la **tabla 3** se observa cómo se establece con base en una serie de códigos y letras, como se debe referenciar este tipo de bombas.

**Tabla 3.** Nomenclatura de las unidades de bombas de subsuelo}

NOMENCLATURA	XX	-	XXX	-	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	X
DESCRIPCION	Dímetro de la tubería conectante o donde se inserta la bomba		Dímetro del pistón de la bomba		Tipo de bomba	Tipo de pared de barril	Ubicación del anclaje	Tipo de anclaje		Longitud del barril (ft)		Longitud del pistón (ft)		Longitud de la extensión superior (ft)		Longitud de la extensión inferior (ft)
POSIBILIDADES	20: 2-3/8" 25: 2-7/8" 30: 3-1/2"		106: 1-1/16" 125: 1-1/4" 150: 1-1/2" 200: 2" 225: 2-1/4" 250: 2-1/2" 275: 2-3/4"		R: Bomba inserta T: Bomba de tubería	H: Gruesa (3/16"- 1/4") W: Delgada (1/8") X: Semigruesa	A: Superior B: Inferior	C: Copas		Variable		Variable		Variable		Variable

**Fuente:** BOLLAND Y CÍA. S.A. Bombas mecánicas de profundidad. Buenos Aires: Bolland y Cía. S.A, 2009, versión 2.0. p. 17; modificada por el autor

2.1.1.2 Bombas insertas. Este tipo de bombas se bajan y se extraen del pozo con la sarta de varillas, lo que se considera su principal ventaja, ya que para esto se puede realizar con una unidad pequeña (ej.: unidad Flush-by, ver **figura 5**). Se ubican dentro de la tubería de producción, por lo cual es necesaria una bomba con diámetro inferior al de la tubería donde se va a sentar. La bomba se fija con ayuda de un anclaje llamado niple de asiento, dentro del cual encaja el anclaje de la bomba (ya sea inferior o superior). A su vez este tipo de bombas se dividen en varios tipos, dependiendo su anclaje y al tipo de pared del barril.

**Figura 5.** Unidad Flush by



**Fuente:** [www.weatherford.com](http://www.weatherford.com)

- **Bombas insertas con anclaje superior:** Se usan principalmente en ambientes donde hay gran presencia de arena, ya que en caso de decantación, la cantidad de arena acumulada en el niple de asiento será mínima y así se evitará un posible atascamiento. No se recomienda para pozos que presenten golpe de fluido ni que estén a grandes profundidades (y más si son de pared delgada), ya que la presión interior durante la carrera descendente es a menudo muy superior a la exterior, creando riesgo de estallido del barril.
- **Bombas insertas con anclaje inferior:** Su uso principal es para pozos que tienen bajo nivel dinámico, ya que favorece la condición de tener el intake de la bomba cerca a la válvula fija. Esto último marca una gran diferencia con las bombas con anclaje superior, ya que no tienen problemas a

grandes profundidades, gracias a que las presiones dentro y fuera del barril en la carrera descendente son iguales. También se usa en pozos donde esté instalada un ancla de gas. No se debe usar en pozos que presenten alta presencia de arena, ya que al ubicarse el niple de asiento en la zona inferior, el espacio anular entre la tubería y el barril de la bomba será de fácil acceso para dicha arena, lo cual podría provocar atascamiento, y así eliminar la posibilidad de extraer la bomba a través de la sarta de varillas, generando la necesidad de extraer también la sarta de tubería o el uso de un equipo de Workover (trabajo realizado para el rediseño del pozo).

2.1.1.3 Bombas de tubería. Este tipo de bombas se usa principalmente cuando el caudal a manejar es significativamente alto. El barril de estas bombas hace parte de la sarta de tubería, mientras que el único componente que va conectado a la sarta de varillas es el pistón. Aquí se utiliza niple de asiento únicamente para sentar la válvula fija, que se baja con ayuda del pistón. El barril de este tipo de bombas siempre es de pared gruesa (TH).

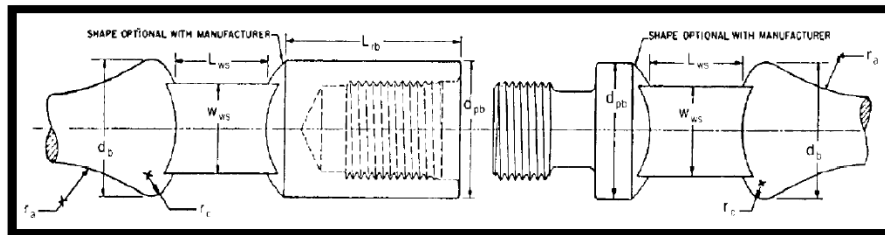
### **2.1.2 Sarta de varillas**

Se encarga de comunicar la bomba de subsuelo con la unidad de superficie, y así, transmitir movimiento al pistón para desplazar el fluido. Esta sarta debe ser resistente a todas las fuerzas axiales que interactúan sobre ella, además de fenómenos como la corrosión, abrasión y desgaste.

La sarta de varillas se une con la unidad de superficie, a partir de una varilla especial denominada barra lisa. Esta varilla es normalmente de un diámetro mayor al de la sarta de varillas. Posee composición y propiedades especiales, ya que es un punto sobre el cual actúan fuerzas considerables. A continuación se describen los diferentes tipos de varillas presentes en los pozos de bombeo mecánico del campo La Cira-Infantas.

2.1.2.1 Varillas convencionales. Son varillas de metal que aproximadamente miden 25 ft. Se unen entre sí para formar la sarta de varillas. El número de estas depende de la profundidad a la cual se desee llegar. Según el API, la sarta de varillas debe tener las características en el pin y la caja, dependiendo el diámetro (ver **Figura 6**)

**Figura 6.** Dimensiones generales para el pin y la caja de una varilla



**Fuente:** HERMANSON, Dean. Sucker Rods. En: BRADLEY, Howard B. Petroleum Engineering Handbook. 3 ed. Richardson: SPE, 1987.

El problema de diseñar una sarta de varillas consiste en cómo determinar la sarta más liviana y la más económica que pueda usarse sin exceder el esfuerzo unitario máximo permisible de las varillas. Este esfuerzo depende de la composición de cada tipo de varilla y del fluido en el cual va a estar sumergida. Teniendo en cuenta valores teóricos, se aconseja que dicho esfuerzo este por debajo de los 30000 psi. En la **Tabla 4** se muestran según el requerimiento, los diferentes tipos de varillas.

**Tabla 4.** Requerimientos de varillas según su grado

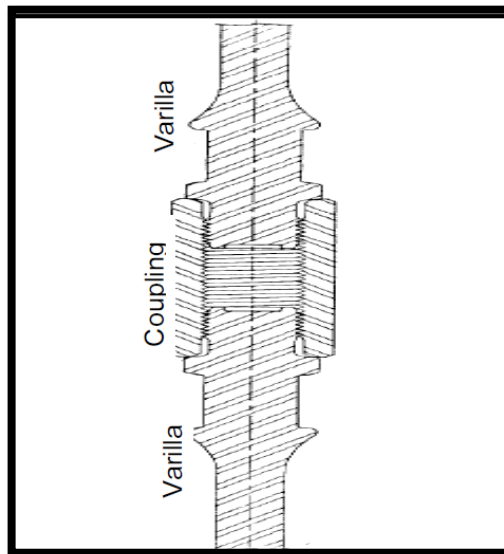
VARILLA	REQUERIMIENTO
API Grado D	Cargas moderadas en pozos corrosivos
UHS-Norris	Muy altas cargas en pozos no corrosivos
Varilla Hueca	Disminución de fallas
Varilla continua	

**Fuente:** TENARIS SIDERCA. Asistencia técnica división varillas de bombeo. p. 1; tabla realizada por el autor

Las varillas se unen entre sí a través de accesorios llamados cuplas (ver **Figura 7**), que pueden ser de dos tipos:

- **Slim Hole:** Tienen un diámetro similar al diámetro nominal del pin de la varilla. También se conoce como cupla “de diámetro reducido”.
- **Full Size:** Su diámetro es mayor al diámetro nominal del pin de la varilla. También se conoce como cupla “de diámetro normal”:

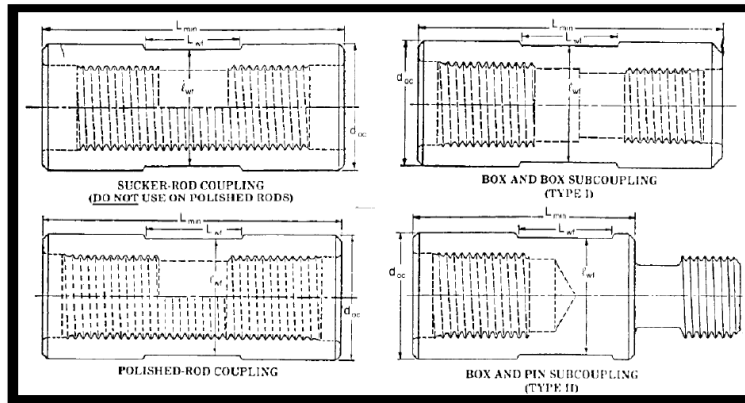
**Figura 7.** Conexión en la sarta de varillas



**Fuente:** HERMANSON, Dean. Sucker Rods. En: BRADLEY, Howard B. Petroleum Engineering Handbook. 3 ed. Richardson: SPE, 1987.

Las cuplas varían según el tipo el tipo de varillas que se vayan a unir, Por ejemplo, la cupla para unir dos varillas es diferente al que une una varilla con la barra lisa (ver **Figura 8**)

**Figura 8.** Tipos de cuplas y subcuplas



**Fuente:** HERMANSON, Dean. Sucker Rods. En: BRADLEY, Howard B. Petroleum Engineering Handbook. 3 ed. Richardson: SPE, 1987.

2.1.2.2 Varilla Continua. Es un tipo de varilla, en el cual la sarta se compone por un cuerpo continuo, la cual está diseñada para bombeo rotatorio y reciprocante en profundidad, pozos con altos caudales, con ambientes ligeramente corrosivos y aún más corrosivos que estén efectivamente inhibidos. Se transporta un carrete especial, como se puede apreciar en la **Figura 9**.

**Figura 9.** Varilla continua



**Fuente:** fotografía en campo La Cira Infantas. El autor

Las ventajas de este tipo de varillas son:

- Al existir pocas conexiones (en esta sarta se hacen a través de soldaduras), se reducen las posibilidades de fallas en estas.
- La sarta es más liviana con respecto a una sarta de varillas convencional, lo cual reduce el peso sobre la unidad de bombeo.
- El espacio anular al ser más grande, contribuye a una disminución de las pérdidas de presión en este lugar.
- Al ser un sólo cuerpo, las cargas de contacto se distribuyen de manera equitativa en toda la sarta, por lo cual se reduce el desgaste tanto de la varilla como de la tubería de producción.

En pozos de bombeo mecánico del campo, se ha usado este tipo de varillas para pozos con problemas frecuentes de falla por varilla partida. La **tabla 5** muestra las características para los diferentes diámetros de este tipo de varillas. La **Figura 10** muestra la instalación de varilla continua.

**Tabla 5.** Características de varilla continua según su diámetro.

Diámetro	Peso Mínimo (lb/ft)	Área Mínima (in <sup>2</sup> )	Torque Máximo (lb-ft)
13/16	1.76	0.518	700
7/8	2.04	0.601	900
1	2.67	0.785	1300
1 5/32	3.57	1.05	2000

**Fuente:** WEATHERFORD. COROD® SWR High-Strength Continuous Rod. Houston: Weatherford, 2011.

**Figura 10.** Instalación de varilla continua



**Fuente:** WEATHERFORD. Weatherford Sucker Rods. Houston: Weatherford, 2003-2009.

2.1.2.3 Varilla hueca. Es un tipo de varilla especial, que como su nombre lo dice es hueca, diferenciándose así de las varillas convencionales (macizas). Esta característica le permite tener un comportamiento especial, ya no como varilla, sino como un “tubo de diámetro pequeño” (ver **figura 11**).

Las ventajas de este tipo de varillas son:

- Aumentan la eficacia en la inhibición de corrosión o la acción de cualquier otro diluyente cuando se inyecta a través de la varilla hueca.
- Minimiza fallas prematuras del pin, a raíz de sobre-torque en el mismo.
- Reducen los problemas de maniobra, dado que su instalación no requiere herramientas especiales.

**Figura 11.** Varilla hueca



**Fuente:** TENARIS. PCPRod®. Houston: Tenaris, 2009.

- Su unión tipo “Flush” (ver **figura 12**) minimiza la posibilidad de contacto entre las varillas y la tubería de producción.
- Reduce la velocidad de flujo, y por ende las pérdidas de carga.

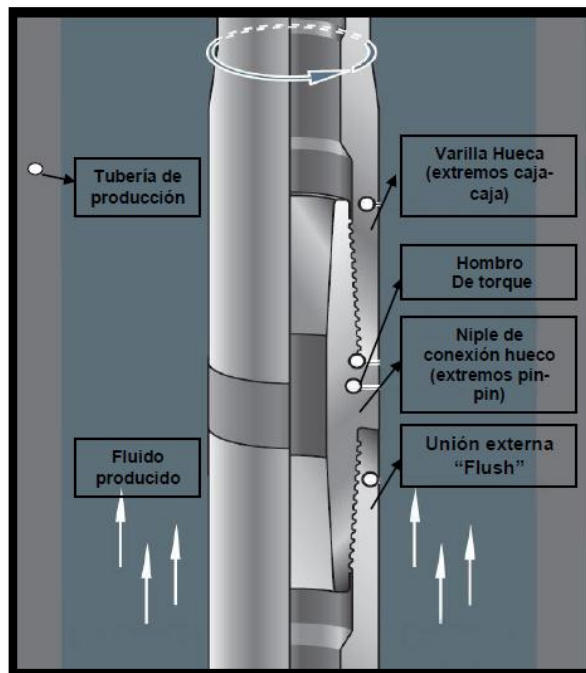
Las características de la varilla hueca según su diámetro, se presentan en la **tabla 6**.

**Tabla 6.** Características de los tipos de varilla hueca

Tipo	Diámetro Externo (in)	Espesor de la pared (in)	Diámetro del upset (in)	Torque Máximo (lb-ft)
1	1 23/25	0.264	-	1000
2	1 33/50	0.196	1 24/25	1500
3	1 23/25	0.264	2 9/25	2500

**Fuente:** TENARIS. PCPRod®. Houston: Tenaris, 2009. p. 6; modificada por el autor

**Figura 12.** Partes de una varilla hueca

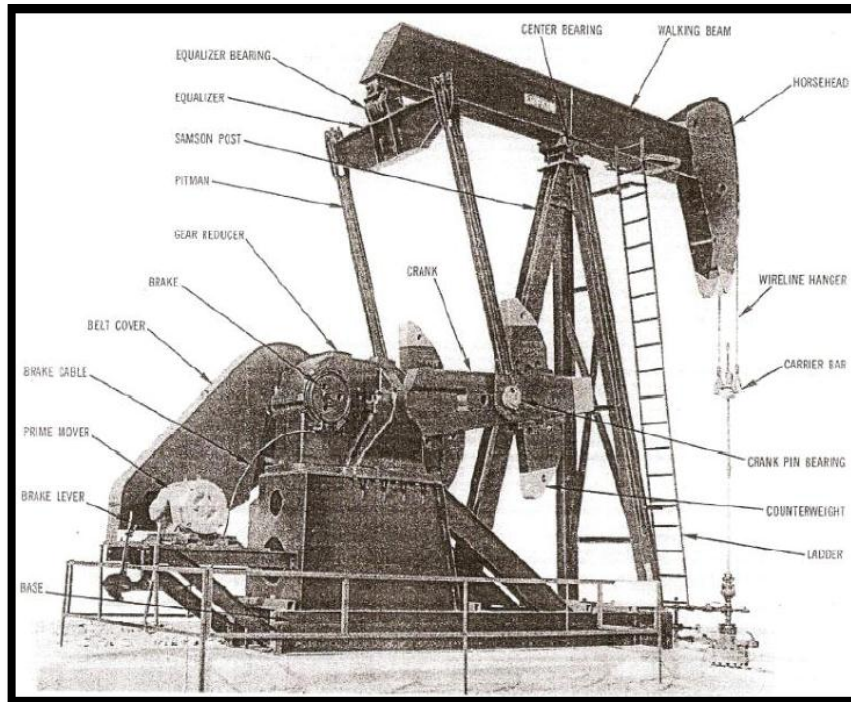


**Fuente:** TENARIS. PCPRod®. Houston: Tenaris, 2009. p. 7; modificada por el autor

### 2.1.3 Unidades de superficie

La unidad de bombeo se encarga de darle movimiento a la sarta de varillas. Para esto, convierte el movimiento rotatorio generado por el motor en movimiento recíproco (ascendente y descendente), el cual es el que finalmente da movimiento al pistón de subsuelo. El balancín de la unidad (*walking beam*) va conectado a la manivela (*crank*), donde se ubican los contrabalancesos. La manivela a su vez va conectada a la caja reductora, la cual se compone de un juego de engranajes (ver **figura 13**). El recorrido de la unidad es aquella longitud máxima que en teoría recorre el pistón en subsuelo.

**Figura 13.** Partes de una unidad de superficie



**Fuente:** LUFKIN AUTOMATION, INC. Principles of rod pumping (training guide). Houston: Lufkin Automation, Inc., 2002.

2.1.3.1 Caja reductora. La caja reductora se encarga de convertir torques bajos y altas RPM (revoluciones por minuto) de la unidad motriz en altos torque y bajas rpm necesarias para operar la unidad de bombeo. Una reducción típica de una caja de engranaje es 30:1. Esto significa que la caja de engranaje reduce los rpm a la entrada 30 veces mientras intensifica el torque de entrada 30 veces. Aquí se determina la velocidad de la unidad de superficie, que se maneja en strokes por Minuto (SPM). Un stroke equivale a una carrera ascendente más una descendente. La cantidad de estos en un minuto, es la velocidad de la unidad.

2.1.3.2 Motor. Es la fuente de energía para la unidad de superficie. En el campo se utilizan motores eléctricos tipo NEMA D. Este tipo de motores posee la característica especial de deslizar de 5 a 8 % en la carga total, lo cual genera que el cambio de velocidad sea pequeño. Aunque este cambio se puede aumentar

cuando se desea minimizar la inercia rotaria hacia arriba en la caja reductora. En general, los motores eléctricos son idóneos cuando se tiene un sistema de automatización. El comportamiento del motor con respecto al ciclo de bombeo es el siguiente: en la carrera ascendente donde la barra lisa soporta las mayores cargas, el motor desacelera. Esta reducción de velocidad genera que la inercia del contrabalanceo (resistencia al cambio en velocidad) ayude a disminuir el torque de la caja reductora. Además de esto, reduce las cargas picos en la barra lisa lo que genera una aceleración de la misma. Durante la carrera descendente, la unidad acelera, por lo cual se producen cargas mínimas sobre la barra lisa. El resultado de esto es disminución de la tensión y por ende disminución de la fatiga en la sarta de varillas.

2.1.3.3 Nomenclatura. Al igual que para las bombas de subsuelo, el API ha diseñado una nomenclatura para las unidades de superficie (ver **tabla 7**).

**Tabla 7.** Nomenclatura de las unidades de superficie.

NOMENCLATURA	X	-	XXX	-	XXX	-	XXX
DESCRIPCION	Tipo de unidad		Torque máximo permitido en la caja reductora (miles de Lb-in)		Carga máxima soportada por el balancín(cientos de Lb-in)		Recorrido máximo de la unidad (in)
POSIBILIDADES	C: Convencional M: Mark II		912 640 320 (entre otras)		427 365 256 (entre otras)		192 168 144 (entre otras)

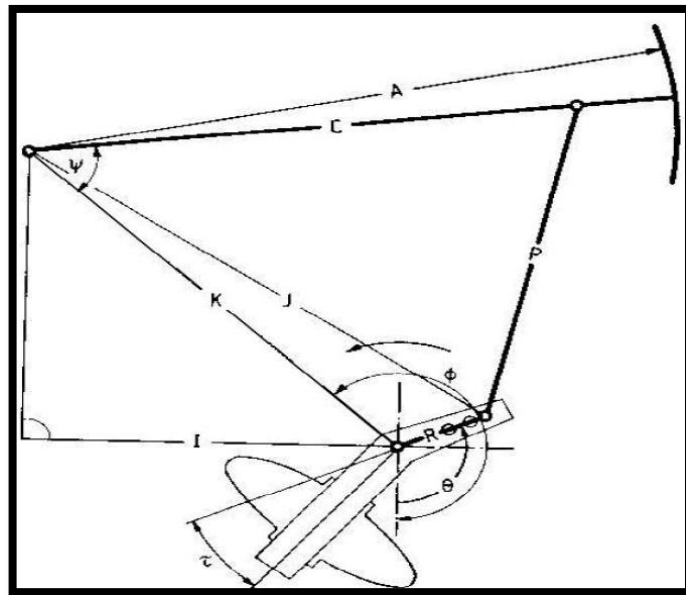
**Fuente:** SVINOS, John G. Optimización de bombeo mecánico. Bakersfield: Theta Enterprise, Inc., 2005. p. 32.; modificada por el autor

#### 2.1.4 Unidades Mark II.

Estas unidades son las más usadas en el Campo La Cira-Infantas. Son las más eficientes. Por cuestiones de diseño, únicamente pueden girar en sentido anti-horario y no pueden exceder velocidades de 8 SPM (strokes por minuto). Otro

aspecto relevante de su diseño es su mayor velocidad durante la carrera descendente. Las contrapesas se ubican en una manivela de doble brazos separados, que se encuentra de forma opuesta a la manivela donde se ubican los pines, formando un ángulo de desfase entre  $19^\circ$  y  $28^\circ$ . Dicho desfase genera un atraso del torque de las pesas, con respecto a la carga de los fluidos en el inicio de la carrera ascendente, y que por el contrario, se adelanta al inicio de la carrera descendente (ver **figura 14**). Esto además de aumentar la velocidad en la carrera descendente “garantiza una variación más uniforme del torque neto durante todo el ciclo completo de bombeo”.

**Figura 14.** Geometría de una unidad Mark II



**Fuente:** PARTIDAS, Héctor. Bombeo mecánico: Optimización, Diagnóstico y Operación. EN. Workshop Internacional Bombeo mecánico: Optimización, Diagnóstico y Operación. Bogotá D.C.: ESP Oil Engineering Consultants, 2003,

En cuanto al aspecto de seguridad, un factor que se debe tener muy en cuenta al hacer trabajos cerca de la unidad, es su condición de tener una manivela en dos secciones, lo cual genera que dicha manivela en un stroke pase dos veces por el

mismo lugar. En el Campo, las unidades Mark II van desde las M-912-427-192 (ver **figura 15**) hasta unidades mucho más pequeñas.

**Figura 15.** Unidad Mark II (M-912-427-192)

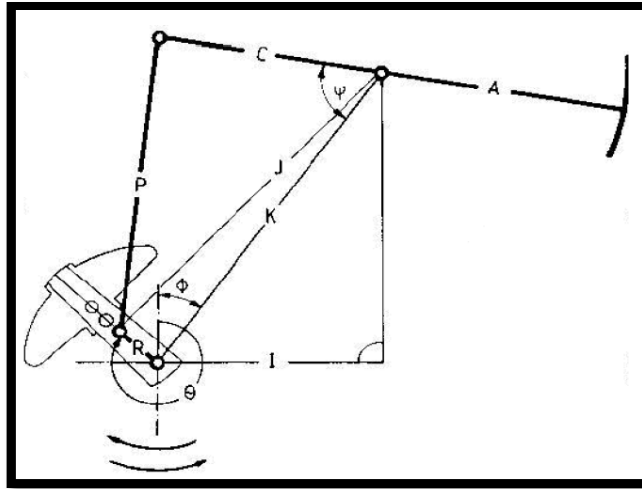


**Fuente:** Unidad fotografiada en el campo LCI. Modificada por el autor

### **2.1.5 Unidades convencionales**

Las primeras unidades de bombeo mecánico corresponden a esta clase. Este tipo de unidades se caracterizan por no ser tan costosas, en comparación con las unidades Mark II. Su diseño les permite girar tanto en sentido horario como anti-horario. Lo anterior en el momento de hacer un mantenimiento o cambio de alguna parte, lo hace mucho más fácil. En estas unidades el balancín actúa como una palanca de brazo doble, y se impulsa desde su extremo posterior e impulsa la barra lisa en su extremo frontal (clase I). (Ver **figura 16**)

**Figura 16.** Geometría de una unidad convencional



**Fuente:** PARTIDAS, Héctor. Bombeo mecánico: Optimización, Diagnóstico y Operación. EN. Workshop Internacional Bombeo mecánico: Optimización, Diagnóstico y Operación. Bogotá D.C.: ESP Oil Engineering Consultants, 2003.

En el Campo La Cira-Infantas hay unidades convencionales de todos los tamaños, por citar un ejemplo esta la unidad C-640-365-168 (ver **figura 17**) hasta las populares “Baby Lufkin” (ver **Figura 18**)

**Figura 17.** Unidad convencional C-640-365-168



**Fuente:** Unidad fotografiada en el campo La Cira Infantas. El autor.

**Figura 18.** Unidad Baby Lufkin

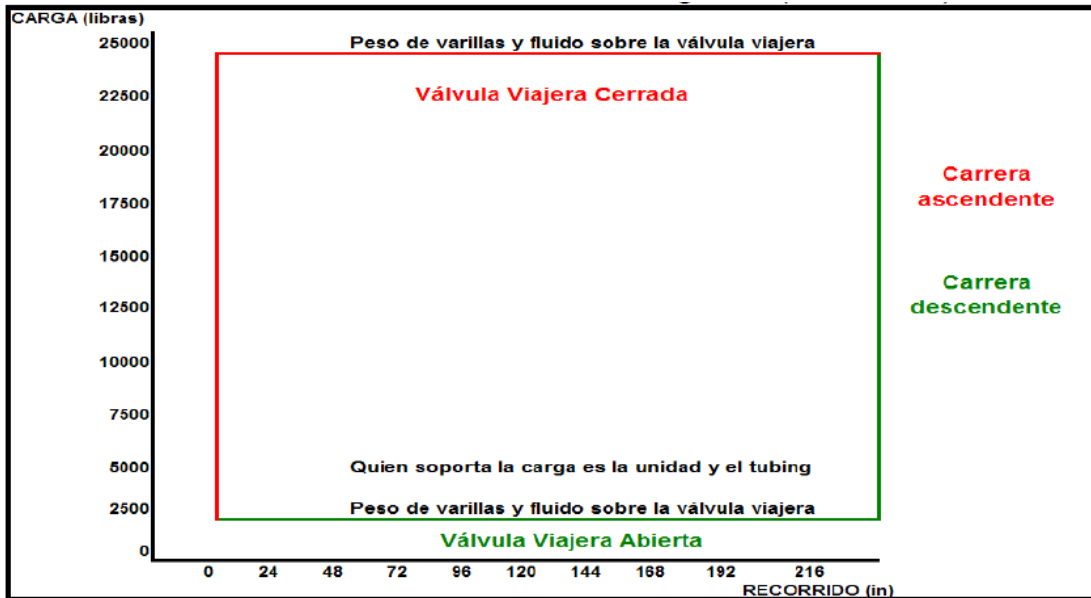


**Fuente:** Unidad fotografiada en el campo La Cira Infantas. El autor.

## **2.2 DINAMOMETRÍA**

El monitoreo del sistema de levantamiento artificial bombeo mecánico, se hace con base a una herramienta muy útil llamada dinagrama, la cual es una carta que se representa gráficamente entre carga (eje Y) y desplazamiento (eje X) (ver **Gráfico 5**). En el Campo La Cira-Infantas los dinagramas se obtienen gracias al sistema de automatización, y se puede observar en el software del mismo.

**Gráfico 5.** Forma básica de un dinagrama (carta llena)



**Fuente** Hirschfeldt Marcelo. Dinamometría. Oil production.net

El dinagrama que se registra es el de superficie, pero dado que el análisis se debe hacer en subsuelo, se utiliza la siguiente ecuación de onda para corregir y suprimir lo relacionado con la sarta de varillas, dejando únicamente lo relacionado con la bomba. Esta ecuación es un desarrollo del Dr. Sam Gibbs, quien posteriormente a partir de la ecuación para pozos verticales, desarrolló la ecuación para pozos desviados. La **Ecuación 1** muestra el desarrollo de dicha ecuación de onda para pozos verticales, mientras que la **Ecuación 2** muestra el desarrollo para pozos desviados.

**Ecuación 1.** Ecuación de onda para pozos verticales

$$\frac{\partial^2 u(s, t)}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u(s, t)}{\partial s^2} - c \frac{\partial u(s, t)}{\partial t} + g$$

Hirschfeldt Marcelo. Dinamometría. Oil production.net

**Ecuación 2.** Ecuación de onda para pozos desviados

$$\frac{\partial^2 u(s, t)}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u(s, t)}{\partial s^2} - c \frac{\partial u(s, t)}{\partial t} - C(s) + g(s)$$

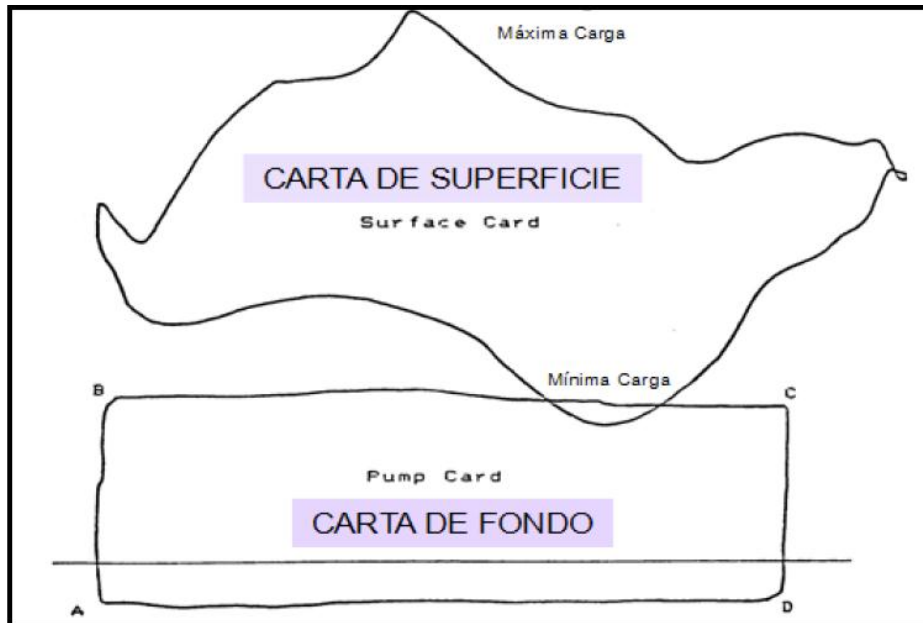
$$C(s) = \delta \mu(s) \left[ N(s) + T(s) \frac{\partial u(s, t)}{\partial s} \right]$$

$$\delta = \frac{\frac{\partial u(s, t)}{\partial t}}{\left| \frac{\partial u(s, t)}{\partial t} \right|}$$

**Fuente** Hirschfeldt Marcelo. Dinamometría. Oil production.net

Posterior a la aplicación de la ecuación de onda, se podrán observar las dos cartas (superficie y fondo) (ver **Figura 19**).

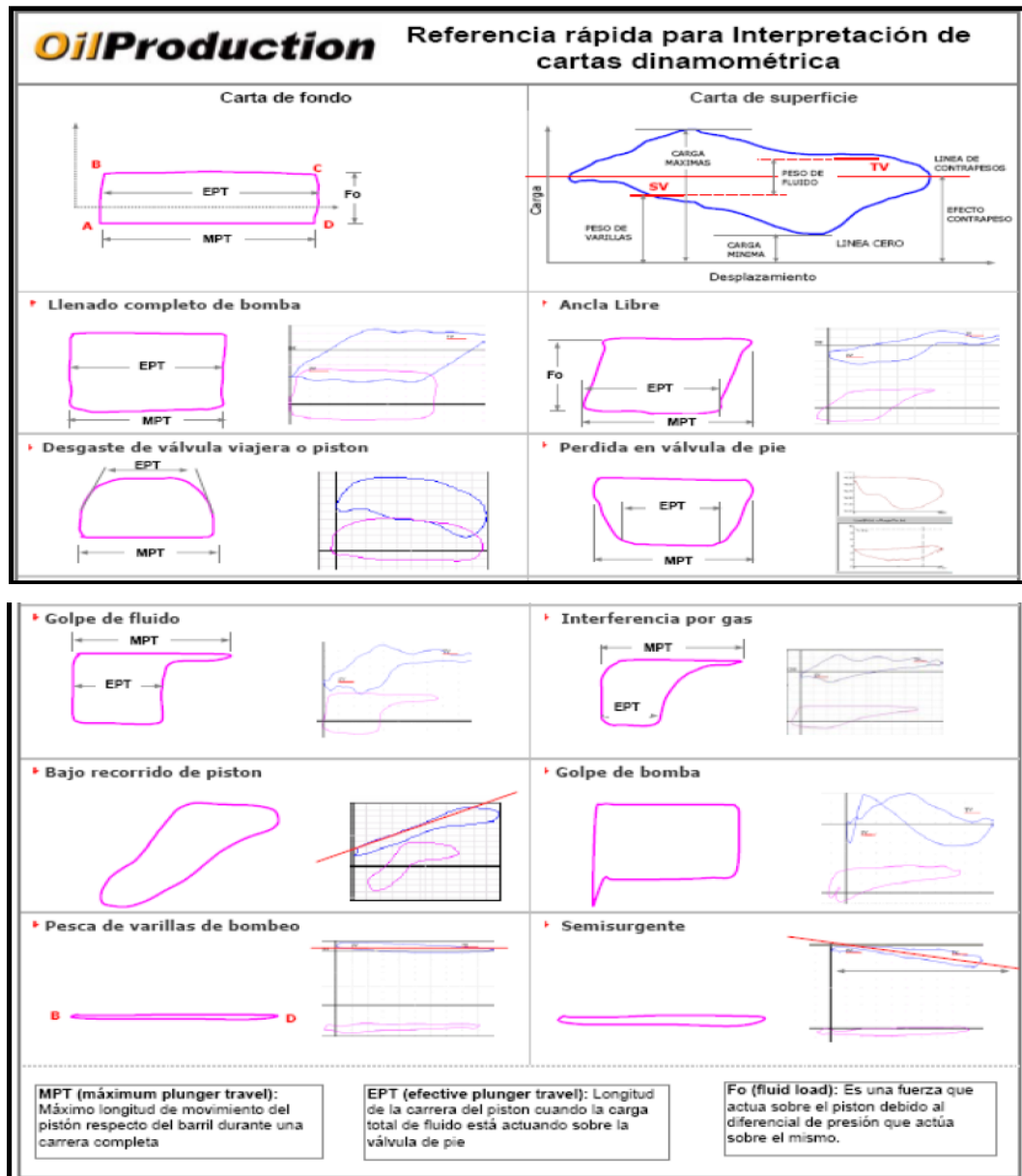
**Figura 19.** Dinagramas de superficie y fondo



**Fuente** Hirschfeldt Marcelo. Dinamometría. Oil production.net

**2.2.1 Problemas comunes.** Con base en el comportamiento del sistema, existen cartas de referencia que permiten un diagnóstico de posibles problemas (ver Figura 20).

**Figura 20.** Cartas dinamométricas de referencia



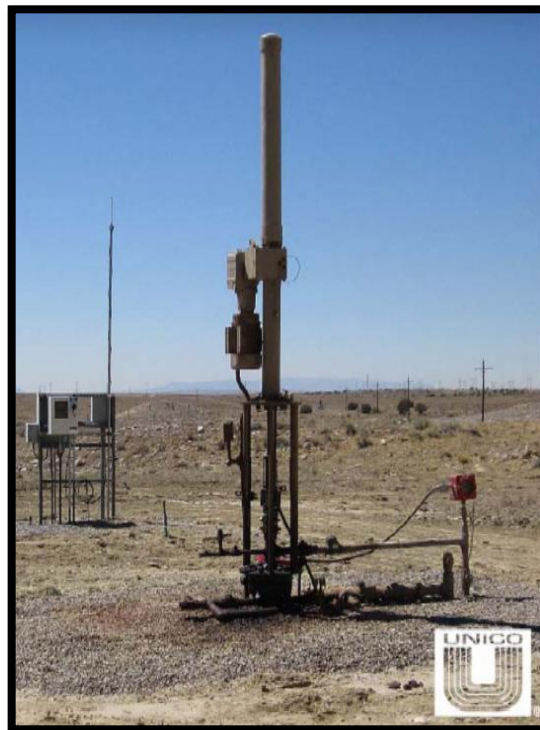
**Fuente** Hirschfeldt Marcelo. Dinamometría. Oil production.net

### 3. UNIDADES NO CONVENCIONALES DE BOMBEO MECÁNICO

Para la realización de este proyecto se tienen en cuenta propuestas comerciales de unidades de bombeo no convencionales, el estudio se basa en un diseño ya establecido de subsuelo con cada uno de sus componentes tal y como están, para realizar una comparación más exacta con las condiciones a la que operan las unidades de bombeo mecánico convencionales presentes en el campo La Cira-Infantas.

#### 3.1 UNIDAD LONG ROD PUMP (LRP, UNICO)

**Figura 21.** Ejemplo de Unidad LRP UNICO.



**Fuente:** Presentación tecnologías UNICO

Consiste en una unidad electromecánica que reemplaza a la unidad de bombeo balancín en un pozo con método de levantamiento artificial bombeo mecánico. Un drive Único con el software Inteligente Fill Pump controla a un motor de inducción que transmite potencia a una caja de engranajes y a su vez ésta permite un movimiento de vaivén (ascendente y descendente) vertical a la sarta de varillas, conectada a través de la Barra Pulida en su tope. (Ver **figura 21**)

Esta unidad se ha instalado comúnmente en pozos de bombeo mecánico donde el uso del Balancín resulta costoso y requiere gran inversión para las facilidades. El sistema de Bombeo LRP ofrece un control total importante sobre la superficie y el fondo del pozo así como las condiciones de bombeo. Esto permite que se pueda operar el sistema con la máxima eficiencia y a su vez reducir los costos de los insumos eléctricos. El sistema de bombeo mecánico convencional puede presentar baja eficiencia causada por la carga del motor cíclico, las cargas por mal uso del motor y de un sistema de equilibrio inadecuado, en cuanto a la unidad LRP, esta puede abordar los problemas de baja eficiencia mediante la mejora de carga del motor y la eliminación de equilibrio del sistema.

La unidad LRP incluye una barra lineal adaptada para la conexión un mecanismo de bombeo y cremallera, un piñón y una barra pulida en la parte superior de una cadena. La cremallera de la unidad se adapta a la conexión y el movimiento de la barra pulida. El piñón es impulsado por un motor reversible que traslada la barra para arriba y hacia abajo, sin afectar el movimiento alternativo de la cremallera y el mecanismo de bombeo. Algunas formas de invención incluyen una unidad electrónica configurada para tratar la energía eléctrica generada por el motor durante el ciclo de bombeo.

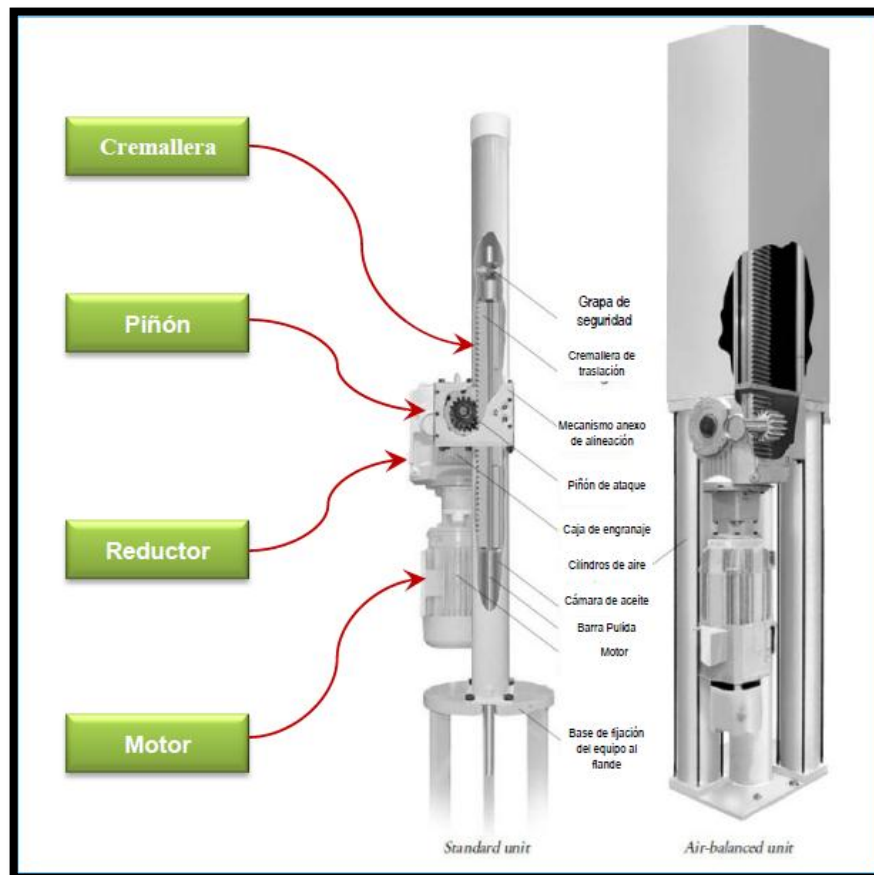
Usa contrapesadas si es necesario, la carga puede ser compensada mediante un cilindro de aire a través de la cual la barra pulida está roscada. El control LRP

incorpora una función de freno que se acciona de manera externa para evitar que la barra se mueva cuando se pierde el poder o cuando el motor está apagado.

### 3.1.1 Componentes de la unidad LRP

La unidad LRP está formada por 4 componentes principales que son: Cremallera, piñón, reductor y motor, descritos en la **figura 22**, Todos los componentes de una unidad LRP se pueden apreciar en el **anexo A.1**

**Figura 22.** Componentes principales de la unidad LRP



**Fuente:** Presentación tecnología UNICO

**Cubierta superior de la Unidad:** Esta carcasa tiene como función proteger el sistema de las condiciones atmosféricas, está ubicada en la parte superior de la unidad, puede ser de policloruro de vinilo (PVC) o metálica y se acopla al equipo de manera roscada.

**Grampa de seguridad:** Se encuentra en la parte superior de la cremallera de traslación sujeta con dos tornillos, su función es sujetar la barra pulida soportando el peso total de la sarta varillas.

**Sensor de proximidad:** Se encuentra ubicado a un lado de la cremallera de traslación y su función principal es enviar una señal digital al variador de frecuencia indicando si el movimiento es ascendente o descendente en cada ciclo.

**Mecanismo Anexo de alineación:** Mantiene alineada la cremallera de traslación en su movimiento ascendente y descendente.

**Motor de inducción:** Tiene como función generar la potencia motriz del sistema, es la máquina encargada de transformar la energía eléctrica de entrada en la energía mecánica que acciona la caja de engranaje propiciando el movimiento recíprocante.

**Piñón de Ataque:** Es una rueda dentada con forma cilíndrica que describe un movimiento de rotación alrededor de su eje.

**Cremallera de traslación:** Es una barra dentada de alta resistencia que trabaja acoplada al piñón de ataque para producir el movimiento ascendente y descendente de la barra.

**Cubierta externa:** Esta cubierta envuelve la cremallera de traslación, el aceite lubricante, aísla los elementos de los agentes externos y sirve de soporte a todo el peso del sistema.

**Cubierta interna:** Se encuentra en la parte interna del sistema entre la cremallera de traslación y la barra pulida, sirve de guía a la barra pulida del pozo proporcionándole un camino estable y sin movimiento transversal, además de conformar junto con la cubierta externa la cámara de aceite del sistema.

**Barra Pulida:** Es una barra de material muy resistente, generalmente con una cubierta de cromo (como protección contra la corrosión); se encarga de soportar el peso de la sarta de varillas, de la bomba y del fluido dentro de la tubería.

**Centralizador de la barra pulida:** Es una pieza de bronce que se ubica en el inferior de la unidad para minimizar el roce con la barra pulida, evitando desgaste prematuro tanto en la barra como de la cubierta interna, además de esto el centralizador como su nombre lo indica alinea de manera conveniente la barra pulida dentro de la unidad.

**Reductor:** Es un grupo de engranajes con el que se consigue mantener la velocidad de salida deseada para el correcto funcionamiento del sistema.

**Resorte:** Se encuentra en la parte inferior de la cámara de aceite y su función principal es amortiguar el impacto de la cremallera de traslación con la parte inferior de la unidad cuando exista una pérdida de la energía de entrada del sistema.

**Tapón de drenaje:** Es un orificio de ½ pulgada por donde se drena el fluido de la cámara de aceite, al momento de realizar el mantenimiento preventivo o correctivo de la unidad.

**Base de fijación del equipo a la brida:** Sirve para acoplar la unidad LRP a la base soporte de la unidad; está ubicada en la parte inferior de la cámara de aceite y se conforma de una lámina de  $\frac{3}{4}$  pulgada de espesor que contiene algunos orificios que sirven de guía y sujeción.

**Base soporte de la unidad:** Permite posicionar la unidad al cabezal del pozo adaptándose a los diferentes diseños existentes de cabezales. Está constituido por dos láminas de  $\frac{3}{4}$  y/o 1 pulgadas las cuales poseen los orificios necesarios para unirse a la base de fijación del equipo en su parte superior y al casing del pozo en la parte inferior.

**Driver:** Se Puede decir que el corazón de la unidad LRP es el Controlador. (Ver **figura 23**) Este componente genera el movimiento reversible del motor y controla la posición y velocidad de la Cremallera, El variador de frecuencia permite optimizar sistemas de levantamiento artificial por BM, controlando la velocidad del motor/unidad en función del límite de llenado de la bomba, a partir del análisis de torque y corriente, por lo tanto, es posible entonces ajustar la velocidad de la bomba en su carrera ascendente y descendente, disminuyendo problemas como: interferencia por gas, flotación de varillas, entre otros; optimizando la producción de petróleo.

Basado en la reprogramación del deslizamiento del motor y en la posición y el cálculo de carga máxima sobre la barra pulida, el variador es capaz de detectar cuando existe flotabilidad de varillas, y puede ser pre-programado con valores máximos y mínimos sobre ésta, para evitar sobrecargas de la caja de engranaje y/o sarta de varillas, escenarios no recomendados para estos componentes del sistema.

**Figura 23.** Controlador de la unidad LRP (Driver)



**Fuente:** Presentación tecnologías UNICO

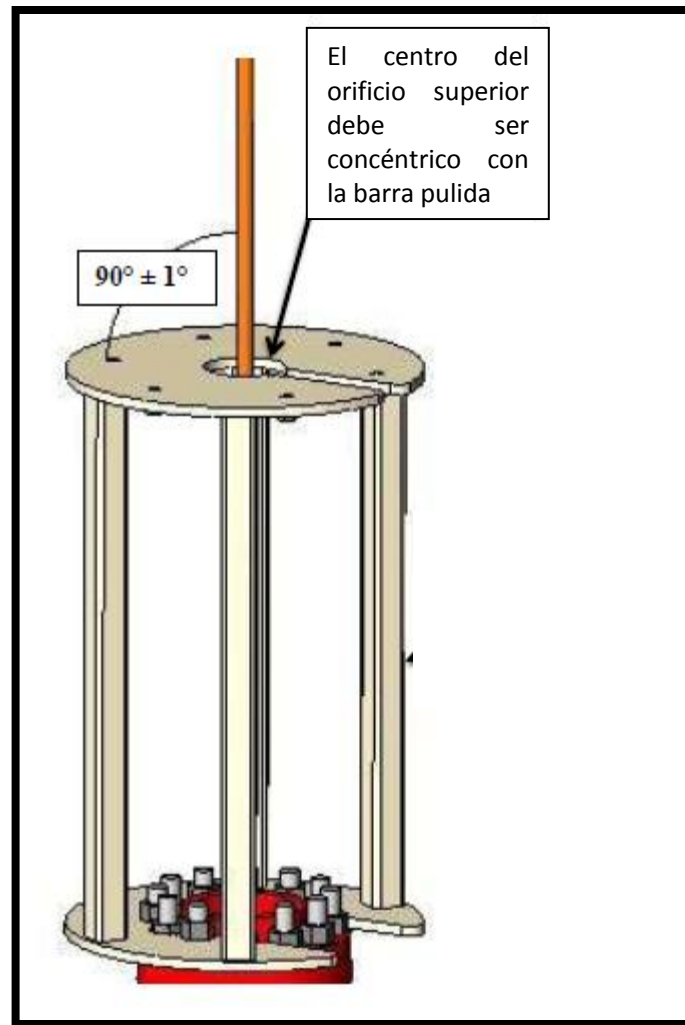
### **3.1.1 Funcionamiento de la Unidad LRP**

La unidad de bombeo se monta directamente en el pozo, la barra pulida pasa por el canal interior de la cremallera, quien es la encargada de suministrarle el movimiento ascendente y descendente. La barra flota en el interior de la cremallera en caso de que la bomba o la sarta de varillas se peguen o en su defecto la fuerza de empuje del fluido en el pozo la obligue a moverse más lenta que la cremallera. El motor de inducción acoplado a la caja de engranaje, junto al sistema de piñón/cremallera mueven la sarta de varillas arriba y abajo, tiempo durante el cual la barra pulida es lubricada en cada ciclo en la cámara de aceite, permitiendo de esta manera un trabajo, eficiente, seguro y bajo en consumo energético.

### **3.1.3 Instalación de la unidad LRP**

El primer paso para la instalación de la unidad LRP, es asegurarse que al levantar la unidad a su posición de operación (vertical) sea concéntrica y perpendicular a la barra pulida como se observa en la **figura 24**

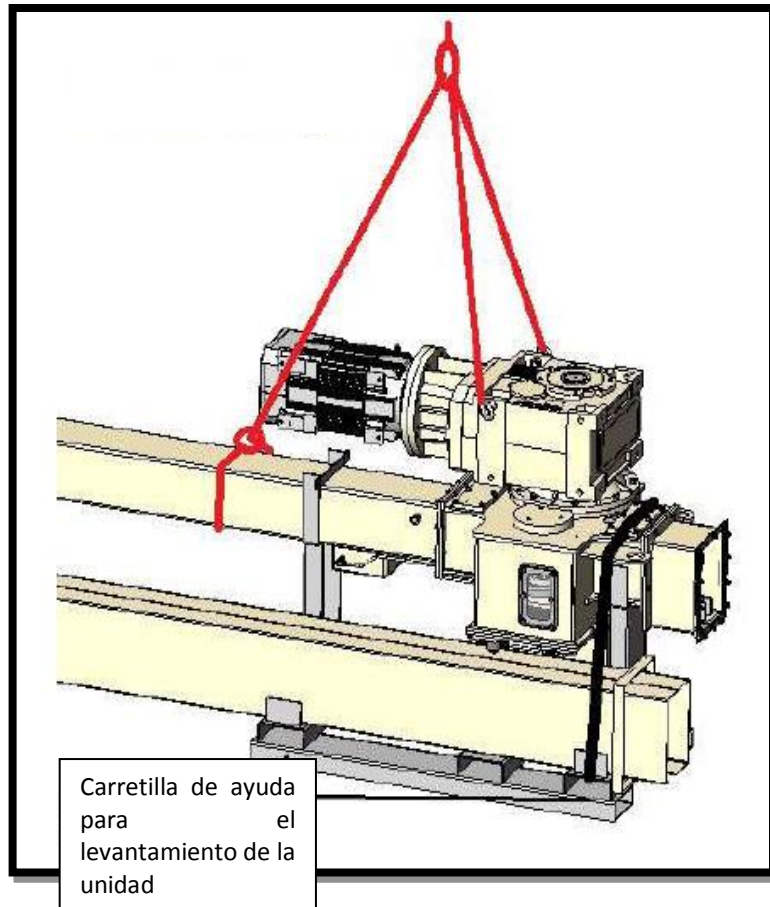
**Figura 24.** Posición correcta de la barra pulida en la unidad LRP



**Fuente:** LRP, linear rod pump, mechanical manual. UNICO 2013

La instalación se puede realizar un brazo grúa que soporte el peso de esta unidad aproximadamente 6500 libras en los modelos más grandes, para ello la unidad posee 3 puntos principales de anclaje, y se puede apoyar en la parte inferior con una carretilla, como se observa en la **figura 25**

**Figura 25.** Puntos de anclaje de la unidad LRP



**Fuente:** LRP, linear rod pump, mechanical manual. UNICO 2013

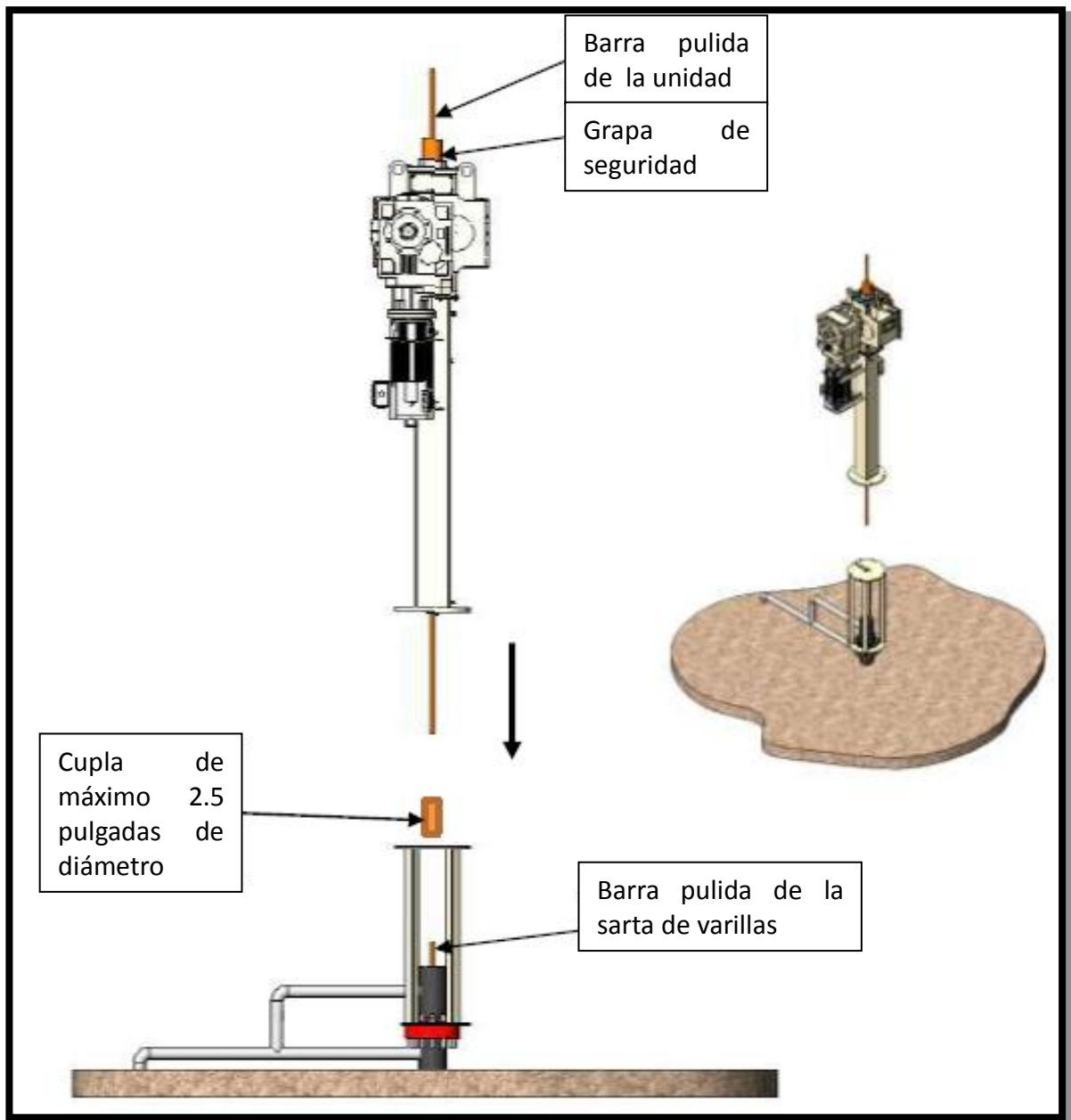
Para instalar la barra pulida de la sarta de varillas, se debe acoplar por medio de una cupla a la barra pulida de la unidad, dicha cupla debe tener menos de 2.5 pulgadas de diámetro para que pueda pasar libre por la parte baja de la unidad, la parte superior de la barra pulida se asegura con una grampa. Ver **figura 26**

La conexión de la unidad se hace directamente a la cabeza del pozo, se debe tener en cuenta que la barra pulida sea concéntrica con el orificio central de la unidad y que el soporte de la unidad corresponda con el diámetro de la brida en la cabeza del pozo.

La unidad necesita ser llenada con aceite en 2 lugares, en la base donde se logra el baño de aceite de la cremallera que tiene contacto con la barra pulida de la unidad y el piñón de ataque, y en la caja reductora para su correcto funcionamiento puesto que existe un rozamiento constante de piezas mecánicas, por lo tanto este aceite se debe suministrar inmediatamente después de la instalación.

Por último se coloca el tope de la unidad que es una carcasa metálica que protege a la unidad del medio ambiente que la rodea, en la **figura 27** se da un ejemplo de una unidad LRP correctamente instalada.

**Figura 26.** Instalación de la barra pulida de la sarta de varillas y la barra pulida de la unidad LRP



**Fuente:** LRP, linear rod pump, mechanical manual. UNICO 2013

**Figura 27.** Unidad LRP correctamente instalada



**Fuente:** LRP, linear rod pump, mechanical manual. UNICO 2013

### 3.1.4 Mantenimiento de la unidad LRP.

**Cambio de aceite:** en cuanto al aceite de la caja reductora se recomienda analizar el tipo de aceite si es mineral o sintético y la temperatura al que esta expuesto, como se observa en la **tabla 8**

**Tabla 8.** Periodo de tiempo para el cambio de aceite en la caja reductora

TEMPERATURA DEL ACEITE °C (°F)	PERIODO DE TIEMPO PARA EL CAMBIO DE ACEITE (Horas)	
	ACEITE MINERAL	ACEITE SINTETICO
<65 (< 150)	8000	25000
65-80 (150 - 175)	4000	15000
80-95 (175 - 200)	2000	12500

**Fuente:** LRP, linear rod pump, mechanical manual. UNICO 2013. Modificada por el autor

Con respecto al aceite de la base de la unidad que lubricará la cremallera y el piñón de ataque se aconseja que se cambie cada 6 meses. En la **tabla 9** se muestra el mantenimiento semanal, semestral y anual que se debe realizar a la unidad LRP.

**Tabla 9.** Mantenimiento típico de la unidad LRP

MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD LRP	
MANTENIMIENTO SEMANAL	Revisión de fugas de aceite
	Revisión del nivel de aceite
	limpieza general , aceite , grasa y suciedad externa
MANTENIMIENTO SEMESTRAL	Cambio de aceite de la base de la unidad
	Cambio de aceite en la caja reductora
	Inspección visual del piñón de ataque, cremallera, recubrimiento exterior y de las piezas mecánicas en general
	Revisión del freno, sellos, y disponibilidad de este.
MANTENIMIENTO ANUAL	verificar si las piezas mecánicas de la unidad se están lubricando correctamente
	Se recomienda revisar las partes mecánicas de la unidad, los dientes de los engranajes y cremalleras, si alguno esta defectuoso se recomienda cambiar, (en el <b>anexo A</b> se puede observar las piezas mecánicas que componen la unidad LRP)

**Fuente:** LRP, linear rod pump, mechanical manual. UNICO 2013. Modificada por el autor

### 3.1.5 Modelos de las unidades LRP

La combinación de diferentes longitudes de cremalleras, cajas reductoras, motores y driver hace de la unidad LRP un equipo muy flexible, en la **tabla 10**, podemos observar las capacidades en cuanto a carga.

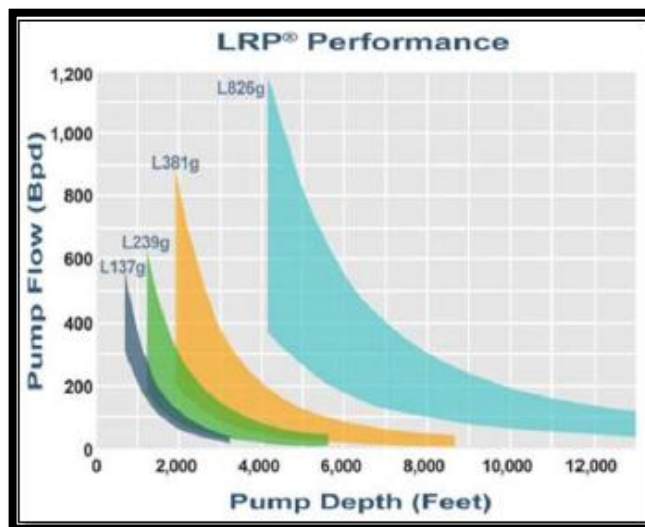
**Tabla 10.** Capacidades de modelos de unidades LRP existentes

MODELO	MAXIMA LONGITUD DE CARRERA (in)	CARGA (lb)	VELOCIDAD DE LA BOMBA (spm)
L073g-mmmm-020	20	4000	0.5-25.0
L073g-mmmm-032	32	4000	0.5-25.0
L137g-mmmm-032	32	7000	0.5-25.0
L239g-mmmm-032	32	12000	0.5-25.0
L381g-mmmm-044	44	20000	0.5-25.0
L381g-mmmm-056	56	20000	0.5-21.4
L381g-mmmm-064	64	20000	0.5-18.8
L381g-mmmm-086	86	20000	0.5-14.0
L826g-mmmm-086	86	30000	0.5-21.0
L826g-mmmm-100	100	30000	0.5-18.0

**Fuente:** Presentación tecnologías UNICO

Para garantizar el desempeño óptimo de una unidad LRP, existe una ventana de operación basada en 2 variables que son el caudal de producción en BFPD y la profundidad de la bomba en pies, con las cuales podemos determinar el torque nominal de la unidad y el respectivo modelo disponible, como se observa en la **figura 28**.

**Figura 28.** Ventana operacional de la unidad LRP



**Fuente:** Presentación tecnologías UNICO abril de 2013

Cada uno de los modelos existentes de unidades LRP, están regidos por una nomenclatura dada por la compañía UNICO la cual se explica a continuación:

**LRP Modelo: L381C-324S-056**

**L:** Hace referencia al Sistema Linear Rod Pump.

**381:** Se multiplica x 100= 38100 y da como resultado el torque nominal en lbs-pulgadas.

**C:** Es la relación de la caja de engranajes (Vel.Motor / Vel.Salida Caja) = Unit Gearbox Ratio. C: 24,75; A: 11,99; B: 18,96

**324S:** Se refiere al tipo o 'frame' del motor. En este caso es un motor estándar (S) de 40 Hp.

**056:** Hace referencia a la longitud máxima de carrera en pulgadas.

### **3.1.6 Ventajas**

- Menor costo que una unidad de bombeo (balancín) equivalente
- Espacio físico reducido
- Fácil de transportar
- Fácil de instalar, reparar y remover
- Mantenimiento Sencillo y sin grandes maquinarias
- No requiere losa ni bases asociadas (Placa para colocar Balancín), debido a que se instala sobre la cabeza de pozo.
- Bajo consumo de energía.
- Ideal para áreas pobladas (sin ruidos molestos), adaptable al ambiente natural
- Control de posición y velocidad variable
- Facilita la entrada de un equipo de servicio a pozo, debido a que no ocupa mucho espacio y se desinstala en menos de 2 horas

### 3.2 UNIDAD DE BOMBEO HIDRONEUMÁTICA DE VELOCIDAD VARIABLE (VSH2, WEATHERFORD)

**Figura 29.** Ejemplo de Unidad VSH2



**Fuente:** Presentación de unidades no convencionales WEATHERFORD, Cristian Mateus Febrero de 2012

La unidad VSH2 es una unidad de bombeo alternativo en el movimiento de varillas, su principio de funcionamiento es sobre la base de presiones hidráulicas compensadas por la compresión y expansión del nitrógeno, que se encuentra dentro de un acumulador que soporta 2/3 de la carga total de la barra pulida y reemplaza a las contrapesas de una unidad de bombeo mecánico convencional, (ejemplo de unidad VSH2 **figura 29**)

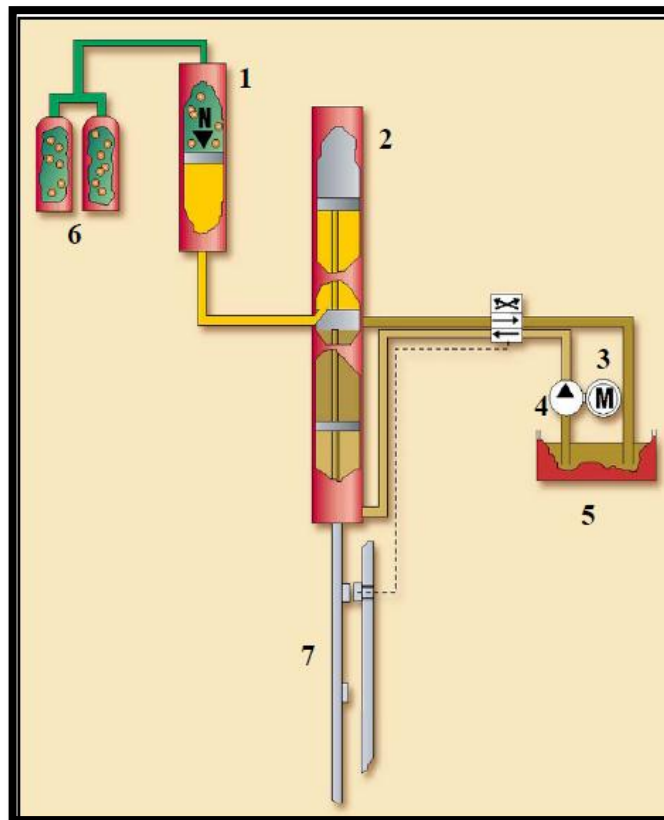
Con el principio de la hidroneumática se pueden levantar cargas de hasta 40.000 libras en la barra pulida, con una carrera máxima de 120" y hasta 8 SPM.

Estas 2 últimas variables pueden ser modificadas según la necesidad en solo minutos y con la manipulación de un operario. Esta unidad se caracteriza por la rapidez de su montaje y desmontaje entre 1-1/2 y 2 horas, con la opción además de cambiar condiciones de bombeo en solo minutos.

### 3.2.1 Componentes principales de la unidad VSH2

La unidad VSH2 consta de las siguientes partes, las cuales se muestran en la figura 30.

**Figura 30.** Componentes principales de una Unidad VSH2



**Fuente:** Modón. Alberto Marcelo. VSH2 Unidad de bombeo hidroneumática de velocidad variable. Repsol-YPF. Mendoza, Argentina 2013

- 1- Acumulador (Acc):** Es un cilindro con un pistón flotante en su interior en el cual actúan aceite hidráulico (en la parte inferior) y nitrógeno (en la parte superior). El nitrógeno provee la presión necesaria para amortiguar el peso en la carrera descendente y aportar potencia hidráulica en la carrera ascendente, generando el efecto de los contrapesos de los equipos individuales de bombeo, por lo que soporta hasta  $2/3$  de la carga total de la barra pulida. El acumulador debe alcanzar una presión de 1500 psi cuando las 4 botellas estén conectadas a la entrada.
  
- 2- Cilindro actuador (CA):** Es un cilindro con dos pistones soldados a una barra pulida, estos pistones generan tres cámaras en las cuales actúa aceite hidráulico.
  
- 3- Motor:** Este puede ser eléctrico de 380 Voltios, 50 y/o 70 HP (caballos de fuerza). También las unidades pueden venir provistas con motores a combustión, diesel o gas. La demanda del motor es cíclica, es decir, la demanda de potencia es alta durante el recorrido ascendente cuando la sarta de varillas y el peso de fluido han sido levantados y prácticamente no se requiere entrada de potencia durante el recorrido descendente, cuando las varillas caen por su propio peso.
  
- 4- Bomba hidráulica:** Las unidades vienen provistas con bombas de 130 cc (centímetros cúbicos), con simple bomba o con doble bomba de 75cc, esto depende de los requerimientos de producción, se encarga de aportar la potencia necesaria por debajo del segundo pistón en la carrera ascendente y por encima en la carrera descendente. El sentido del empuje del aceite hidráulico sigue la dirección que le indique la servo válvula ubicada en la bomba, la cual recibe señales de los sensores de proximidad ubicados en el pedestal, cambiando con esto el sentido de la carrera.

- 5- Tanque de aceite hidráulico:** En este tanque se almacena el aceite hidráulico y posee una capacidad de 360 litros, se recomienda que la temperatura de este nunca exceda los 150 °F.
- 6- Botellas de nitrógeno:** Son 4 botellas con carga de Nitrógeno ( $N_2$ ), para llenarlas, se deben cerrar las válvulas de los cilindros y el alimentador del acumulador, conectar la nueva fuente de  $N_2$  a una de las botellas hasta su llenado, después se debe repetir este procedimiento con las botellas restantes y por último, abrir las 4 válvulas para igualar las presiones alrededor de 1500 psi.
- 7- Pedestal:** Es un acople mecánico de 7 metros de altura, que guía el movimiento ascendente- descendente suministrado por el cilindro No.2 En el pedestal, se alojan los sensores de proximidad para el cambio de dirección de la carrera y el carro colgador que está unido en uno de sus extremos por la barra pulida del CA y en su otro extremo por la carga de la barra pulida.

En el pedestal se acopla el cilindro actuador dando una altura total de 13 metros para las unidades 120". Este pedestal es roscado a la 'T' de producción en la boca de pozo y mantiene su posición vertical por medio de la sujeción de cuatro vientos regulables.

### **3.2.2 Funcionamiento de la unidad VSH2**

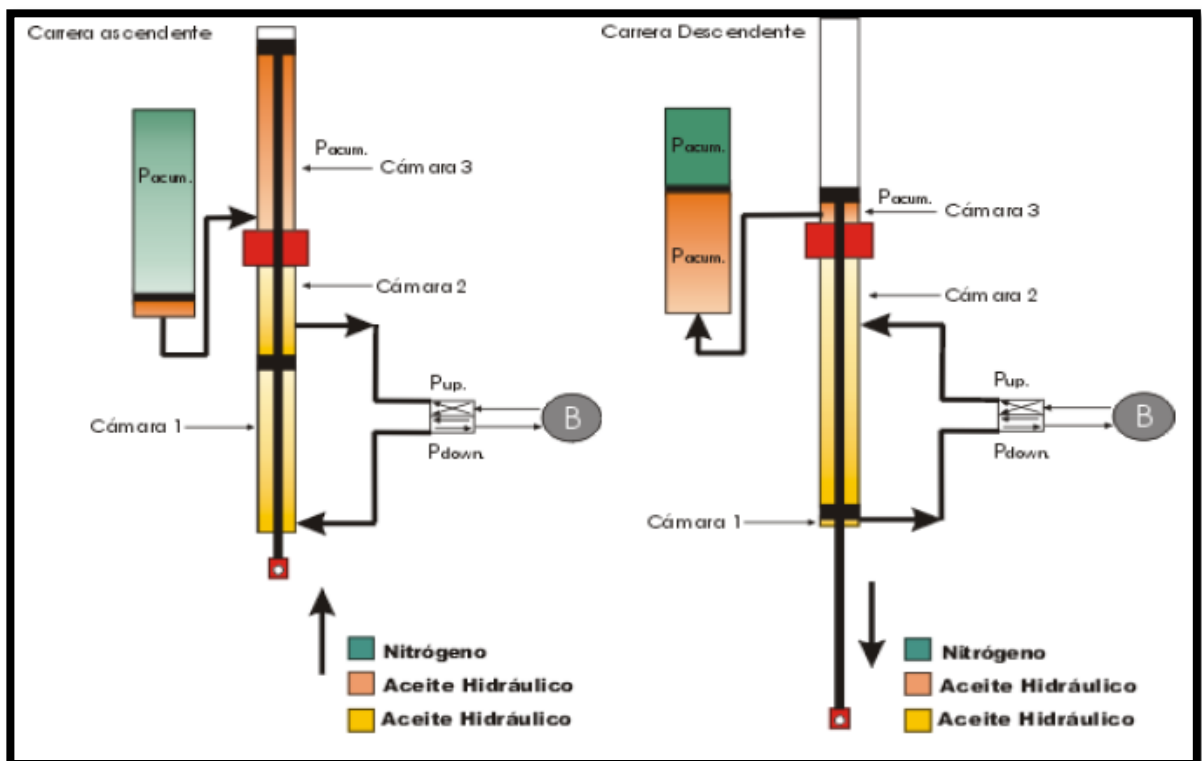
El  $N_2$  empuja hacia abajo el pistón flotante del Acc, éste presiona el aceite hidráulico a circular hacia la cámara superior del CA, al mismo tiempo la bomba hidráulica llena con aceite la cámara inferior del CA y de esta forma es levantado la barra pulida, esto es hasta que el carro colgador da lectura del sensor superior para finalizar la carrera ascendente. El sensor superior emite una señal la cual

genera un cambio de dirección del fluido hidráulico proveniente de la bomba hidráulica, esto se realiza por medio de una electro-válvula.

Al invertir la circulación del fluido hidráulico comienza a llenar la cámara intermedia del CA obteniendo que el vástago pulido comience a descender. El fluido hidráulico de la cámara superior del CA que provenía del Acc, comienza a ingresar nuevamente al Acc, comprimiendo el N2. Ver **figura 31** carrera ascendente y descendente de la unidad VSH2

La carrera descendente llega a su fin cuando el carro colgador da lectura del sensor inferior, el cual emite una señal que realice la carrera ascendente.

**Figura 31.** Carrera ascendente y descendente de la unidad VSH2

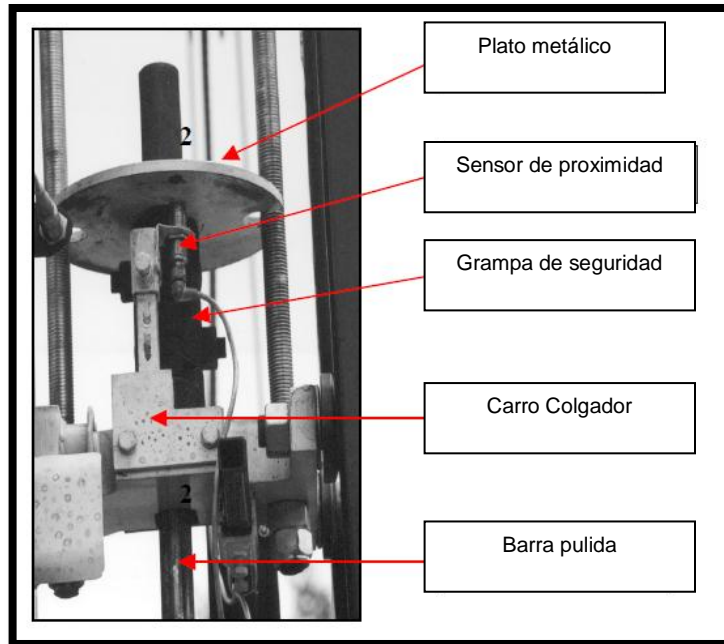


**Fuente:** Modón. Alberto Marcelo. VSH2 Unidad de bombeo hidroneumática de velocidad variable. Repsol-YPF. Mendoza, Argentina 2013

### **Sistemas de seguridad:**

- Sensor de separación del vástago pulido: Este sensor está montado en el carro colgador que se desliza por el pedestal. Estos sensores son magnéticos por lo que se coloca un disco de metal sobre la grampa superior para que el sensor esté actuando permanentemente, en el caso de que la barra pulida se detenga la separación del sensor y el plato no será la misma lo cual parara la unidad hasta que la distancia del sensor-plato se restablezca. (ver **figura 32**)
- En el caso de que la barra pulida retome su posición, el sensor mide su señal y la unidad continua su normal funcionamiento. Este inconveniente con la barra pulida queda registrado en el tablero de comando por medio de una luz roja. (ver **anexo A.2**)
- Limitador de presión: su función es regular la presión según la carga a levantar.
- Sensor de nivel de fluido hidráulico: está dispuesto en el interior del tanque de almacenaje, este mide el nivel, cuando el nivel no es el seguro para la operación de la unidad esta se detiene.
- Un sensor de temperatura registra la misma dentro del tanque de almacenaje de fluido hidráulico, la temperatura no debe exceder los 65°C, en tal caso se detendrá la unidad.

**Figura 32.** Sensor de separación de la barra pulida



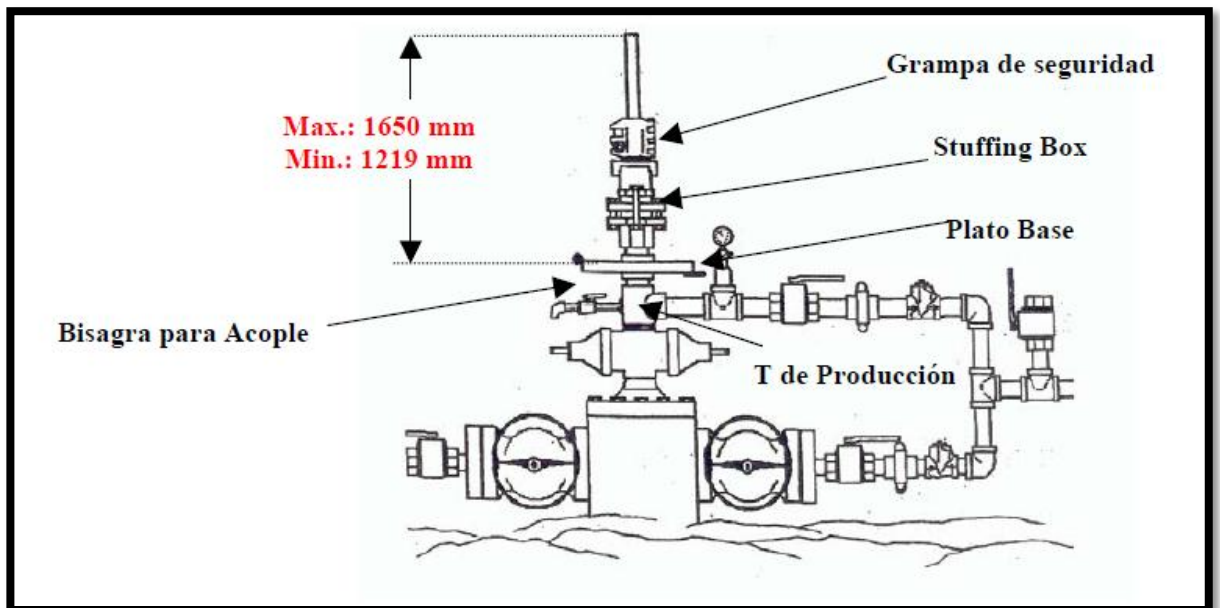
**Fuente:** Modón. Alberto Marcelo. VSH2 Unidad de bombeo hidroneumática de velocidad variable. Repsol-YPF. Mendoza, Argentina 2013

### 3.2.3 Instalación de la unidad VSH2

La instalación de la unidad VSH2 se lleva a cabo en 1 ½ a 2 horas, este tiempo toma el montaje de la unidad y su puesta en producción. Con el equipo en la locación del pozo se procede al levantamiento de la torre con la ayuda de una grúa, se fijan los vientos de la torre y se procede a la nivelación de la misma.

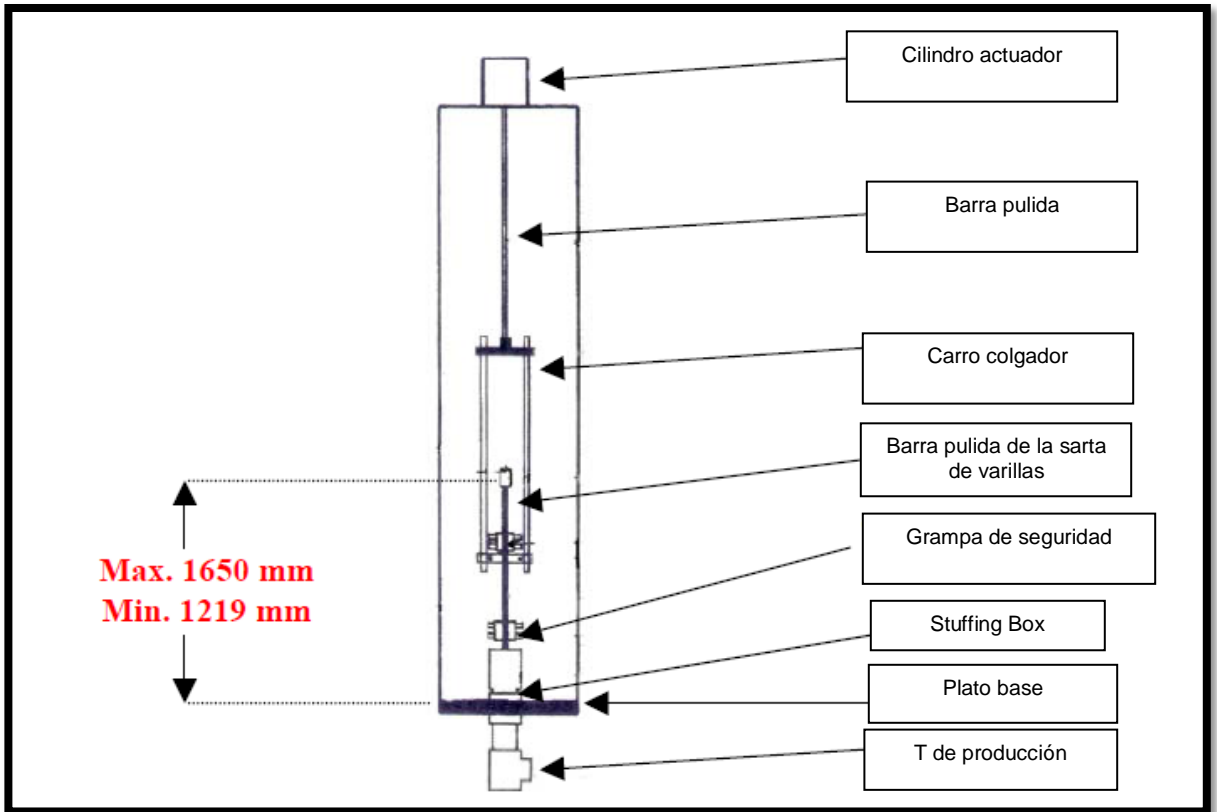
Con la torre en su posición de operación se procede a realizar el acople de la barra pulida al carro colgador y a la unión de las mangueras del pedestal con la unidad de poder. Dependiendo de las cargas y de la producción a extraer, se cargan las botellas de N<sub>2</sub>. Al tener todo acoplado, se efectúa el balanceo de las cargas del Acc. En la **figura 33** se muestra un ejemplo con la disposición de la boca de pozo, y en la **figura 34** con las medidas para el acople del carro colgador a la barra pulida.

**Figura 33.** Instalación de la unidad VSH2 en la cabeza del pozo



**Fuente:** Modón. Alberto Marcelo. VSH2 Unidad de bombeo hidroneumática de velocidad variable. Repsol-YPF. Mendoza, Argentina 2013

**Figura 34.** Instalación de una unidad VSH2



**Fuente:** Modón. Alberto Marcelo. VSH2 Unidad de bombeo hidroneumática de velocidad variable. Repsol-YPF. Mendoza, Argentina 2013

### 3.2.4 Mantenimiento de la unidad VSH2

Para las unidades nuevas, se recomienda el cambio del aceite y el filtro al cabo de los tres meses de funcionamiento, esto es por una razón de desgaste de los elementos hasta su asentamiento. Para las unidades usadas es conveniente la revisión del aceite dos veces por año donde se controlan las propiedades de aceite, el filtro se cambia si se cambia el aceite.

Con los demás componentes es muy importante la limpieza de las uniones de las mangueras, ya que es sumamente destructiva toda partícula sólida que pudiera ingresar a la bomba hidráulica. El resto de la unidad, como son el Acc y el CA

tienen el mantenimiento que tendría un cilindro hidráulico, con precauciones sencillas como las siguientes:

- Lubricar con aceite hidráulico limpio las juntas y conectores antes de usarlos.
- Comprobar la presión de funcionamiento del Circuito Hidráulico para evitar sobrepresiones.
- Comprobar el apriete de los conectores hidráulicos del Cilindro para evitar fugas.
- Limpiar la suciedad del vástago, usando fuelles en instalaciones en zonas de polvo o suciedad alta.
- Mantener el Aceite Hidráulico en perfectas condiciones.

En resumen la compañía Weatherford, recomienda el siguiente mantenimiento:

- Cambiar el filtro hidráulico cada seis meses(primer cambio a los 3 meses)
- Inspeccionar y ajustar conexiones cada mes.
- Tomar muestras de aceite hidráulico al menos una vez al año para realizar pruebas de integridad.
- Engrase de motor cada 5 meses.

### 3.2.5 Modelos disponibles de la unidad VSH2

Las unidades están disponibles en tres tamaños dependiendo de la carga máxima a levantar y de la carrera máxima. Las principales características de cada modelo están detalladas en la **tabla 11**

**Tabla 11.** Modelos de la unidad VSH2

	MODELOS		
	60	120	150
<b>Carrera máxima (in)</b>	60	120	150
<b>Carrera mínima (in)</b>	24	52	72
<b>Velocidad máxima (SPM)</b>	9	8	7
<b>Máxima carga (Lb)</b>	35000	40000	40000
<b>Altura máxima de la torre (in)</b>	300	492	510

**Fuente:** Modón. Alberto Marcelo. VSH2 Unidad de bombeo hidroneumática de velocidad variable. Repsol-YPF. Mendoza, Argentina 2013

### 3.2.6 ventajas

- Bajo costo de mantenimiento.
- Menor consumo de energía por su sistema de Contrabalanceo (2/3) con respecto al total de la carga soportada.
- Rapidez y facilidad de montaje, con mínimos costos de transporte y preparación de la locación.
- Longitudes de carrera fácilmente modificables con velocidad variable para ambas carreras.
- Velocidad constante, disminuye esfuerzos en la sarta de varillas.
- Versatilidad para acomodarse a una amplia variedad de pozos.

### 3.3 UNIDAD HIDRONEUMÁTICA (MORLIFT TDA SUPPLY & SERVICE S.A.)

**Figura 35.** Ejemplo de una unidad morlift por NVO en un campo canadiense



**Fuente:** Morlift brochure NVO monoflo 2012

Es una unidad de alto rendimiento, ideal para todas las aplicaciones de petróleo y gas. El sistema de bombeo hidráulico que funciona en conjunto con el sistema de nitrógeno reduce la fluctuación de la carga, reduciendo así la presión sobre el motor y el sistema hidráulico. Con una capacidad de elevación de hasta 40.000 libras, la unidad Morlift puede producir desde una profundidad de 2.500 m y puede producir hasta 630 barriles por día. El sistema de nitrógeno permite contrarrestar el bombeo de menor potencia, que a su vez aumentan la eficiencia de combustible, (ejemplo de unidad Morlift **figura 35**)

### **3.3.1 Componentes de la unidad Morlift**

Los componentes principales de la unidad Morlift son muy similares a los de la unidad VSH2 ya que ambas son unidades hidroneumáticas, el aceite hidráulico es enviado desde el patín de nitrógeno y el patín hidráulico ( ver **anexo A.3 y A.4**) es el encargado de la fuerza necesaria de contrabalanceo, el controlador de la unidad es un driver Fill pump como el de la unidad LRP, las principales diferencias radican en la el funcionamiento y en la forma como trabajan dichos componentes según la operación requerida como se explica a continuación:

**Contrabalanceo:** La unidad realiza el contrabalanceo por medio de 4 acumuladores de nitrógeno que son precargados según la configuración del pozo y que generan energía adicional al aceite hidráulico que accionan los cilindros de doble acción. Adicionalmente, este contrabalanceo reduce el consumo de energía eléctrica debido a que en el momento de realizar los cambios de recorrido se generan picos importantes que son asumidos por los acumuladores de nitrógeno.

**Fuente de Energía:** La unidad es ofrecida con un motor eléctrico de 75 hp debidamente acoplado a la bomba hidráulica y con los elementos propios para el funcionamiento y control del mismo.

**Transductor Linear de Posición (LTD):** Se ajusta por medio de voltaje para indicar la posición mínima y máxima deseada de carrera. En todo momento del recorrido de la sarta muestra la longitud de carrera. (Ver **figura 36**)

**Figura 36.** Transductor lineal de posición (LTD)



**Fuente:** Presentación unidad Morlift, TDA Supply and service S.A

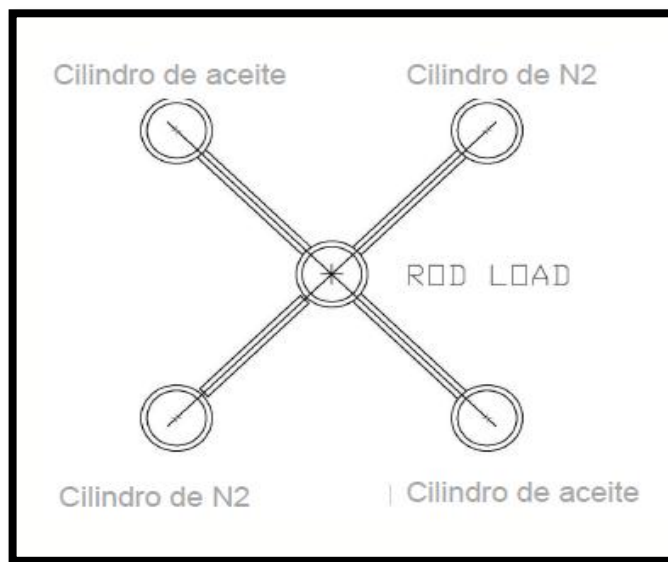
**Controlador (HPC):** Gracias a los transductores que monitorean la carga de la bomba y la carga generada por los acumuladores de nitrógeno, el HPC permite monitorear los comportamientos actuales del pozo y del completamiento. Igualmente, gracias a su teclado, el HPC permite modificar múltiples parámetros de funcionamiento (SPM, recorrido, punto máximo-mínimo de recorrido, entre otros). Funciones adicionales como lo son el control de llenado de la bomba, control automático de velocidad, reinicio automático y la generación de cartas dinagráficas en tiempo real son ventajas que igualmente tiene el HPC por medio de su software de control. Todos estos reportes son fácilmente descargados a un notebook mediante un cable de comunicaciones de terminales RJ-45 permitiendo ser descargados en cualquier momento o enviados automáticamente vía web a cualquier destino previamente configurado.

### 3.3.2 Funcionamiento de la unidad Morlift

Como se dijo antes el principio de funcionamiento de las 2 unidades es el mismo ya que se busca un contrabalanceo de la carga que soporta la barra pulida con ayuda de la presión generada por el aceite hidráulico que proviene de 4 botellas cargadas de nitrógeno y del aporte de aceite hidráulico proveniente de un tanque de donde es bombeada a la unidad a través de mangueras que se conectan al mástil, la diferencia radica en que en la unidad VSH2 los 2 pistones forman 3 cámaras, en la superior actúa el nitrógeno y en las 2 inferiores el aceite hidráulico alternándose en las 2 cámaras dependiendo si la sarta de varillas está subiendo o bajando para cumplir el ciclo propio del bombeo mecánico.

En la unidad Morlift no se crean 3 cámaras, en cambio del patín de nitrógeno se envía aceite hidráulico gracias a la descompresión del nitrógeno a 2 cilindros puestos en el mástil y el patín hidráulico a los otros 2 como se observa en la **figura 37**, donde podemos observar la simetría de los 4 pistones y la carga de las varillas representando un patrón de 5 puntos.

**Figura 37.** Simetría de los 4 cilindros y la carga de las varillas

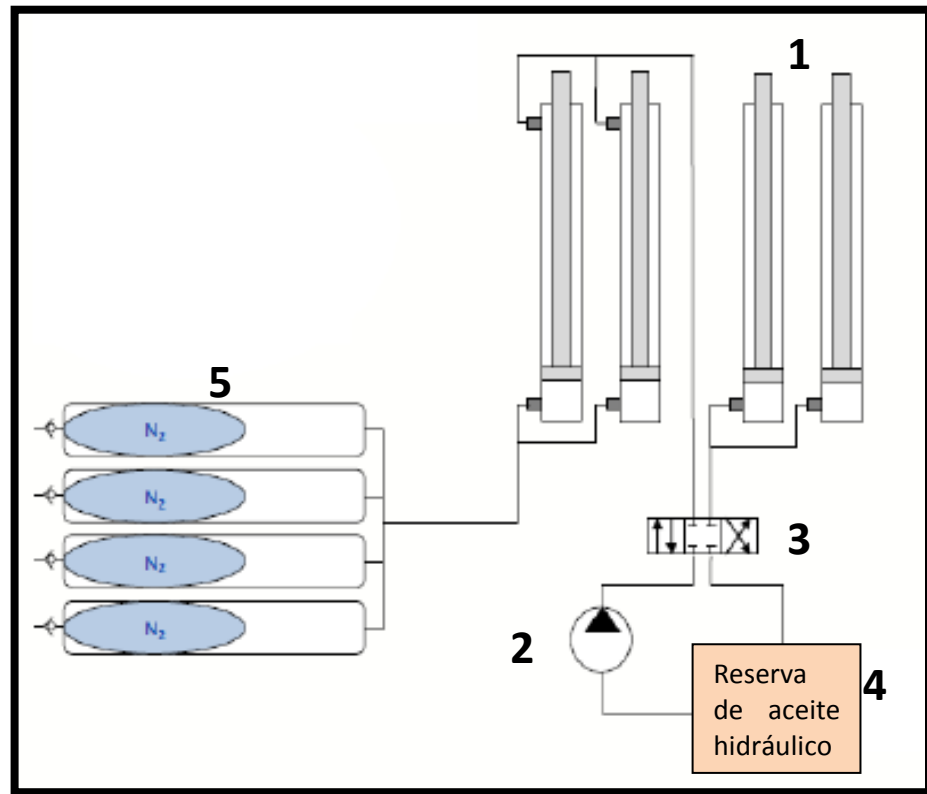


**Fuente:** Presentación unidad Morlift, TDA Supply and service S.A

Para comprender el funcionamiento de la unidad Morlift debemos considerar los siguientes 5 puntos de acción principales (ver **figura 38**):

- 1- Cilindro Hidráulico
- 2- Bomba hidráulica
- 3- Reserva de aceite hidráulico
- 4- Válvula proporcional
- 5- Reserva de nitrógeno

**Figura 38.** Funcionamiento de la unidad Morlift

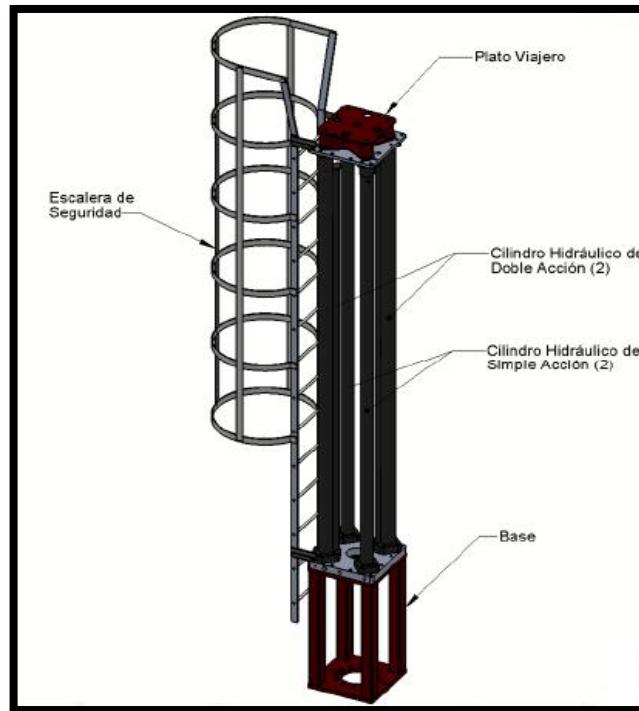


**Fuente:** Presentación unidad Morlift, TDA Supply and service S.A

La disposición de los 4 cilindros (ver **figura 39**) permiten que la unidad levante el plato viajero donde está sujeta la barra pulida y por lo tanto levantar la sarta de varillas cuando el sistema está en carrera ascendente de una manera uniforme gracias a la simetría de 5 puntos anteriormente mencionada, además dado que la

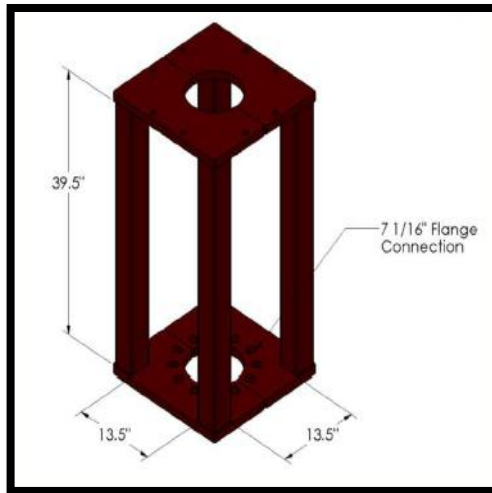
base de la unidad colocada sobre la brida del cabezal de producción tiene 42 pulgadas de altura (ver **figura 40**), permite alojar en su interior la grampa y el stuffing box que sujetan la barra lisa por lo que se pueden realizar operaciones de re-espaciamiento sin necesidad de retirar la unidad.

**Figura 39.** Mástil de la unidad Morlift



**Fuente:** Presentación unidad Morlift, TDA Supply and service S.A

**Figura 40.** Base de la unidad Morlift



**Fuente:** Presentación unidad Morlift, TDA Supply and service S.A

### 3.3.3 Mantenimiento de la unidad Morlift

El mantenimiento realizado a una unidad Morlift es similar a una unidad VSH2 puesto que ambas son unidades de bombeo mecánico hidroneumáticas, para ello se recomienda el mantenimiento dado en la **tabla 12** teniendo en cuenta los periodos de tiempo en que se deben realizar cada uno de ellos, (ver **anexo A.5 y A.6** para conocer el mantenimiento del patín hidráulico y el patín de nitrógeno para una unidad Morlift):

**Tabla 12.** Mantenimiento de una unidad Hidroneumática Morlift

REVISIÓN PERIODICA	
1	Revisión y ajuste de los niveles de aceite del sistema hidráulico
2	Revisión de fugas en el radiador del sistema hidráulico
3	Revisión de motor eléctrico (ruidos, funcionamiento, entre otros)
4	Revisión de instrumentos en caja de control del motor eléctrico
5	Revisión motor de 12 voltios, radiador y refrigeración del sistema hidráulico
MANTENIMIENTO DE 200 HORAS	
1	Lubricación del acoplamiento de estrangulación del sistema hidráulico
2	Inspección de cables del sistema LTD, recorrido del mástil
3	Inspección de cilindros y vástagos del mástil
4	Revisión del sistema eléctrico de la unidad
5	Revisión y limpieza exterior del radiador del sistema hidráulico

6	Lubricación de válvula reguladora del sistema hidráulico
<b>MANTENIMIENTO DE 400 HORAS</b>	
1	Cambio de filtro de aceite del depósito hidráulico
2	Revisión de nivel del aceite del sistema hidráulico
3	Verificación y corrección de fugas en los cilindros hidráulicos de la unidad
<b>MANTENIMIENTO DE 2000 HORAS</b>	
1	Mantenimiento al ventilador del sistema de enfriamiento del patín hidráulico
<b>MANTENIMIENTO DE 8000 HORAS</b>	
1	Cambio de aceite y filtro del sistema hidráulico
2	Cambio de empaques del tanque hidráulico
3	Revisión de manómetros de presión del sistema hidráulico

**Fuente:** La Cira- TDA, propuesta técnico-económica para la instalación de una unidad Hidroneumática. Mayo de 2013

### 3.3.4 Instalación de la unidad Morlift

El montaje se realiza colocando directamente el mástil sobre la base de la unidad y está sobre la cabeza de pozo, mediante un soporte de fácil instalación de dos cuerpos de 42" de altura, que permite acoplarse a la cabeza del pozo con bridas 7-1/16\*2000 lb y 7-1/16\*3000 lb. Igualmente se puede instalar en una brida 7-1/16\*5000 lb. Gracias a la ubicación y funcionamiento de los cilindros, el mástil no requiere vientos de anclaje o de sujeción permitiendo que el espacio en su alrededor quede despejado para intervenciones, monitoreo o tránsito libre. En la **figura 40**, se observan las dimensiones de la base de la unidad Morlift

### 3.3.5 Modelo de la unidad Morlift

En el mercado, solo existe un modelo para esta unidad que es Morlift 40 – 144 con las siguientes características técnicas

- Recorrido máximo de 144 pulgadas.
- Velocidad Máxima en recorrido 5,5 SPM.
- Conexión directa sobre cabeza de pozo en bridas de: 7-1/16" x 2000, 3000 o 5000.
- Instalación sin vientos de anclaje
- Motor eléctrico de 70 Hp.

- Controlador Fill Pump,
- Patín hidráulico, con 4 tanques de nitrógenos.
- Control digital de recorrido y parámetros de funcionamiento.

### **3.3.6 Ventajas**

- Recorrido entre 0,1" y 144".
- Velocidad máxima en recorrido 5,5 SPM.
- Conexión directa sobre cabeza de pozo en bridas de: 7-1/16" x 2000, 3000 o 5000.
- Controlador FillPump, que garantiza un llenado mínimo del 80% del barril o menos según como se requiera.
- Control digital de recorrido y parámetros de funcionamiento.
- 40.000 Lbs. de carga axial máxima.
- Bajos costos en armado y fácil instalación
- Operación y mantenimiento sencillo
- No necesita de vientos o anclajes, el montaje se hace directamente en el cabezal de producción.
- Las unidades permiten intervenciones por Flusby sin desmontarse
- Posee un controlador de velocidad hidráulica variable que optimiza la producción y tiene la capacidad de controlarse remotamente.
- La unidad puede ser instalada en menos de 3 horas con una labor mínima de equipos
- En operación el sistema Morlift permite variar la velocidad de la carrera y la longitud mientras que el convencional requiere cerrar la producción el sistema puede mantenerla disminuir pérdida.

## 4. ANÁLISIS TÉCNICO

### 4.1 IDENTIFICACIÓN DE POZOS CANDIDATOS

Para lograr una comparación de las 3 unidades no convencionales entre sí, y las unidades de bombeo mecánico convencional existentes en el campo, se seleccionaron 3 pozos candidatos con las siguientes condiciones:

- Caudales entre 50 y 600 BOPD (barriles de aceite por día) debido a que 600 es el máximo caudal para las unidades LRP disponibles.
- Distintos tamaños de unidad
- Distintos diámetro de bomba

Como las unidades no convencionales propuestas presentan la ventaja de acoplarse a los requerimientos de producción del pozo, se tomó como pozo candidato una unidad de bombeo convencional sobredimensionada, con el fin de comparar esta ventaja.

A continuación se presenta la **tabla 13** con información de los pozos candidatos para la parte inicial del estudio.

**Tabla 13.** Pozos candidatos

RANGO CAUDAL (BFPD)	POZO	AREA	UNIDAD	POTENCIAL ABRIL (BFPD)	BS&W %	Diámetro de la bomba	FECHA (ULT. PROD.)
50-150	POZO 45	INFANTAS SUR	C-57D-89-42	44	49.9	1.5	07-may
	POZO 3310	INFANTAS SUR	C-640-365-168	137	8.5	2.25	11-may
300-600	POZO 2360	LA CIRA SUR	C-640-365-168a	305	91.63	2	25-abr

**Fuente:** ECOPEPETROL

De cada uno de los pozos candidatos, se tuvieron en cuenta los datos de completamiento de pozo, bomba y de yacimiento, los cuales están clasificados en las **tablas 14 y 15** respectivamente.

**Tabla 14.** Datos de completamiento de pozo y bomba

Parámetro	Unidad
Prof. entrada de la Bomba	Ft
Prof. Anclaje de Bomba	Ft
Diámetro Externo Tubing	In
Diámetro Interno Casing	In
Presión Cabezal (THP)	Psi
Presión Casing (CHP)	Psi
Diámetro Pistón de la Bomba	In
Longitud del pistón	In
Fit de la Bomba	In
Espaciamiento Bomba	In
Eficiencia Volumétrica de Bomba	%
Nro. secciones de varillas	Nro.
Tipo varilla sección 1	Grado
Tipo Cupla Sección 1	Standard/otro
Longitud sección 1 de Varillas	Ft
Diámetro de varillas sección 1	In
Corte de agua	%
Gravedad del petróleo	API
Gravedad esp. Agua (Sh2o=1)	Adim
Viscosidad del fluido a Temperatura de fondo	Centipoises

**Tabla 15.** Datos del yacimiento

Parámetros	Unidad
Presión estática del Yacimiento	Psi
Presión de Burbujeo	Psi
Presión fondo fluyente de prueba (Pwf)	Psi
Prueba de producción @ Pwf	BFPD
Sumergencia recomendada	Ft
Producción total esperada	BFPD

A continuación se presenta cada uno de los parámetros con sus respectivos valores, que hacen parte de los datos de entrada para la simulación, (Ver **tablas 16 y 17**). Además se necesitó de la información del *Survey* del pozo para conocer las desviaciones de cada uno de los pozos, (ver **anexo B**)

**Tabla 16.** Parámetros de entrada al simulador de completamiento y bomba

<b>Datos de completamiento y bomba</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>POZO 45</b>	<b>POZO 3310</b>	<b>POZO 2360</b>
Profundidad de entrada de la bomba (ft)	2350	3130,3	2917
Profundidad promedio de la arena (ft)	2500	2833,5	2823
Diámetro externo tubing (in)	2,875	3,5	3,5
Diámetro Interno casing (in)	9,95	6,276	6,276
Presión cabezal (THP) (psi)	42	58	100
Presión casing (CHP) (psi)	16,8	67	38,7
Diámetro pistón de la bomba (in)	1,50	2,25	2,00
Longitud del pistón (in)	4	3	3
Fit de la bomba (in)	6	5	6
Espaciamiento bomba (in)	8	8	8
Eficiencia volumétrica de bomba (%)	80	80	80
Nro. Secciones de varillas (Nro.)	1	1	3
Tipo varilla sección 1 (Grado)	D	SER 4	N-97
Tipo cupla Sección 1 (Standard/otro)	Standard	STANDARD	STANDARD
Longitud sección 1 de varillas (ft)	2300	3085,5	1375
Diámetro de varillas sección 1 (in)	0,625	0,875	1
Tipo varilla sección 2 (Grado)			TENARIS UHS
Tipo cupla Sección 2 (Standard/otro)			STANDARD
Longitud sección 2 de varillas (ft)			700
Diámetro de varillas sección 2 (in)			1
Tipo varilla sección 3 (Grado)			N-90
Tipo cupla Sección 3 (Standard/otro)			STANDARD
Longitud sección 3 de varillas (ft)			775
Diámetro de varillas sección 3 (in)			0,875
Corte de agua (%)	49,9	8,5	91,63
Gravedad del petróleo (°API)	24	24	24
Gravedad específica del agua (Sh2o=1)	1	1	1
Viscosidad del fluido a Temperatura de fondo (cp)	10,92	10,92	10,92

**Tabla 17.** Parámetros de entrada al simulador de completamiento y bomba

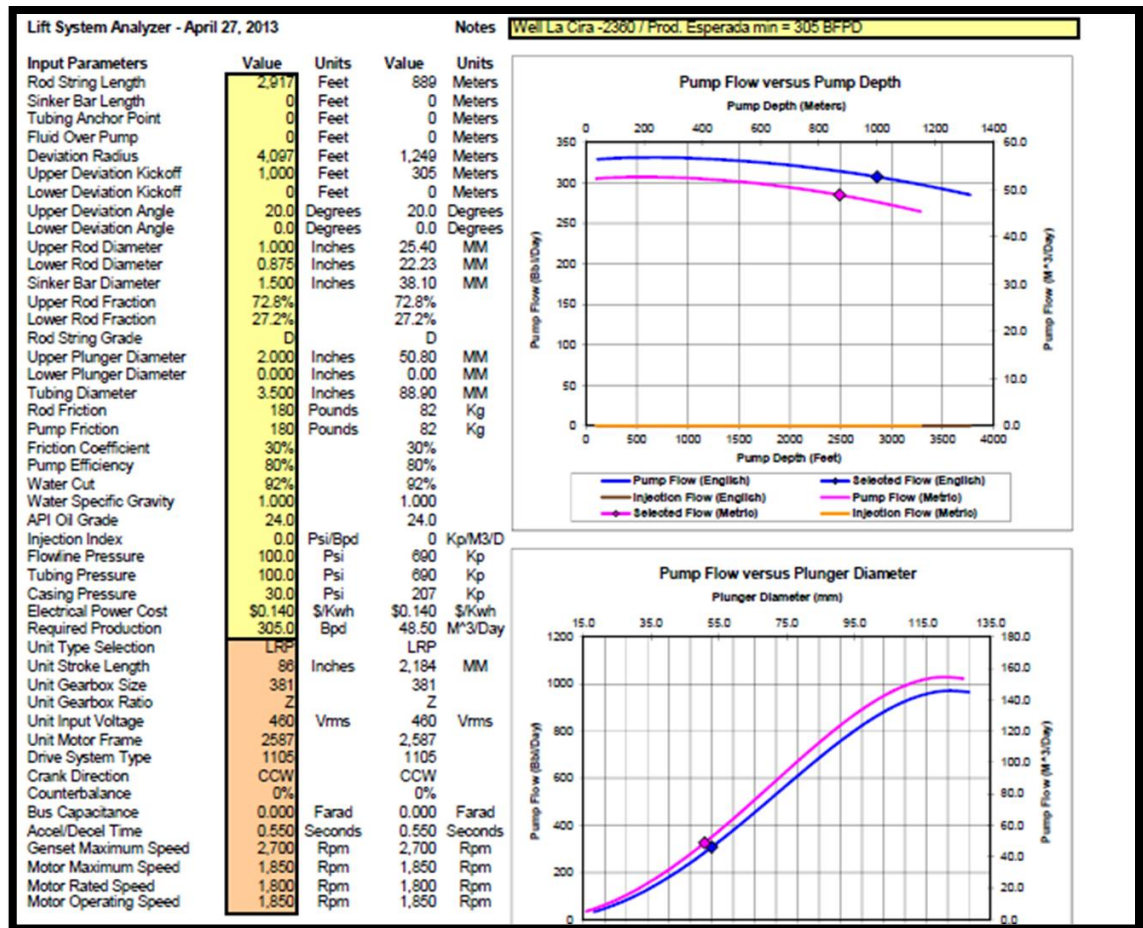
Datos de yacimiento			
Parámetros	POZO 45	POZO 3310	POZO 2360
Presión estática del Yacimiento	127	40	1084,9
Presión de Burbujeo	150	150	150
Presión fondo fluyente de prueba (Pwf)	16,8	67	290,18
Prueba de producción @ Pwf	53	140	359
Sumergencia recomendada	200	200	200
Producción total esperada	44	137	305

## 4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS

Los valores de entrada fueron suministradas a cada una de las compañías involucradas en el proyecto para su respectiva simulación, (ver **anexo B**), una vez obtenidos los resultados se procedió a analizar técnica y financieramente la propuesta, a continuación se presentara el análisis técnico con respecto al Pozo 2360, con un potencial de 305 BFPD, al final de este capítulo se presentará una comparación técnica de cada uno de los pozos candidatos con cada una de las unidades no convencionales propuestas y la unidad de bombeo mecánico convencional existente.

En la **figura 41** se muestra como el simulador agrupa los valores de entrada, se genera un gráfico de caudal vs profundidad de la bomba, y caudal vs diámetro de la bomba, estos datos ayudarán a seleccionar el tipo de unidad requerida en cuanto a torque nominal necesario, en unidades de libras por pulgada.

**Figura 41.** Datos de entrada en el simulador UNICO unidad LRP



**Fuente:** UNICO, Lift system analyzer (2360) Pdf. Junio de 2013

En la **figura 42** se observan los parámetros calculados con las respectivas unidades de medición, las tablas de la derecha de la figura son los valores en los que se basa el diseño para la selección del motor, en la parte baja se observan los valores estimados de producción de fluido por día, en este caso 307.4 BFPD, en la **tabla 12** donde se referencia a los pozos candidatos se aprecia que el potencial de este pozo en el mes de abril de 2013 es de 305 BFPD, por lo que el diseño promete llegar a esta producción con el respectivo modelo de unidad LRP.

Figura 42. Parámetros calculados por el simulador UNICO unidad LRP

Calculated Parameters	Value	Units	Value	Units
Actuator Model	L381Z-2587-086			
Controller Model	1105-460-075-V-Y-K01-M10-806434			
Gas Cylinder Diameter	0.000	Inches	0	MM
Motor Rated Power	75.0	Hp	55.9	Kw
Gearbox Rated Torque	38,100	In*Lbs	4,305	N*M
Unit Gearbox Ratio	10.82		10.82	
Optimum Gearbox Ratio	10.81		10.81	
Gearbox Service Factor	1.940		1.867	
Motor Torque Ratio	77.2%		80.2%	
Gearbox Peak Load	65.2%		81.7%	
Pinion Peak Load	0.0%		81.7%	
Motor Peak Torque	127.6%		147.3%	
Motor Peak Power	135.2%		150.4%	
Maximum Plunger Diameter	2.816	Inches	71.53	MM
Pump Depth	2.859	Feet	871	Meters
Fluid Level	2.859	Feet	871	Meters
Deviation Distance	414	Feet	126	Meters
Rod Stretch Ratio	0.088		0.088	
Oscillation Ratio	0.113		0.113	
Oscillation Frequency	89.56	Spm	89.56	Spm
Pumping Speed Limit	24.39	Spm	24.39	Spm
Pump Operating Speed	10.16	Spm	10.16	Spm
Pump Required Speed	10.70	Spm	10.70	Spm
Maximum Rod Speed	35.81	In/Sec	910	MM/Sec
Oil Specific Gravity	0.910		0.910	
Fluid Specific Gravity	0.992		0.992	
Pump Intake Pressure	30.0	Psi	207	Kp
Pump Discharge Pressure	1,328.5	Psi	9,160	Kp
Pump Injection Pressure	0.0	Psi	0	Kp
Gas Compressor Flow	0.0	Mcf/Day	0	M <sup>3</sup> /Day
Counterbalance Pressure	0.0	Psi	0	Kp
Counterbalance Force	0	Pounds	0	Kg
Rod String Force	6,610	Pounds	2,996	Kg
Fluid Column Force	4,079	Pounds	1,850	Kg
Fluid Injection Force	0	Pounds	0	Kg
Rod Compression Force	180	Pounds	82	Kg
Rod Up Stroke Force	12,024	Pounds	5,453	Kg
Rod Down Stroke Force	5,707	Pounds	2,588	Kg
Maximum Rod Load	15,161	Pounds	6,875	Kg
Minimum Rod Load	3,309	Pounds	1,503	Kg
Gearbox Ave Up Torque	25,510	In*Lbs	2,882.3	N*M
Gearbox Ave Down Torque	12,593	In*Lbs	1,422.8	N*M
Gearbox Peak Torque	31,128	In*Lbs	3,516.9	N*M
Gearbox RMS Torque	20,404	In*Lbs	2,305.4	N*M
Motor Up Stroke Torque	2,552	In*Lbs	288.4	N*M
Motor Down Stroke Torque	1,255	In*Lbs	141.8	N*M
Motor Axial Torque	901	In*Lbs	101.5	N*M
Motor Rated Torque	2,701	In*Lbs	305.2	N*M
Motor RMS Torque	2,086	In*Lbs	235.7	N*M
Electrical Input Power	33.87	Hp	25.26	Kw
Dynamic Brake Power	11.51	Hp	8.59	Kw
Bus Capacitor Power	0.00	Hp	0.00	Kw
Gas Compressor Power	0.00	Hp	0.00	Kw
Polished Rod Power	16.57	Hp	12.35	Kw
Fluid Lift Power	6.42	Hp	4.79	Kw
Fluid Injection Power	0.00	Hp	0.00	Kw
Input Power Cost	\$2,547	\$/Mon	\$2,547	\$/Mon
Brake Power Cost	\$866	\$/Mon	\$866	\$/Mon
Fluid Power Cost	\$0.28	\$/Bbl	\$1.74	\$/M <sup>3</sup>
Oil Power Cost	\$3.30	\$/Bbl	\$20.76	\$/M <sup>3</sup>
Energy Storage Capacitor	0.300	Farad	0.300	Farad
Energy Storage Inertia	20.199	In*Lb*S <sup>2</sup>	2,282	Kg*M <sup>2</sup>
Backspin Braking Power	6.56	Hp	4.89	Kw
Backspin Braking Speed	366	Rpm	366	Rpm
Dynamic Brake Factor	15.4%		15.4%	
System Efficiency	19.0%		19.0%	
Polished Rod Stress	6,804	Psi	2,371	Kn/M <sup>2</sup>
Coupling Stress	7,505	Psi	2,615	Kn/M <sup>2</sup>
Max Upper Rod Stress	15,309	Psi	5,335	Kn/M <sup>2</sup>
Min Upper Rod Stress	7,267	Psi	2,532	Kn/M <sup>2</sup>
Max Lower Rod Stress	9,525	Psi	3,319	Kn/M <sup>2</sup>
Min Lower Rod Stress	2,142	Psi	746	Kn/M <sup>2</sup>
Polished Rod Stress	7.2%		7.2%	
Coupling Stress	7.9%		7.9%	
Upper Rod Stress	13.3%		13.3%	
Lower Rod Stress	8.3%		8.3%	
Upper Rod Service Factor	46.6%		46.6%	
Lower Rod Service Factor	31.8%		31.8%	
Fluid Load Stretch	5.8	Inches	148.4	MM
Friction Stretch	2.0	Inches	50.2	MM
Tubing Stretch	1.7	Inches	44.2	MM
Static Stretch	9.6	Inches	242.7	MM
Pump Stroke	81.1	Inches	2,059.3	MM
Pump Production Flow	307.4	Bbl/Day	48.88	M <sup>3</sup> /Day
Pump Injection Flow	0.0	Bbl/Day	0.00	M <sup>3</sup> /Day
Pump Oil Flow	25.7	Bbl/Day	4.09	M <sup>3</sup> /Day

Motor Rated Power	TEFC Class 1 Division 2	TEFC Explosion Proof
5 Hp	184S	184E
10 Hp	215S	215E
15 Hp	254S	254E
20 Hp	266S	266E
25 Hp	284S	284E
30 Hp	296S	296E
40 Hp	324S	324E
50 Hp	326S	326E
60 Hp	364S	364E
75 Hp	365S	365E
100 Hp	405S	405E
125 Hp	444S	444E
150 Hp	445S	445E
200 Hp	447S	447E
250 Hp	449S	449E

Motor Rated Power	TEFC Class 1 Division 2	TEBC Class 1 Division 2	DPFV Class 1 Division 2	TEBC Class 1 Division 2
15 Hp	1852			
20 Hp	2162			
25 Hp	2168			
30 Hp	2173	2169		1855
40 Hp	2570	2174		2166
50 Hp	2578	2571		2171
60 Hp	2586	2579	2572	2176
75 Hp	2890	2587	2580	2581
100 Hp	3203	2899	2588	2589
125 Hp			2884	2885
150 Hp			2892	2893
200 Hp			3205	
250 Hp			3215	

Type of Service	API C	API D
Non-Corrosive	100%	100%
Salt Water	65%	90%
Hydrogen Sulfide	50%	70%

Fuente: UNICO, Lift system analyzer (2360) Pdf. Junio de 2013

Como se observa en el diseño, con la unidad LRP **L381Z-2587-086** se podrían trabajar cargas máximas de **15161 Lbs.** y mínimas de **3309 lbs**, con la unidad

operando a **10.16 spm** y a **86 pulgadas de recorrido** se obtiene una producción de **307 BPD** a **80%** de eficiencia.

A continuación se presentan los resultados de la simulación del Pozo 2360 para la unidad VSH2 (**figura 43**), en este caso se puede observar en la parte izquierda los datos de entrada, propiedades del fluido, algunas especificaciones del motor y consumo energético, el valor de la carrera máxima en este caso 150 pulgadas, y la información de la tubería y de la bomba respectivamente, en la parte derecha de la figura los parámetros calculados, en este caso, con el diseño realizado se espera una producción de 308 BFPD, además valores de la configuración del motor, consumo energético, especificaciones de la bomba y el pistón a utilizar, y por ultimo información referente a los esfuerzos a los que serán sometidos la sarta de varillas.

**Figura 43.** Datos de entrada y resultados de la simulación Unidad Vsh2

INPUT DATA					CALCULATED RESULTS				
Strokes per minute:	5.6	Pump int. pr. (psi):	417		Production rate (bfpd):	308	Peak pol. rod load (lbs):	13796	
Run time (hrs/day):	24.0	Fluid level			Oil production (BOPD):	26	Min. pol. rod load (lbs):	3720	
Tubing pres. (psi):	100	(ft over pump):	924		Strokes per minute:	5.6	MPRI /PPRI	n 27	
Casing pres. (psi):	38.7	Stuf.box fr. (lbs):	100		System eff. (Motor->Pump):	30%	Unit struct. loading:	34%	
		Pol. Rod Diam: 1.5"			Permissible load HP:	84.8	PRHP / PLHP	0.14	
<b>Fluid properties</b>			<b>Motor &amp; power meter</b>		Fluid load on pump (lbs):	2368	Buoyant rod weight (lbs):	6954	
Water cut:	91.6%	Power Meter	Detent		Fluid level TVD (ft from surface):	1976	N/No: .064 , Fo/SKr: .025		
Water sp. gravity:	1	Electr. cost:	\$ .09/KWH		PRHP:	11.8			
Oil API gravity:	24.0	Type:	NEMA D		<b>Required prime mover size (speed var. not included)</b> <b>BALANCED</b>				
Fluid sp. gravity:	0.9925				<b>NFMA 0 motor:</b> 20 HP				
Compress. index:	3.0				<b>Single/double cyl. engine:</b> 15 HP				
<b>Pumping Unit: Weatherford VSH2 Nitrogen-Over-Hydraulic Unit</b>					<b>Torque analysis and electricity consumption</b> <b>BALANCED</b>				
<b>Unit size: H-400-150 (unit ID: HWN1)</b>					<b>Peak q'box torq.</b> N/A				
Crank hole number	N/A				<b>Gearbox loading:</b> N/A				
Calculated stroke length (in):	150				<b>Cyclic load factor:</b> N/A				
Crank Rotation:	N/A				<b>Counterbalance weight</b> N/A				
Max. CB weight	N/A				<b>Daily electr. use (KWH/day):</b> 268				
Adjusted stroke length (in):	150				<b>Monthly electric bill:</b> \$734				
<b>Tubing and pump information</b>					<b>Electr. cost per bbl. fluid:</b> \$0.078				
Tubing O.D. (ins)	3.500	Upstr. rod-fl. damp. coeff:	0.100		<b>Electr. cost per bbl. oil:</b> \$0.933				
Tubing I.D. (ins):	2.992	Dnstr. rod-fl. damp. coeff:	0.100		<b>Tubing, pump and plunger calculations</b>				
Pump depth (ft):	2917	Tubing is not anchored			<b>Tubing stretch (ins):</b> 1.1				
Pump condition:	Full				<b>Prod. loss due to tubing stretch (bfpd):</b> 2.2				
Pump type:	Insert	Calc. pump fillage :	80%		<b>Gross pump stroke (ins):</b> 148.3				
Plunger size (ins)	2	Pump friction (lbs):	200.0		<b>Pump spacing (in. from bottom):</b> 8.8				
<b>Rod string design</b>					<b>Minimum pump length (ft):</b> 16.0				
					<b>Recommended plunger length (ft):</b> 2.0				
					<b>Rod string stress analysis (service factor: 0.9)</b>				
Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Min. Tensile Strength (psi)	Fric. Coeff	Stress Load %	Top Maximum Stress (psi)	Top Minimum Stress (psi)	Bot. Minimum Stress (psi)	# Guides/ Rod
1	Norris 97	1375	140000	0.2	30%	17664	5088	2828	0
1	TEN UHS-NR	775	140000	0.22	20%	11397	2828	1052	0
0.875	Norris D90	767	120000	0.22	32%	9675	1374	-333	0

**Fuente:** Weatherford 2360 Vsh2 305 BFPD, 5.6 SPM. Pdf. Junio de 2013

Como se observa en el diseño, con la unidad **VSH2-400-150** se podrían trabajar cargas máximas de **13796 Lbs** mínimas de **3720 lbs**, con la unidad operando a **5.6 spm** y a **148.3 pulgadas de recorrido** se obtiene una producción de **308 BPD** a **80%** de eficiencia. Con respecto a este pozo, se realizaron 2 simulaciones a 5.6 y a 3.74 spm, esta última se puede apreciar en el **anexo C**.

La tercera simulación está representada en la **figura 44** que muestra los resultados de la simulación realizada para la unidad Morlift, en la primera parte se refiere al diseño del motor, las características principales de la unidad de

superficie, las cargas y el esfuerzo sobre la sarta de varillas, complementando está, la información sobre la bomba de subsuelo y los esfuerzos sobre ésta.

**Figura 44.** Resultados simulación unidad Morlift

```

WELL NAME : CIRA-2360 DATE/TIME : 24/06/2013 4:15:02 PM
ANALYST : NOV Moyno Artificial Lift COMPANY : TDA Colombia
DATA FILE : CIRA-2-1.INP (BASE CASE) WELL TYPE : Deviated
COMMENTS : Assumptions:
*If additional information is available, the analysis can be re-run to include it.
1. Tubing Anchor is assumed to be at 2817'.

** PRIME MOVER **
Mfgr and Type : Nema D Motor30 hp (Recommended)
Est. Power Required (hp) : 21.83 Motor Load (% of Rating) : 72.8

** PUMPING UNIT **
Mfgr and Type : Hydraulic unit Morlift 40-144
Actual Max Load (lbs) : 14685 Actual Min Load (lbs) : 3681
Average Pumping Speed (spm) : 5 Max Load (% of Rating) : 36.7
Polished Rod Power (hp) : 10.92 Computed Surface Stroke (in) : 144

** ROD LOADING **
Diameter (in) Length (ft) Modulus (MM psi) Fr Coeff Guides Loading
1) 1 2075 30.5 0.2 N (0) 33
2) 0.875 842 30.5 0.2 N (0) 21
Max Stress (surf.) (psi) : 18570 Min Stress (surf.) (psi) : 4815
ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING
Service Factor Class C,K Class D NORRIS 97
1 67 52 29
0.9 77 59 33
0.8 90 68 38
0.7 107 80 44

** DOWNHOLE PERFORMANCE **
Stroke (in) BPD at 100% eff. BPD at 80% eff.
Gross: 137 320 (24h/d) 256 (24h/d)
Net: 136.9 319 (24h/d) 255 (24h/d)
Tubing Stretch (in) : 0.1 Lost Displacement (bpd) : 0
Loss Along Rod String (hp) : 3.93 Pump Power (hp) : 6.99
Tubing Size (in) : 3.5 Tubing Anchor Location (ft) : 2817
Pump Spacing Guide (in) : N/A Pump Fillage (%) : 100

** Non-Dimensional Variables **
Fo/S/Kr : 0.04 N/No' : 0.06

** OTHER BASIC DATA **
Reducer Rating (in-lbs) : N/A Crank Rotation : N/A
Overall Speed Ratio : N/A Rod Damping Factors (up/down) : 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) : 6776
Total Load on Pump (lbs) : 3808 Pump Bore Size (in) : 2
Pump Load Adjustment (lbs) : 0 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.43
Pump Depth (ft) : 2917 Pump Intake Pressure (psi) : 118
Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 6476
TV Load (lbs) : 10884

```

**Fuente:** La Cira TDA, propuesta técnico-económica para la instalación de la unidad Hidroneumatica-Morlift.pdf. Junio de 2013

Como se observa en el diseño, con la unidad MORLIFT 40-144 se podrían trabajar cargas máximas de **14685 Lbs** y mínimas de **3681 lbs**, con la unidad operando a

**5 spm y a 136 pulgadas de recorrido** se obtiene una producción de **255 BPD** a **80%** de eficiencia.

Como resumen de las simulaciones realizadas para el Pozo 2360, en la **tabla 19** se presenta una comparación con los las variables operacionales comunes entre las 3 unidades no convencionales.

**Tabla 18.** Comparación de parámetros calculados para las unidades de bombeo no convencionales

PARAMETRO CALCULADO	UNIDADES	TIPO DE UNIDAD NO CONVENCIONAL		
		LRP	VSH2	MORLIFT
Modelo recomendado	---	L381Z-2587-086	H - 400-150	MORLIFT 40-144
Potencia requerida del motor	Hp	75	75	75
Velocidad de operación	spm	10.16	5.6	5
longitud máxima de carrera	pulg	86	150	144
Carga máxima	lbs	15161	13796	14685
Carga mínima	lbs	3309	3720	3681
Consumo energético de entrada del motor diaria	Kw/día	25.26	11.2	11.2
Producción de fluido esperada	BOPD	307	308	255

Esta comparación también se realizó para los pozos 1 y 2 como se puede observar en el **anexo C**.

Con respecto al diseño de cada unidad para los pozos candidatos, se observó la flexibilidad de estas a las condiciones requeridas por el pozo para alcanzar su potencial de producción, las 3 unidades están diseñada para trabajar con un motor de 75 Hp, el consumo de energía es por lo tanto muy similar, sin embargo según la información del fabricante la unidad Vsh2 requeriría menor energía de alimento para el motor.

En cuanto al rango de carga soportable la unidad LRP presenta mayor ventaja, este resultado no se ve de la misma manera en los otros pozos, donde la unidad Morlift refleja mayor flexibilidad en este aspecto.

La longitud máxima de carrera en la unidad LRP, es mucho menor que las otras unidades por lo tanto para lograr el caudal deseado debe compensar con una velocidad de operación de 10.16 spm, si analizamos técnicamente esta velocidad está por debajo de la máxima velocidad recomendada para esta unidad que es de 25 spm aproximadamente.

La necesidad de entrada de energía de la unidad LRP es mayor dado a su diseño electro-mecánico, la compensación de este gasto en las otras unidades está dada por el contrabalanceo de la fuerza hidráulica y que el requerimiento de energía en la carrera descendente es mínimo.

En la tabla presentada a continuación se dan a consideración varios aspectos técnicos que se pueden comparar entre la unidad convencional existente y las unidades no convencionales propuestas, con valores generados por cada una de las simulaciones, y tomados de la información técnica y teórica de cada una de las unidades (ver **tabla 19**)

La Máxima carga soportable, está directamente relacionado con el peso que ejerce la sarta de varillas y el BHA de producción, así como el peso del fluido y la fuerza de fricción que exista en los equipos de fondo, las unidades estudiadas, pueden soportar cargas menores a 40.000 Libras. Para los pozos del campo. La Cira – Infantas no es común que superen la carga de 40000Lbs debido a la profundidad de sus pozos de menos de 5000 pies.

**Tabla 19.** Tabla comparativa entre la unidad convencional existente y las unidades no convencionales propuestas

CARACTERISTICAS	CONVENCIONAL	LRP	VSH2	MORLIFT
MAXIMA CARGA SOPORTABLE	42700 (UNIDAD 912-427)	40000	40000	40000
RANGO DE PRODUCCION	0-2000	0-600	0-700	0-700
MAXIMA CARRERA LONGITUD (in)	240	120	150	144
RANGO DE VELOCIDAD DE CARRERA (spm)	4 a 8	0.5 a 25	0.1 a 6.6	0.1 a 5.5
PERMITE CAMBIOS DE RECORRIDO	NO	SI	SI	SI
PERMITE CAMBIO DE VELOCIDAD	SI con variador	SI	SI	SI
PERMITE REALIZAR OPERACIONES SIN DESMONTAR UNIDAD	NO	NO	NO	SI (Eje hueco de la estructura principal 3-1/2" )
ALTURA MÁXIMA	545"	72-200"	510"	198"
SEGURIDAD	baja	alta	media	media
CONSUMO DE ENERGÍA	alto	medio	bajo	bajo
REQUERIMIENTO DE BASE PARA LA UNIDAD	SI	CONEXIÓN EN CABEZA DE POZO	CONEXIÓN EN CABEZA DE POZO	CONEXIÓN EN CABEZA DE POZO
VIENTOS	NO	NO	SI	NO
TIEMPO DE INSTALACION (horas)	ALTO	3	< 2	< 3
PESO	MUY ALTO	2500 Lb	2800 Lbs	2700 Lb
VELOCIDAD INDEPENDIENTE DE CARRERA UP Y DOWN	NO	SI	SI	SI

Un factor en el que la unidad Morlift tiene una ventaja considerable es que cuando se requiera hacer servicios de pozo como varilleo, re-espaciamiento u otras operaciones que se puedan realizar con unidades Flush by, no es necesario desmontar la unidad gracias a la existencia de un eje central hueco de 3 ½ pulgadas.

Las 3 unidades propuestas, pueden variar la longitud de la carrera, la unidad LRP lo hace remotamente y las hidroneumáticas solo necesitan ajustar la grapa, en cambio la unidad convencional necesita de una operación más complicada se necesita descabezar la unidad, y cambiar por una de las 3 opciones de recorrido presentes en el crank de la unidad. En cuanto a cambio de velocidad, la unidad Morlift y la LRP que poseen el mismo driver controlador lo pueden hacer remotamente o automáticamente si se desea, en la unidad VSH2 se puede lograr desde el tablero, en cuanto a la unidad convencional se necesita hacer un cambio de polea, o como ya es conocido en el campo, se puede ajustar con ayuda de un variador (como el de la unidad LRP) para que realice esta operación.

La unidad LRP se puede considerar como la más segura, no contiene partes móviles expuestas, ni elementos suspendidos, es liviana, no necesita vientos, la carcasa superior la protege de la lluvia, y el medio exterior, no tiene equipos con altas presiones o altas temperaturas, por lo esto se le ha otorgado la calificación más alta de seguridad, seguida de la unidad Morlift que no posee vientos, a diferencia de la unidad VSH2, ambas hidroneumáticas tienen puntos de presión relativamente altos 1500 psi en el patín hidráulico, además de mangueras, y accesorios externos de la unidad que puedan entorpecer alguna operación si no son debidamente asegurados, a la unidad Convencional se le otorga el número 4 debido a los componentes pesados que están en continuo movimiento, las grandes dimensiones de la unidad y por supuesto el tiempo de trabajo que acumulan estas en el campo la Cira Infantas.

Las unidades propuestas no necesitan la creación de una base de hormigón pues son instaladas en la cabeza del pozo, y esta operación no dura más de 3 horas, contrario a la unidad convencional, esta virtud también se resalta cuando se realiza un servicio a pozo, los equipos para instalar y desinstalar las unidades no convencionales son más económicos, específicamente se necesita un brazo grúa de 40 toneladas y un camión canasta, como los tiempos entre a desinstalación y la instalación son menores el pozo no permanece cerrado un tiempo considerable y se ganan horas de producción.

Por último las unidades no convencionales tienen carrera ascendente y descendente independiente, se ha demostrado que para optimizar la producción lo mejor es realizar una carrera ascendente a menor velocidad con respecto a la ascendente, para las unidades convencionales esto se puede lograr con ayuda de un variador de velocidad.

Todos los modelos con que se realizaron los diseños están disponibles en el mercado, pero solo un análisis financiero certificará si es viable invertir en alguna de estas unidades, en cuanto a la parte técnica todos los diseños pueden ser una muy buena alternativa, cada una de las unidades están tecnológicamente capacitadas para optimizar la producción y gracias a su versatilidad, los trabajos de servicio de pozo y/o rediseño del mismo no necesitaran toda la logística ni el trabajo exhaustivo que se lleva a cabo con las unidades convencionales.

## 5. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero es una herramienta que ayuda al ingeniero de producción a lograr la máxima eficiencia de explotación del pozo, recuperando la mayor cantidad de aceite posible a menor costo.

El valor bruto del aceite es el precio recibido por venta en campo, se expresa en dólares por barril (USD/barril). Los costos por barril son los costos variables que se cargan contra un barril de aceite y dependen directamente de la producción de dicho barril, mientras los costos fijos no tienen cambios cuando la producción se reduce o suspende, pero estos en su mayoría no están influenciados por la producción de un campo o pozo en específico.

A partir de esto se evaluará la capacidad económica por pozo candidato acorde a su producción evaluando la inversión de capital (CAPEX, por sus siglas en inglés) del sistema que será la inversión inicial, el tiempo de recuperación de la inversión (payback), el dinero a ganar (rentabilidad) a un límite económico de 24 meses debido a consideraciones como los efectos de posibles cambios económicos, políticos o sociales en el ámbito mundial que impactan el sector energético que influyen en la evaluación económica llevada por la compañía.

Al considerar la implementación de las unidades de bombeo mecánico no convencionales es necesario evaluar desde un punto de vista económico-financiero algunas variables como son: valor presente neto (VPN) que consiste calcular el valor actual de los flujos de caja futuros originados por la inversión (el proyecto es rentable para  $VPN > 0$ ); la tasa interna de retorno (TIR) que es el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados de la inversión (a mayor TIR, mayor rentabilidad); el tiempo de la recuperación de la inversión (pay back) y por último la relación beneficio-costos (RBC) que compara la obtención de

mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido. Algunos de estos indicadores son tomados de bases de portafolio de Ecopetrol S.A donde la tasa de oportunidad para negocios upstream es del 12%.

Para el desarrollo del análisis se tienen en cuenta las siguientes consideraciones técnicas:

## **5.1 CONSIDERACIONES TECNICAS PARA EL ANALISIS FINANCIERO**

### **5.1.1 Declinación de la Producción**

Al inicio de la producción acorde con las reservas y la energía del yacimiento representada en presión, siempre existe un momento en el cual este ya no puede sostener su producción inicial y su capacidad va decayendo regularmente, o sea hay una declinación en ciertos periodos de tiempo (generalmente mes a mes). En resumen, la declinación representa de forma matemática la cuantificación de la vida máxima de un pozo y las reservas recuperadas.

A la vez la producción de aceite del pozo es el ingreso operacional que resulta de multiplicar este valor por el precio de venta del barril de petróleo a refinería. Teniendo en cuenta la declinación de la producción mensual del pozo, estos ingresos se reducen en la misma proporción cuya declinación es un 9% mensual, mientras mantenemos la extracción de fluido constante durante el tiempo de análisis del estudio característico en campos como LCI donde el recobro del aceite se debe a la inyección de agua.

### **5.1.2 Regalías**

Es aquel pago que realizan las petroleras al Estado por explotar los yacimientos donde existe un recurso natural no renovable, es decir, que se extingue con el transcurso del tiempo.

El artículo 16 de la Ley 756 de 2002, reza lo siguiente respecto al monto de regalías: “Establece como regalía por la explotación de recursos naturales no renovables de propiedad nacional, sobre el valor de la producción en boca o borde de mina o pozo...”

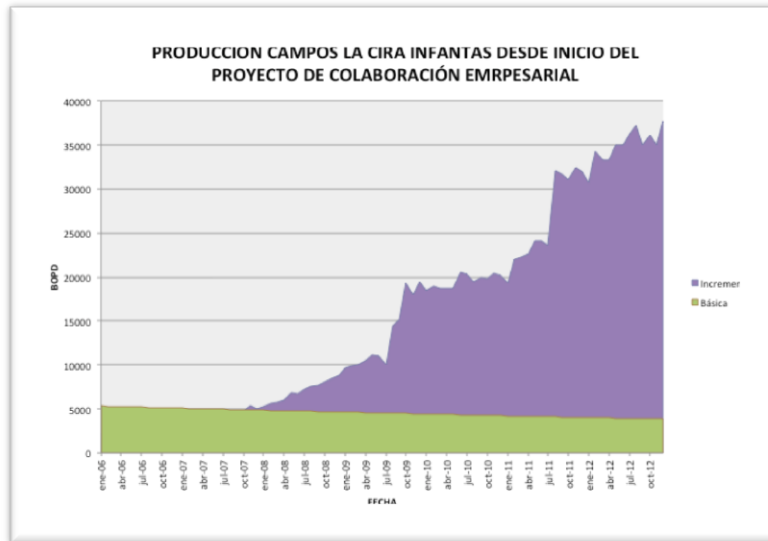
Para la regalía por la explotación de hidrocarburos en boca de pozo, se aplica el porcentaje que corresponda de aplicar por producción promedio según la tabla 5 respecto a la producción incremental:

**Tabla 20.** Porcentaje de regalías de acuerdo al promedio de producción.

Producción Promedio Mes	Porcentaje de Regalías
Menor o igual a 5.000	8%
5.000 - 125.000	$8\% + (\text{Producción Promedio Mes, KOPD} - 5) * (0,1)$
125.000 - 400.000	20%
400.000 - 600.000	$20 + (\text{Producción Promedio Mes, KOPD} - 400) * (0,025)$
Mayor a 600.000	25%

Para efecto de cálculo, en La Cira Infantas se debe ajustar la regalía a dos curvas de producción: la básica y la incremental. La básica es aquella evaluada para cada declinación de pozo al inicio del proyecto de colaboración empresarial en 2005 con Occidental Andina, de la cual el Estado le corresponde el 20% y se debe adicionar el 8% variable de la diferencia entre la básica e incremental por incorporación de producción de los pozos nuevos perforados del 2006 en adelante, por lo cual se termina pagando alrededor de un 12% en regalías de la producción neta de aceite.

**Gráfico 6.** Producción básica e incremental en LCI

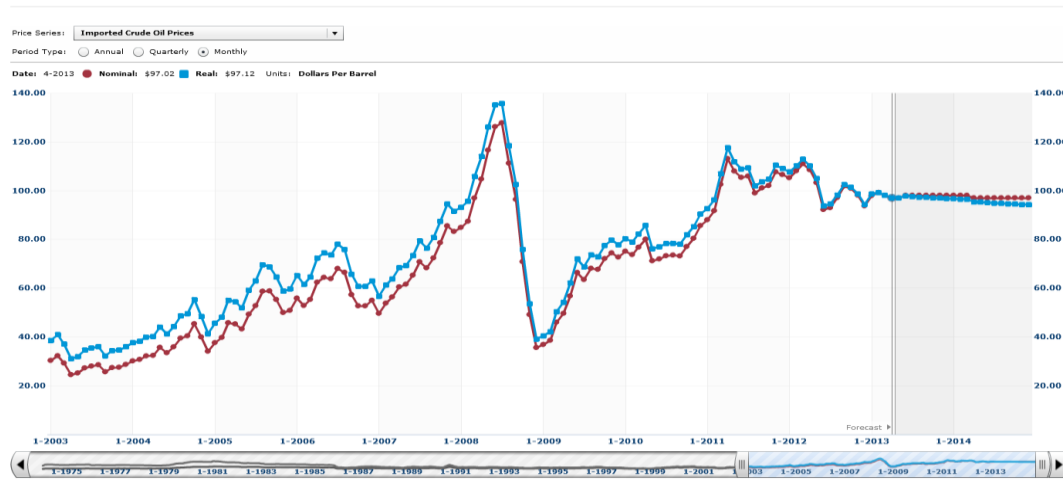


**Fuente:** Ecopetrol SA

### 5.1.3 Precio del Barril

Actualmente el crudo LCI se vende a un promedio de 80% del WTI debido a sus características en comparación con el crudo texano transado en la bolsa de Nueva York (NYMEX). En el caso de evaluar sensibilidad en la variación del precio del barril WTI se tomarán datos de la Agencia Internacional de Energía (EIA) que para este año y el 2014 proyecta un precio cercano a los 100 USD/barril, mientras se reporta un mínimo histórico promedio de 40USD/barril en la última década contra máximo de 140USD/barril ratificando la volatilidad de este bien de consumo.

**Figura 45. Precio de barril WTI**



Fuente: Agencia Internacional de Energía (EIA)

#### **5.1.4 Costo de Levantamiento**

El *lifting cost*, se refiere al costo que representa levantar un barril de aceite a superficie (consumo de energía, mantenimientos, intervenciones, entre otros). Para el caso del campo LCI es cercano a los 17USD en los sistemas actualmente instalados, pero la meta financiera se centra en los 15USD, la tasa de cambio fijada para los proyectos de la compañía para el año 2013 es de 1780 pesos por dólar

Para este proyecto, se ha dispuesto de costos operativos como mantenimiento en pesos, y consumo de energía (Kw/día), en el capítulo 3 se referenció cual era el tipo de mantenimiento necesario para cada unidad.

El mantenimiento de una unidad convencional, se clasifica en correctivo, mejorativo, predictivo y preventivo, cada uno de ellos lleva una rigurosa planeación y control, de dicho control se ha tomado la información del consumo actual de los pozos candidatos, pero para una mejor comparación de las unidades, se ha

consultado el consumo de todas las unidades del mismo modelo presentes en el campo.

El consumo energético de las unidades no convencionales, fue tomado de las simulaciones realizadas de donde se obtiene el valor de consumo en Kw/día (kilovatios por día), que se relaciona con la tarifa usada para el campo de 140 pesos por Vatio.

**Tabla 21.** Consumo energético de cada una de las unidades no convencionales propuestas para cada pozo candidato

Consumo energético				
Pozo	Unidad	Kw/día	Kw/año	\$ año
Pozo 45	LRP	3,73	1.361,45	\$ 190.603
	Vsh2	1,38	501,88	\$ 70.263
	Morlift	1,69	616,12	\$ 86.257
Pozo 3310	LRP	14,68	5.358,20	\$ 750.148
	Vsh2	3,33	1.215,45	\$ 170.163
	Morlift	4,15	1.514,75	\$ 212.065
Pozo 2360	LRP	25,26	9.219,90	\$ 1.290.786
	Vsh2	11,20	4.088,00	\$ 572.320
	Morlift	13,10	4.781,50	\$ 669.410

Para el costo de mantenimiento de cada unidad se debe tener en cuenta que los mantenimientos realizados por simple observación no se contabilizan, las unidades hidroneumáticas representan el gasto principal en el cambio de aceite hidráulico, y el filtro 2 veces al año, mientras que la unidad LRP en el aceite lubricante de sus piezas mecánicas las misma cantidad de veces, no se va a suponer daños y cambios de estas piezas, pero vale mencionar que la compañía UNICO, sugiere un precio de 15 mil dólares por el costo total de estas piezas.

**Tabla 22.** Costos por mantenimiento anual de cada unidad para el pozo 2360

Unidad	Costo mantenimiento
LRP	\$ 363.636
VSH2	\$ 3.309.091
MORLIFT	\$ 3.309.091

### **5.1.5 Tiempo Medio de Falla (RUN LIFE)**

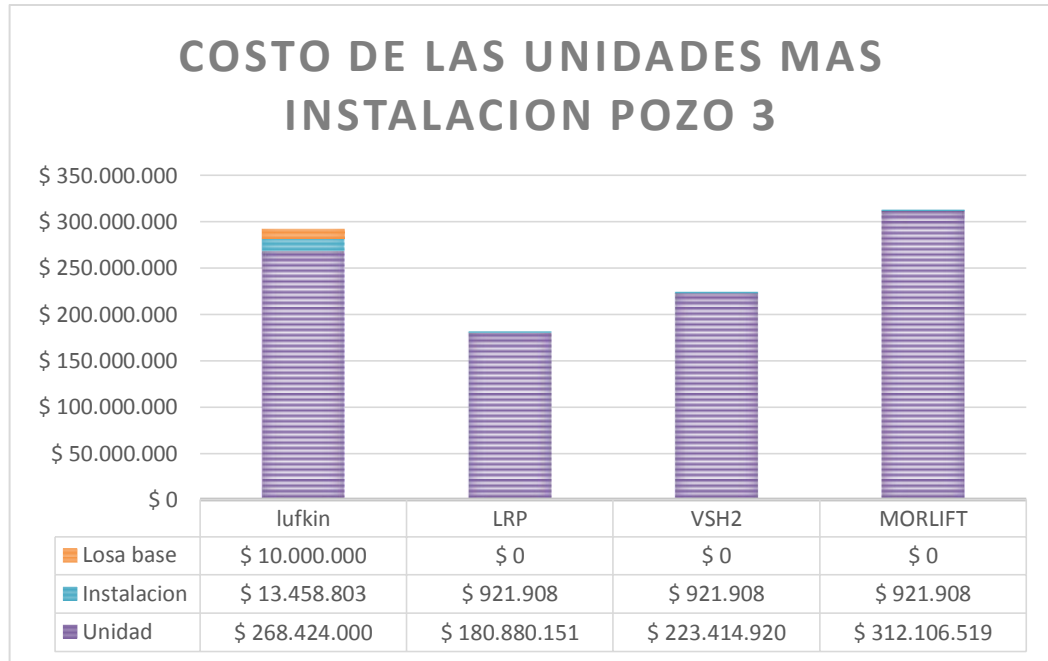
El Run Life de un sistema de levantamiento artificial depende del conjunto subsuelo, superficie, cuando la falla es de la bomba o algún componente de subsuelo se contabiliza como Run Life del sistema, en cuanto a las unidades se han tomado los datos de artículos técnicos de la vida útil, en cuanto a la unidad LRP, no se tiene experiencia de campo en Colombia el distribuidor promete un funcionamiento integro de la unidad durante de 8 años, y de las piezas mecánicas de 5 años, de las unidades Vsh2 se conoce de la existencia de 36 unidades instaladas en el país con motor eléctrico siendo el campo caño limón el de principal participación con 17, donde el sistema de levantamiento tenía un Run Life de 307 días, la compañía promete un tiempo de vida de la unidad de 10 años, al igual que la unidad Morlift, de la que no se tiene registro hasta el momento de operaciones en Colombia.

### **5.1.6 Inversión Inicial**

La inversión inicial del proyecto consiste en los costos generados por el precio de las unidades y la instalación, los resultados fueron otorgados por cada una de las compañías como producto de la simulación realizada, la instalación de las unidades no convencionales tienen una ventaja considerable con respecto a las convencionales debido que se instalan directamente en la cabeza de pozo y se pueden levantar con un brazo grúa de 40 toneladas. En el **gráfico 7** se observa una comparación de los costos de las unidades más la instalación de las mismas

para el Pozo 2360, en el **anexo D** se observa una copia de la cotización original de cada una de las unidades.

**Gráfico 7.** Comparación del costo de las unidades más instalación para el Pozo 2360



### 5.1.7 Producción Diferida

Es aquella producción perdida mientras el pozo se detiene por mantenimiento, cortes eléctricos, problemas operacionales, intervención con equipo, entre otros. Para efectos de cálculo el caso de más peso en producción diferida es la intervención con equipo donde el pozo puede durar una semana entre la intervención y estabilización plena del pozo para recuperar la producción antes del servicio, para los demás casos la parada es cuestión de algunas horas. Como se ha mencionado antes la virtud de las unidades no convencionales es la rápida instalación y desinstalación, y el mantenimiento correctivo de corto tiempo, y preventivo recomendado de 2 veces al año

### 5.1.8 Impuesto de Renta

Corresponde al impuesto en porcentaje que grava los ingresos netos operacionales definido por la normatividad vigente colombiana según Ley 1607 (reforma tributaria), corresponde al 36%.

De lo anterior, se realiza el estudio financiero de la siguiente forma tomado del FORMATO EVALUACIÓN ECONÓMICA DE INTERVENCIONES A POZOS PRODUCTORES DE CRUDO de la Vicepresidencia de Producción de Ecopetrol SA:

**Ecuación 3.** Procedimiento para el cálculo del flujo de caja libre

<b>PRODUCCION BRUTA</b> <i>- Regalías</i> <i>Producción Neta</i>
<b>INGRESO NETO (precio USD)</b> <i>- Costo variable por producción</i> *Sin depreciación *Amortización *Sin intereses por prestamos <i>- Inversiones</i> <b>= Flujo de Caja</b> <i>- Impuesto de Renta</i>
<b>= FLUJO DE CAJA LIBRE</b>

Fuente: ECOPETROL S.A

## 5.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS FINANCIERO

Teniendo en cuenta las consideraciones técnicas anteriormente descritas, el estudio financiero, permitió evaluar la rentabilidad del uso de estas unidades, referenciados en el valor de su compra, instalación mantenimiento consumo energético por un periodo de 3 años.

De los 3 pozos candidatos, es Pozo 2360, es el de mayor potencial con 305 BFPD, pero por su corte de agua elevado de 93% tan solo produce 22 BOPD lo que desde un punto de vista financiero genera un tiempo de recuperación de la inversión mayor que los pozos 45 y 3310 con 29 y 123 BOPD respectivamente, esto debido a que el ítem más importante de egresos es la producción de crudo neto en pesos, como en el capítulo anterior el análisis técnico se realizó con este pozo, la explicación del análisis financiero continuará con el mismo pozo candidato.

Los parámetros financieros VPN y TIR (la tasa de retorno calculada por TIR es la tasa de interés correspondiente a un valor neto actual de cero) se realizan con la fórmulas de Excel (VNA y TIR respectivamente) que se presentan a continuación:

**Ecuación 4.** Cálculo del valor presente Neto VNA

$$VNA = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{(1 + tasa)^i}$$

**Fuente:** ECOPETROL S.A

**Ecuación 5.** Cálculo de la tasa interna de retorno TIR

$$TIR = \frac{-I + \sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n (i)(F_i)}$$

**Fuente:** ECOPETROL S.A

Dónde:

n: es la cantidad de períodos

Fi: flujo de caja en el periodo i.

tasa: es la tasa de oportunidad del inversionista.

I: inversión inicial.

La RCB resulta del cociente del VPN de los ingresos netos sobre el VPN de los costos netos; mientras el pay back resulta de una función lógica cuando el flujo de caja libre acumulado resulte cero o positivo.

A continuación se resumen el paso a paso:

1. Se parte de la producción inicial de aceite y se le aplica el 9% de declinación por mes (30 días) durante los 24 meses del estudio.
2. Se calcula la regalía por esta producción bruta que corresponde al 12% sobre la producción de aceite.
3. La diferencia entre la producción y la regalía corresponde a la producción neta por la cual se recibe ingreso al multiplicar por el precio del barril WTI.
4. El costo de operación resulta de la suma del costo de consumo de energía, mantenimiento de la unidad, tratamiento químico por BFPD y el transporte para el aceite neto.
5. Las inversiones (en pesos) son las siguientes:

Unidad LUFKIN: \$ 291.882.803

Unidad LRP: \$ 181.802.059

Unidad VSH2: \$ 224.336.828

Unidad MORLIFT: \$ 313.028.427

6. El costo neto resulta de la suma por mes del costo de operación y las inversiones.
7. El flujo de caja (FC) es la diferencia entre ingreso neto y el costo neto.
8. El impuesto de renta corresponde al 36% de FC siempre que exista un valor positivo.

9. Por último se obtiene FCL de la diferencia entre el FC y el impuesto de renta.

Para conocer los resultados del análisis financiero se tendrá como referencia el realizado para el pozo 2360.

Primero, el análisis financiero para la unidad convencional LUFKIN, para conocer la inversión inicial se toma la versión comercial actual del modelo convencional que opera en el pozo, con el costo de compra, la creación de una losa base y el costo mismo de la instalación que sumados son la inversión inicial del proyecto., en la tabla.... Se observa el flujo de casa a 24 meses, esta simulación, se realizó para las 3 unidades no convencionales, y para cada uno de los pozos candidatos, las tablas resultantes del análisis se pueden observar en el **anexo E**.

En la **tabla 23**. Se observa el resumen del análisis para cada pozo con cada una de las unidades

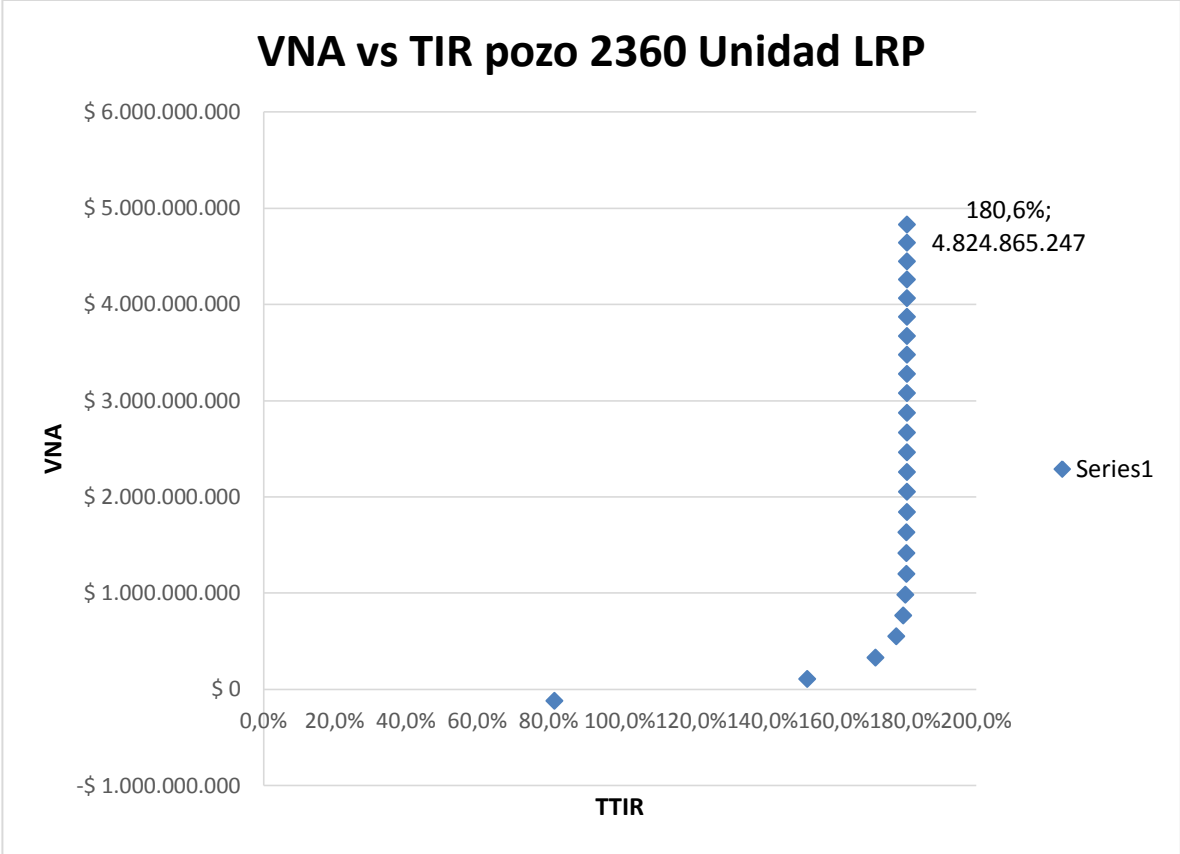
**Tabla 23.** Flujo de caja pozo 2360 unidad LRP

Mes	PRODUCCION BRUTA			REGALIAS			PRODUCCION NETA			VENTA		COSTO LEVANTAMIENTOS MES	COSTO ACTUAL	INVERSIONES	FLUJO DE CAJA ACTUAL	IMPUESTO DE RENTA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMULADO ACTUAL
	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BO PD	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	COP/Bbl	INGRESO NETO							
0														\$ 181.802.059	(181.802.059)		(181.802.059)	(181.802.059)
1	22	660	660	3	79	79	19	581	581	145.248	84.360.038	21.146.400	21.314.572		63.045.467	22.696.368	40.349.099	(141.452.960)
2	22	650	1310	3	78	157	19	572	1153	145.248	83.104.081	20.831.571	20.999.743		62.104.338	22.357.562	39.746.777	(101.706.184)
3	22	645	1955	3	77	235	19	568	1721	145.248	82.483.132	20.675.919	20.844.090		61.639.042	22.190.055	39.448.987	(62.257.197)
4	21	640	2596	3	77	312	19	564	2284	145.248	81.866.822	20.521.429	20.689.601		61.177.221	22.023.800	39.153.422	(23.103.775)
5	21	636	3232	3	76	388	19	559	2844	145.248	81.255.118	20.368.094	20.536.266		60.718.852	21.858.787	38.860.065	15.756.290
6	21	631	3863	3	76	464	19	555	3399	145.248	80.647.984	20.215.905	20.384.077		60.263.908	21.695.007	38.568.901	54.325.191
7	21	626	4489	3	75	539	18	551	3950	145.248	80.045.387	20.064.853	20.233.025		59.812.362	21.532.450	38.279.912	92.605.103
8	21	622	5110	2	75	613	18	547	4497	145.248	79.447.292	19.914.930	20.083.101		59.364.191	21.371.109	37.993.082	130.598.185
9	21	617	5727	2	74	687	18	543	5040	145.248	78.853.666	19.766.126	19.934.298		58.919.369	21.210.973	37.708.396	168.306.581
10	20	612	6340	2	73	761	18	539	5579	145.248	78.264.476	19.618.435	19.786.606		58.477.870	21.052.033	37.425.837	205.732.418
11	20	608	6947	2	73	834	18	535	6114	145.248	77.679.688	19.471.847	19.640.019		58.039.670	20.894.281	37.145.389	242.877.806
12	20	603	7551	2	72	906	18	531	6645	145.248	77.099.270	19.326.354	19.494.526		57.604.744	20.737.708	36.867.036	279.744.842
13	20	599	8149	2	72	978	18	527	7171	145.248	76.523.188	19.181.949	19.350.121		57.173.068	20.582.304	36.590.763	316.335.606
14	20	594	8744	2	71	1049	17	523	7694	145.248	75.951.411	19.038.622	19.206.794		56.744.617	20.428.062	36.316.555	352.652.161
15	20	590	9333	2	71	1120	17	519	8213	145.248	75.383.907	18.896.367	19.064.539		56.319.368	20.274.972	36.044.396	388.696.556
16	20	585	9919	2	70	1190	17	515	8728	145.248	74.820.642	18.755.174	18.923.346		55.897.296	20.123.027	35.774.270	424.470.826
17	19	581	10500	2	70	1260	17	511	9240	145.248	74.261.586	18.615.037	18.783.208		55.478.378	19.972.216	35.506.162	459.976.988
18	19	577	11076	2	69	1329	17	507	9747	145.248	73.706.708	18.475.946	18.644.118		55.062.590	19.822.532	35.240.058	495.217.046
19	19	572	11649	2	69	1398	17	504	10251	145.248	73.155.975	18.337.895	18.506.066		54.649.909	19.673.967	34.975.942	530.192.987
20	19	568	12217	2	68	1466	17	500	10751	145.248	72.609.358	18.200.875	18.369.047		54.240.311	19.526.512	34.713.799	564.906.786
21	19	564	12781	2	68	1534	17	496	11247	145.248	72.066.825	18.064.879	18.233.051		53.833.774	19.380.159	34.453.615	599.360.402
22	19	560	13340	2	67	1601	16	492	11739	145.248	71.528.345	17.929.899	18.098.071		53.430.274	19.234.899	34.195.376	633.555.778
23	19	555	13896	2	67	1667	16	489	12228	145.248	70.993.890	17.795.928	17.964.100		53.029.790	19.090.724	33.939.065	667.494.843
24	18	551	14447	2	66	1734	16	485	12713	145.248	70.463.427	17.662.958	17.831.130		52.632.298	18.947.627	33.684.670	701.179.513

**Tabla 24.** Resumen del análisis financiero

POZO	BFPD	BS&W	BPPD	UNIDAD	VALOR PRESENTE NETO (VPN)	RELACION (B/C)	PAY BACK (MES)	TIR
45	44	34	29	LRP	\$ 1.549.431.119	3,98	3	61,34%
				LUFKIN	\$ 1.488.602.413	3,93	4	37,00%
				VSH2	\$ 1.406.487.192	3,95	6	22,76%
				MORLIFT	\$ 1.317.795.593	3,95	7	15,77%
3310	137	10	123	LRP	\$ 6.786.021.480	3,98	2	180,60%
				VSH2	\$ 6.682.474.509	3,98	2	99,62%
				LUFKIN	\$ 6.626.717.836	3,96	2	82,98%
				MORLIFT	\$ 6.593.782.910	3,98	2	71,14%
2360	305	93	22	LRP	\$ 1.051.076.597	3,95	6	21,12%
				VSH2	\$ 1.005.223.016	3,92	7	16,71%
				LUFKIN	\$ 950.182.625	3,82	8	13,42%
				MORLIFT	\$ 916.531.417	3,92	9	11,18%

**Gráfico 8.** VPN vs TIR Pozo 2360 unidad LRP



## 6. CONCLUSIONES

Gracias a los 4 parámetros financieros (VPN, TIR, RBC y Pay Back), se pudo conocer cuál de las unidades era la más rentable, debido a su menor costo inicial y el bajo costo de mantenimiento la unidad LRP es la mejor opción.

Técnicamente las unidades ofrecen muchas ventajas, operativamente el hecho de una rápida instalación y desinstalación optimiza los servicios a pozo y disminuye pérdidas por diferida

Para los pozos con un alto caudal de aceite, como lo es el pozo 3310 la inversión inicial no es un parámetro trascendental como se observó todas las unidades tienen un payback de 2 meses, podría decirse que para pozos con producción de aceite mayor a 80 BOPD se puede realizar una inversión con menor riesgo.

Las unidades hidroneumáticas ofrecen una ventaja de consumo energético bajo y el mantenimiento es bastante sencillo, por practicidad estas unidades ofrecen una ventaja considerable ya que se adaptan a las condiciones requeridas por el pozo.

Las unidades convencionales de LUFKIN tienen la ventaja de ser marca conocida en el campo, el tiempo de vida estas es mayor en relación a las no convencionales, cuando las unidades son pequeñas es un negocio rentable debido al bajo costo de inversión.

Las unidades no convencionales gracias a su adaptabilidad a las condiciones del pozo no van a presentar problemas de sobredimensionamiento, para este proyecto la unidad sobredimensionada se respalda económicamente con la

producción alta del pozo, pero en otros casos puede ser candidato a un cambio por unidades no convencionales o en su defecto una de menor capacidad.

La unidad LRP es la unidad que despierta mayor interés, el controlador Fill pump ya es conocido en el campo, el ajuste que este hace a las cartas dinagráficas, el control remoto del mismo, y la variada opción de modelos y combinaciones de estos hace una oportunidad atractiva para la situación actual del campo

Los tiempos de retorno de la inversión son bastante cortos entre 2 y 8 meses, este estudio muestra una alternativa a los años futuros de producción del campo, que tiene como meta lograr los 50 mil barriles para el año 2015 y una vez allí mantener la vida productiva del campo el mayor tiempo posible.

## **7. RECOMENDACIONES**

Es necesario hacer una evaluación de las tasas de declinación y las reservas de los pozos a los que se les quieran realizar un piloto con alguna de las unidades, con el fin de analizar técnica y financieramente con un mejor detalle.

El desarrollo del análisis financiero se basó en los valores tomados a partir de simulaciones sin data de ningún otro campo donde estuviese en funcionamiento las unidades, por parte de la compañía se puede llegar a conocer más sobre el historial de estas unidades, siendo la más conocida la unidad VSH2 con 36 unidades en el país, 7 de ellas en el campo Casabe que pertenece a la misma Regional GRM Magdalena Medio.

Dar al campo más alternativas, realizando un estudio técnico financiero con otras unidades de bombeo mecánico no convencionales como lo son la LLS (linear Lift system) de Halliburton y la ROTAFLEX de Weatherford, por mencionar las más conocidas en el mercado.

## BIBLIOGRAFIA

API Production department, API bulletin “sucker rod pumping system desing book”  
APIO Bulletin MC GHI. 1981

BOLLAND Y CÍA. S.A. Bombas mecánicas de profundidad. Buenos Aires:  
Bollando y Cía. S.A, 2009, versión 2.0.

COBOS GOMEZ Juan Carlos. Informe final - metodología desarrollada para el  
análisis del cambio de tecnología “bes” por “bcp” en los pozos gavan 8, apiay 21,  
suria 8, guayuriba 1. Instituto colombiano de petróleo. Bucaramanga 2013

ECOPETROL. Bombeo Mecánico. Bogotá: 1970.

GARZON BUITRAGO, David. Implementación de una metodología para la  
determinación de parámetros de automatización a partir del monitoreo del sistema  
inyección–producción, en pozos de bombeo mecánico del campo la Cira-infantas.  
Trabajo de grado. Fundación universidad de América facultad de ingenierías  
programa de ingeniería de petróleos Bogotá d. C. 2012

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.  
Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de  
investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: El Instituto, 2008.

LUFKIN AUTOMATION, INC. Principles of Rod Pumping (training guide). Houston:  
Lufkin Automation, Inc., 2002.

MACHETE ROJAS Eliana Yahira. Análisis de desempeño de dos sistemas de  
levantamiento artificial bombeo electro sumergible y bombeo mecánico vsh2

utilizados en el campo caño limón. Universidad Industrial de Santander. Facultad de físico-químicas escuela de Ingeniería de Petróleos Bucaramanga 2007

MANZAPATA REASCOS, Johana Cristina, REVELO ARBOLEDA, Pablo Sebastián Optimización de la producción mediante cambios de sistema de extracción a PCP, PL, LRP en pozos con baja productividad, alta producción de gas y problemas mecánicos en el bloque bermejo, Quito, Marzo, 2013

Manual de instalación y operación VSH2. WEATHERFORD ALS 2012

MODÓN Alberto Marcelo, PICH Jose, TRICOLLI Oswaldo. Unidad de bombeo hidroneumática de velocidad variable vsh2. Repsol-YPF. Mendoza Argentina 2013

PARTIDAS, Héctor. Bombeo mecánico: Optimización, Diagnóstico y Operación. EN. Workshop International Bombeo mecánico: Optimización, Diagnóstico y Operación. (1: 17-23, Noviembre: San Tomé Edo. Anzoátegui, Venezuela). Memorias. Bogotá D.C.: ESP Oil Engineering Consultants, 2003.

TDA SUPPLY & SERVICE. Propuesta tecnico-economica para instalación de unidad hidráulica – Morlift- para bombeo mecánico la Cira-infantas. TDA SUPPLY & SERVICE. Bogotá Colombia Junio de 2013

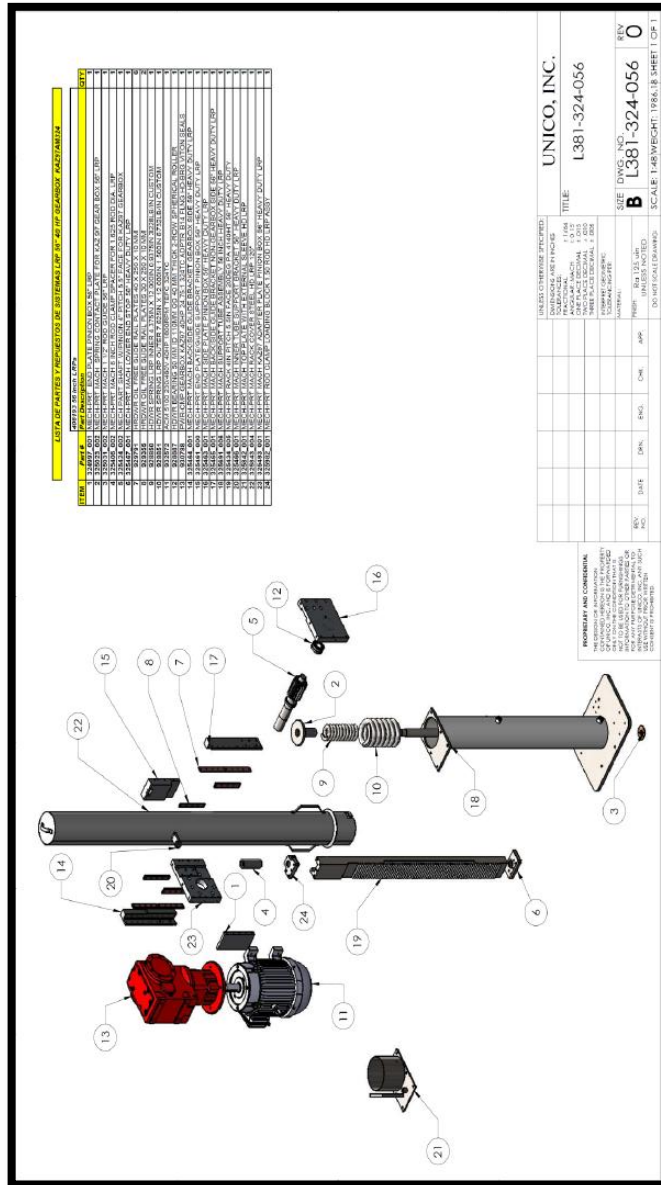
UNICO. Prueba técnica de 01 sistema LRP con drive Inteligente fillpump marca UNICO, en un pozo nuevo o existente, que produce con levantamiento artificial por bombeo mecánico. Junio de 2013 UNICO COLOMBIA S.A.S.

UNICO (2008).LRP User Guide - Linear Rod Pump Operations and Maintenance. United States of America. First Edition.

# ANEXOS

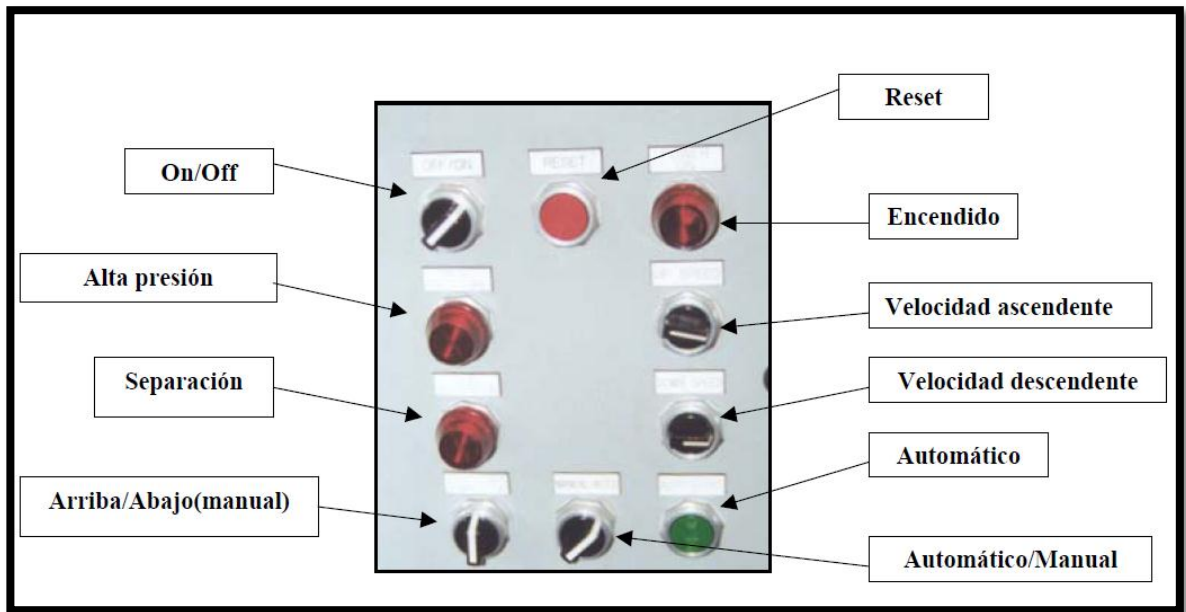
## ANEXO A.COMPLEMENTO DE LA INFORMACION ACERCA DE LAS UNIDADES MECANICAS NO CONVENCIONALES

Figura A.1 Componentes de una unidad LRP



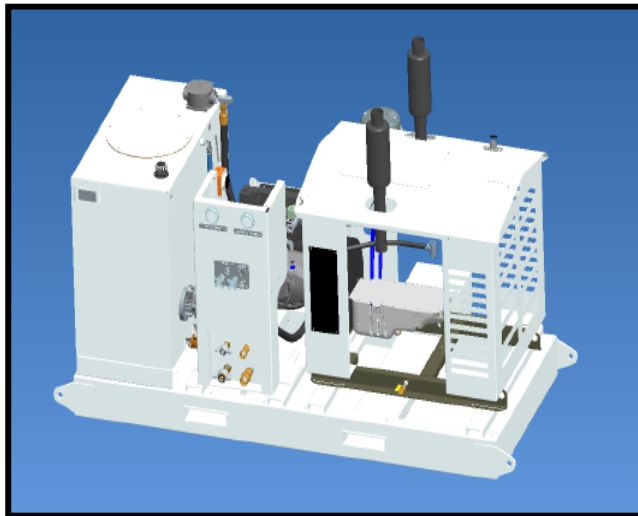
Fuente: LRP, linear rod pump, mechanical manual. UNICO 20

**Figura A.2** Controlador de la unidad VSH2



**Fuente:** Modón. Alberto Marcelo. VSH2 Unidad de bombeo hidroneumática de velocidad variable. Repsol-YPF. Mendoza, Argentina 2013

**Figura A.3** Patín hidráulico Unidad Morlift



**Fuente:** Presentación unidad Morlift, TDA Supply and service S.A

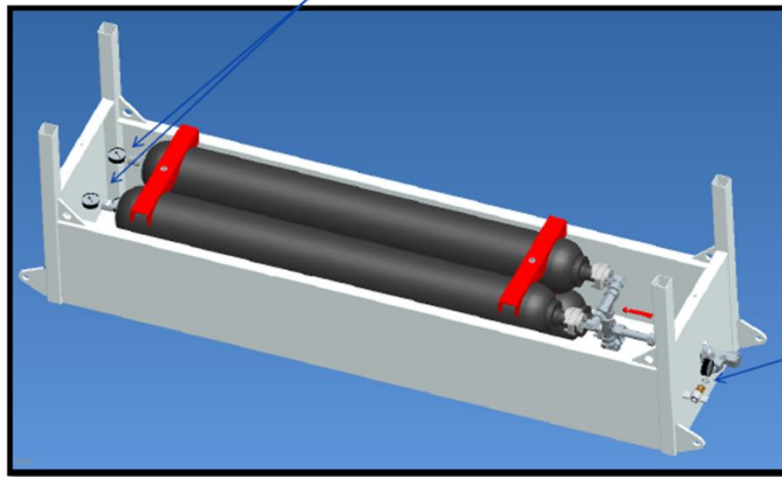
**Figura A.4** Mantenimiento del patín hidráulico unidad Morlift

	Fecha de instalación	Intervalo de horas									
		Diario	200	400	800	1000	1250	1500	1750	2000	Anualmente
<b>Sección de mantenimiento general</b>											
Busque fugas visualmente	X	X									
Revise el nivel de aceite del motor	X	X									
Inspeccione y apriete los tornillos		X									
Revise el nivel del refrigerante	X	X									
Cambie el filtro y el aceite del motor											X
Cambie el filtro de pulmón (Lubrotiner)											X
Busque fugas en el sistema de combustible	Antes de cualquier servicio o Actividad de mantenimiento										
Inspeccione las bandas					X						X
Inspeccione el Sistema eléctrico											X
Inspeccione la líneas y juntas de vacío											X
<b>Sección refrigerante del motor</b>											
Limpie los desechos del radiador	Cada 100 horas ó 60 días de operación										
Cambie el refrigerante				X							
Busque cuarteaduras en las mangueras					X						X
<b>Sistema de Ignición del Motor</b>											
Busque daños en la cubierta de la batería					X						X
Revise todos los conectores eléctricos					X						X
Reemplace las bujías				X							X
Reemplace los cables de las bujías				X							

**Fuente:** Presentación unidad Morlift, TDA Supply and service S.A

**Figura A.5** Patín de nitrógeno unidad Morlift

Manómetros de presión de nitrógeno



Manómetro de precarga del hidráulico

**Fuente:** Presentación unidad Morlift, TDA Supply and service S.A

**Figura A.6** Mantenimiento del patín de nitrógeno unidad Morlift

Descripción	Días ó Horas de Operación	Instalación	24-48 hr después de la instalación	Diario 24	Semanal 150	Mensual 700	Semestral 4000
Purgar el aceite hidráulico del acumulador hasta una presión de cero e inspeccionar la presión de Nitrógeno en cada tanque					En lugares con temperatura elevada	X	
Recargar el acumulador con aceite hidráulico					En lugares con temperatura elevada	X	
Inspeccionar fugas en Conexiones Hidráulicas			X		X		
Inspeccionar fugas y posibles fallas en Mangueras			X			X	
Inspeccionar que las conexiones hidráulicas estén correctamente apretadas		X	X			X	
Inspeccionar manómetros de Presión						X	

**Fuente:** Presentación unidad Morlift, TDA Supply and service S.A

## ANEXO B.:SURVEY DATA DE LOS POZOS CANDIDATOS

**Tabla B.1:** Survey data pozo 3310

Measured Depth (ft)	Incl. (deg)	Azim. (deg)	Vertical Depth (ft)	Sub-Sea Depth (ft)	Local Coordinates		UTM Coordinates		Vertical Section (ft)	Dogleg Rate (deg/100ft)	Comments
					Northings (ft)	Eastings (ft)	Northings (m)	Eastings (m)			
0	0	0	0	-305.95	0 N	0 E	1252595.781	1034674.904	0	0	
114	0.53	222.81	114	-191.95	0.39 S	0.36 W	1252595.663	1034674.795	0.49	0.46	
175	1.63	219.42	174.99	-130.96	1.26 S	1.1 W	1252595.396	1034674.568	1.58	1.81	
206	2.48	213.69	205.97	-99.98	2.16 S	1.75 W	1252595.122	1034674.37	2.66	2.82	
237	3.44	215.75	236.92	-69.03	3.48 S	2.67 W	1252594.722	1034674.091	4.22	3.12	
322	5.727	212.002	321.65	15.7	9.14 S	6.41 W	1252592.994	1034672.951	10.87	2.71	Casing 9 5/8" @ 322ft MD
341	6.24	211.54	340.54	34.59	10.83 S	7.45 W	1252592.481	1034672.634	12.82	2.71	
371	7.01	207.1	370.34	64.39	13.85 S	9.14 W	1252591.561	1034672.119	16.26	3.08	
402	7.79	201.41	401.09	95.14	17.49 S	10.76 W	1252590.451	1034671.623	20.24	3.45	
433	8.42	198.83	431.78	125.83	21.59 S	12.26 W	1252589.2	1034671.166	24.61	2.35	
463	9.68	197.98	461.4	155.45	26.07 S	13.75 W	1252587.835	1034670.713	29.32	4.22	
494	10.89	198.08	491.9	185.95	31.33 S	15.46 W	1252586.231	1034670.19	34.84	3.9	
524	11.61	199.06	521.33	215.38	36.88 S	17.33 W	1252584.541	1034669.622	40.68	2.48	
555	12.58	199.9	551.64	245.69	43 S	19.5 W	1252582.674	1034668.961	47.17	3.18	
586	13.77	202.23	581.82	275.87	49.59 S	22.04 W	1252580.666	1034668.185	54.23	4.2	
616	14.97	201.77	610.88	304.93	56.49 S	24.83 W	1252578.562	1034667.336	61.68	4.02	
647	16.28	201.16	640.74	334.79	64.27 S	27.88 W	1252576.193	1034666.405	70.03	4.26	
678	17.32	200.03	670.41	364.46	72.65 S	31.03 W	1252573.636	1034665.445	78.99	3.52	
709	18.67	200.36	699.9	393.95	81.64 S	34.34 W	1252570.897	1034664.437	88.56	4.37	
739	19.92	199.69	728.21	422.26	90.95 S	37.73 W	1252568.058	1034663.403	98.47	4.23	
785	22.01	199.32	771.16	465.21	106.47 S	43.23 W	1252563.329	1034661.729	114.91	4.55	
830	24	200.26	812.58	506.63	123.01 S	49.19 W	1252558.287	1034659.912	132.48	4.5	
874	25.26	201.19	852.58	546.63	140.16 S	55.68 W	1252553.06	1034657.934	150.81	3	
919	26	201.48	893.15	587.2	158.29 S	62.76 W	1252547.533	1034655.775	170.28	1.67	
964	27.13	201.28	933.4	627.45	177.03 S	70.1 W	1252541.822	1034653.539	190.4	2.52	
1010	28.94	202.87	974	668.05	197.06 S	78.23 W	1252535.717	1034651.06	212.02	4.26	
1055	30.86	204.08	1013.01	707.06	217.63 S	87.17 W	1252529.447	1034648.335	234.44	4.47	
1100	32.82	204.21	1051.24	745.29	239.29 S	96.88 W	1252522.844	1034645.375	258.16	4.36	
1145	34.69	203.15	1088.65	782.7	262.19 S	106.92 W	1252515.865	1034642.316	283.15	4.36	
1168	34.934	202.477	1107.53	801.58	274.3 S	112.01 W	1252512.176	1034640.764	296.28	1.98	End Of Build @ 1168.00 ft MD

1190	35.17	201.84	1125.54	819.59	286 S	116.77 W	1252508.609	1034639.312	308.91	1.98	
1235	34.63	201.35	1162.45	856.5	309.94 S	126.25 W	1252501.312	1034636.423	334.66	1.35	
1280	34.33	201.03	1199.54	893.59	333.69 S	135.46 W	1252494.072	1034633.617	360.13	0.78	
1325	32.98	200.3	1237	931.05	357.02 S	144.26 W	1252486.961	1034630.933	385.07	3.13	
1370	33.39	200.5	1274.66	968.71	380.11 S	152.85 W	1252479.924	1034628.316	409.69	0.94	
1415	33.02	199.88	1312.31	1006.36	403.24 S	161.35 W	1252472.875	1034625.724	434.32	1.12	
1460	32.19	199.15	1350.22	1044.27	426.09 S	169.45 W	1252465.909	1034623.254	458.54	2.04	
1473	31.8	199.105	1361.25	1055.3	432.6 S	171.71 W	1252463.925	1034622.567	465.42	3.01	Start Drop @ 1473.00 ft MD
1505	30.84	198.99	1388.58	1082.63	448.32 S	177.14 W	1252459.133	1034620.912	482.04	3.01	
1550	29.56	199.51	1427.47	1121.52	469.69 S	184.6 W	1252452.619	1034618.638	504.65	2.9	
1595	29.01	200.32	1466.72	1160.77	490.39 S	192.1 W	1252446.311	1034616.353	526.65	1.51	
1640	28.38	200.55	1506.2	1200.25	510.63 S	199.64 W	1252440.14	1034614.054	548.24	1.42	
1685	27.37	200.62	1545.97	1240.02	530.33 S	207.04 W	1252434.137	1034611.799	569.28	2.25	
1730	26.57	200.38	1586.08	1280.13	549.45 S	214.18 W	1252428.31	1034609.62	589.68	1.79	
1775	25.87	200.73	1626.45	1320.5	568.06 S	221.16 W	1252422.636	1034607.493	609.56	1.59	
1820	25.66	200.81	1666.98	1361.03	586.35 S	228.1 W	1252417.061	1034605.379	629.11	0.47	
1865	24.44	201.08	1707.74	1401.79	604.15 S	234.91 W	1252411.638	1034603.303	648.16	2.72	
1911	23.24	202.43	1749.82	1443.87	621.41 S	241.8 W	1252406.374	1034601.204	666.75	2.87	
1956	22.24	204.18	1791.32	1485.37	637.39 S	248.67 W	1252401.505	1034599.108	684.14	2.68	
2001	20.79	204.4	1833.18	1527.23	652.43 S	255.46 W	1252396.92	1034597.04	700.63	3.23	
2046	19.07	203.65	1875.49	1569.54	666.44 S	261.71 W	1252392.65	1034595.135	715.96	3.86	
2091	18.08	203.66	1918.14	1612.19	679.57 S	267.46 W	1252388.648	1034593.382	730.29	2.2	
2136	17.27	203.05	1961.02	1655.07	692.11 S	272.88 W	1252384.825	1034591.731	743.94	1.85	
2181	16.34	202.52	2004.09	1698.14	704.11 S	277.92 W	1252381.169	1034590.195	756.95	2.09	
2226	14.86	201.13	2047.44	1741.49	715.34 S	282.42 W	1252377.746	1034588.821	769.05	3.39	
2271	13.29	200.68	2091.08	1785.13	725.56 S	286.33 W	1252374.631	1034587.631	779.99	3.5	
2315.89	12.013	201.707	2134.88	1828.93	734.73 S	289.88 W	1252371.836	1034586.549	789.82	2.89	C1-LS/13310
2316	12.01	201.71	2134.99	1829.04	734.75 S	289.89 W	1252371.83	1034586.546	789.85	2.89	
2325.71	11.776	202.121	2144.49	1838.54	736.6 S	290.64 W	1252371.264	1034586.318	791.85	2.56	
2361	10.93	203.76	2179.09	1873.14	743 S	293.34 W	1252369.314	1034585.494	798.79	2.56	
2406	9.45	205.17	2223.38	1917.43	750.25 S	296.63 W	1252367.104	1034584.491	806.75	3.34	
2451	7.96	207.12	2267.86	1961.91	756.37 S	299.62 W	1252365.24	1034583.579	813.54	3.37	
2496	6.22	208.57	2312.52	2006.57	761.28 S	302.21 W	1252363.742	1034582.791	819.06	3.89	
2541	4.88	203.25	2357.3	2051.35	765.18 S	304.13 W	1252362.553	1034582.205	823.4	3.19	
2586	3.98	197.41	2402.17	2096.22	768.43 S	305.35 W	1252361.563	1034581.833	826.87	2.23	
2631	3.19	193.14	2447.08	2141.13	771.14 S	306.1 W	1252360.737	1034581.604	829.66	1.85	
2677	2.24	187.71	2493.03	2187.08	773.28 S	306.52 W	1252360.086	1034581.478	831.8	2.14	
2722	1.9	187.92	2538	2232.05	774.89 S	306.74 W	1252359.595	1034581.411	833.38	0.76	
2740	1.9	187.012	2555.99	2250.04	775.48 S	306.81 W	1252359.415	1034581.387	833.95	0.17	End Of Drop @ 2740.00 ft MD
2767	1.9	185.65	2582.97	2277.02	776.37 S	306.91 W	1252359.143	1034581.357	834.82	0.17	
2812	1.57	172.7	2627.95	2322	777.72 S	306.91 W	1252358.731	1034581.359	836.07	1.13	
2857	1.71	163.78	2672.94	2366.99	778.98 S	306.64 W	1252358.348	1034581.44	837.14	0.65	
2902	1.74	158.56	2717.91	2411.96	780.26 S	306.2 W	1252357.958	1034581.573	838.16	0.36	
2947	1.58	145.8	2762.9	2456.95	781.41 S	305.61 W	1252357.607	1034581.755	839	0.89	
2992	1.69	142.69	2807.88	2501.93	782.45 S	304.86 W	1252357.29	1034581.984	839.69	0.31	
3037	1.9	138.31	2852.86	2546.91	783.54 S	303.96 W	1252356.959	1034582.258	840.36	0.56	
3082	2.12	127.49	2897.83	2591.88	784.6 S	302.8 W	1252356.635	1034582.611	840.91	0.97	
3127	2.54	123.38	2942.79	2636.84	785.65 S	301.31 W	1252356.314	1034583.066	841.34	1	
3172	2.68	120.76	2987.74	2681.79	786.74 S	299.57 W	1252355.982	1034583.595	841.69	0.41	
3217	2.93	115.21	3032.69	2726.74	787.77 S	297.63 W	1252355.669	1034584.188	841.92	0.82	
3262	2.99	117.3	3077.63	2771.68	788.8 S	295.54 W	1252355.356	1034584.823	842.1	0.27	
3279.18	3.021	117.149	3094.79	2788.84	789.21 S	294.74 W	1252355.23	1034585.067	842.18	0.18	OWC/13310
3307	3.07	116.91	3122.57	2816.62	789.88 S	293.42 W	1252355.025	1034585.468	842.31	0.18	
3352	3.06	116.88	3167.5	2861.55	790.97 S	291.28 W	1252354.694	1034586.122	842.52	0.02	
3369	3.26	114.51	3184.48	2878.53	791.37 S	290.43 W	1252354.57	1034586.38	842.58	1.4	
3431	3.395	114.224	3246.37	2940.42	792.86 S	287.16 W	1252354.118	1034587.379	842.73	0.22	Projection to Botton @ 3431.00 ft MD

Fuente: ECOPETROL S.A

**Tabla B.2: Survey data pozo 2360**

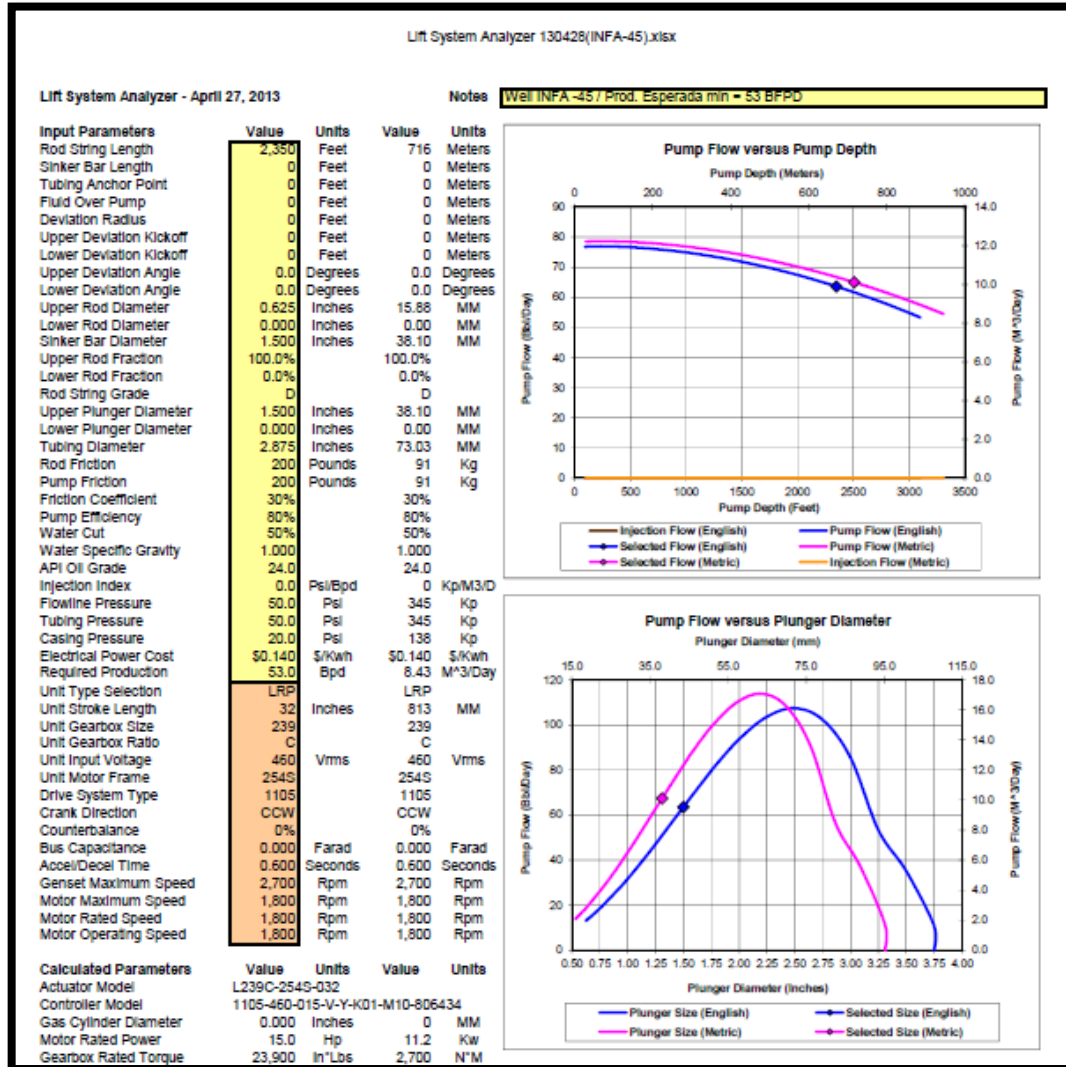
Measured Depth (ft)	Incl. (deg)	Azim. (deg)	Vertical Depth (ft)	Sub-Sea Depth (ft)	Local Coordinates		UTM Coordinates		Vertical Section (ft)	Dogleg Rate (deg/100ft)	Comments
					Northings (ft)	Eastings (ft)	Northings (m)	Eastings (m)			
0	0	0	0	-302.75	0 N	0 E	1261736.75	1035156.4	0	0	
332	0.244	106.85	332	29.25	0.21 S	0.68 E	1261736.687	1035156.606	-0.57	0.07	Casing 9 5/8" @ 332ft MD
367	0.27	106.85	367	64.25	0.25 S	0.83 E	1261736.674	1035156.652	-0.7	0.07	
397	0.36	99.57	397	94.25	0.29 S	0.99 E	1261736.663	1035156.701	-0.82	0.33	
428	0.44	107.96	428	125.25	0.34 S	1.2 E	1261736.646	1035156.765	-0.99	0.32	
459	0.5	114.61	459	156.25	0.43 S	1.43 E	1261736.618	1035156.837	-1.21	0.26	
489	0.6	115.5	489	186.25	0.55 S	1.69 E	1261736.581	1035156.916	-1.46	0.33	
520	0.62	114.57	519.99	217.24	0.69 S	1.99 E	1261736.538	1035157.008	-1.75	0.07	
551	0.54	114.15	550.99	248.24	0.82 S	2.28 E	1261736.499	1035157.095	-2.03	0.26	
583	0.55	115.57	582.99	280.24	0.95 S	2.56 E	1261736.46	1035157.179	-2.3	0.05	
601	0.788	126.227	600.99	298.24	1.06 S	2.73 E	1261736.426	1035157.233	-2.49	1.49	KOP @ 601.00 Ft MD
614	0.97	130.57	613.99	311.24	1.19 S	2.89 E	1261736.388	1035157.281	-2.69	1.49	
645	1.43	142.69	644.98	342.23	1.67 S	3.32 E	1261736.242	1035157.413	-3.33	1.69	
675	2.16	145.1	674.97	372.22	2.43 S	3.87 E	1261736.01	1035157.581	-4.27	2.45	
706	2.89	145.3	705.94	403.19	3.55 S	4.65 E	1261735.668	1035157.818	-5.63	2.36	
751	3.55	148.1	750.86	448.11	5.66 S	6.03 E	1261735.024	1035158.239	-8.15	1.51	
796	3.69	151.41	795.77	493.02	8.12 S	7.46 E	1261734.276	1035158.675	-10.97	0.56	
841	3.72	147.67	840.68	537.93	10.62 S	8.94 E	1261733.512	1035159.124	-13.86	0.54	
886	3.91	137.02	885.58	582.83	12.98 S	10.76 E	1261732.794	1035159.681	-16.84	1.63	
931	4.27	128.45	930.47	627.72	15.14 S	13.12 E	1261732.134	1035160.4	-19.99	1.57	
976	4.81	128.92	975.33	672.58	17.37 S	15.9 E	1261731.456	1035161.247	-23.44	1.2	
1021	5.1	130.78	1020.16	717.41	19.86 S	18.88 E	1261730.696	1035162.156	-27.22	0.74	
1066	3.9	126.9	1065.02	762.27	22.09 S	21.62 E	1261730.018	1035162.991	-30.65	2.75	
1112	2.71	119.35	1110.94	808.19	23.56 S	23.82 E	1261729.569	1035163.661	-33.15	2.75	
1157	2.04	117.73	1155.9	853.15	24.45 S	25.46 E	1261729.297	1035164.16	-34.85	1.5	
1202	1.28	135.1	1200.88	898.13	25.18 S	26.52 E	1261729.074	1035164.484	-36.07	2.01	
1247	0.52	190.31	1245.88	943.13	25.74 S	26.84 E	1261728.905	1035164.581	-36.7	2.38	
1292	1.77	301.03	1290.87	988.12	25.58 S	26.21 E	1261728.953	1035164.388	-36.2	4.47	
1337	3.38	306.03	1335.82	1033.07	24.44 S	24.54 E	1261729.3	1035163.88	-34.29	3.61	
1382	4.75	310.05	1380.71	1077.96	22.46 S	22.04 E	1261729.903	1035163.118	-31.2	3.11	
1427	5.84	314.25	1425.52	1122.77	19.67 S	18.97 E	1261730.755	1035162.183	-27.12	2.57	
1472	7.01	315.01	1470.23	1167.48	16.13 S	15.39 E	1261731.834	1035161.092	-22.14	2.61	
1517	8.34	315.09	1514.83	1212.08	11.87 S	11.15 E	1261733.131	1035159.798	-16.19	2.96	
1562	9.47	317.67	1559.29	1256.54	6.83 S	6.35 E	1261734.669	1035158.335	-9.27	2.66	
1607	10.88	321.44	1603.58	1300.83	0.77 S	1.21 E	1261736.516	1035156.769	-1.34	3.46	
1652	12.21	322.68	1647.67	1344.92	6.34 N	4.32 W	1261738.682	1035155.082	7.66	3.01	
1697	13.55	322.03	1691.53	1388.78	14.28 N	10.45 W	1261741.102	1035153.214	17.69	3	
1742	14.82	321.48	1735.16	1432.41	22.94 N	17.28 W	1261743.741	1035151.133	28.72	2.84	
1787	16.07	321.76	1778.53	1475.78	32.33 N	24.72 W	1261746.605	1035148.866	40.7	2.78	
1832	16.63	324.19	1821.72	1518.97	42.45 N	32.34 W	1261749.688	1035146.542	53.36	1.96	
1873	17.085	326.008	1860.95	1558.2	52.2 N	39.14 W	1261752.66	1035144.47	65.24	1.7	End Of Build @ 1873.00 Ft MD
1877	17.13	326.18	1864.78	1562.03	53.17 N	39.8 W	1261752.957	1035144.269	66.42	1.7	
1922	16.79	326.07	1907.82	1605.07	64.07 N	47.11 W	1261756.279	1035142.039	79.53	0.76	
1967	16.65	325.97	1950.92	1648.17	74.81 N	54.35 W	1261759.551	1035139.834	92.45	0.32	
2013	17.86	324.25	1994.85	1692.1	85.99 N	62.16 W	1261762.961	1035137.454	106.09	2.85	
2058	18.74	324.5	2037.57	1734.82	97.48 N	70.39 W	1261766.462	1035134.945	120.21	1.96	
2103	18.9	325.09	2080.16	1777.41	109.34 N	78.76 W	1261770.077	1035132.394	134.72	0.55	
2148	18.41	325.38	2122.8	1820.05	121.17 N	86.97 W	1261773.681	1035129.893	149.11	1.11	
2193	18.22	325.11	2165.52	1862.77	132.78 N	95.03 W	1261777.223	1035127.436	163.24	0.46	
2238	17.97	324.9	2208.29	1905.54	144.23 N	103.04 W	1261780.713	1035124.993	177.21	0.57	
2283	17.44	325.65	2251.16	1948.41	155.48 N	110.84 W	1261784.141	1035122.616	190.88	1.28	
2328	17.24	324.56	2294.12	1991.37	166.48 N	118.51 W	1261787.494	1035120.278	204.28	0.85	
2373	17.2	323.43	2337.1	2034.35	177.26 N	126.34 W	1261790.778	1035117.891	217.6	0.75	
2418	16.89	323.84	2380.12	2077.37	187.88 N	134.16 W	1261794.016	1035115.507	230.79	0.74	
2463	16.83	324.21	2423.19	2120.44	198.44 N	141.83 W	1261797.235	1035113.17	243.84	0.27	
2508	16.49	323.93	2466.3	2163.55	208.89 N	149.4 W	1261800.419	1035110.863	256.74	0.78	
2553	16.35	323.88	2509.47	2206.72	219.17 N	156.89 W	1261803.552	1035108.579	269.46	0.31	
2598	16.21	323.79	2552.66	2249.91	229.35 N	164.34 W	1261806.656	1035106.31	282.07	0.32	
2643	15.99	323.59	2595.9	2293.15	239.41 N	171.73 W	1261809.721	1035104.057	294.55	0.5	
2688	15.94	323.92	2639.16	2336.41	249.39 N	179.05 W	1261812.764	1035101.827	306.93	0.23	
2708.78	15.824	324.227	2659.14	2356.39	253.99 N	182.38 W	1261814.167	1035100.81	312.61	0.69	Target C1/C2360

2733	15.69	324.59	2682.46	2379.71	259.34 N	186.21 W	1261815.798	1035099.643	319.19	0.69
2779	15.39	325.25	2726.78	2424.03	269.43 N	193.29 W	1261818.871	1035097.484	331.51	0.76
2824	15.37	324.64	2770.16	2467.41	279.2 N	200.15 W	1261821.849	1035095.395	343.43	0.36
2869	15.4	324.76	2813.55	2510.8	288.94 N	207.05 W	1261824.819	1035093.292	355.37	0.1
2914	15.19	325	2856.96	2554.21	298.65 N	213.88 W	1261827.779	1035091.21	367.23	0.49
2959	15.23	324	2900.38	2597.63	308.26 N	220.73 W	1261830.708	1035089.121	379.03	0.59
3004	15.11	324.08	2943.81	2641.06	317.79 N	227.65 W	1261833.613	1035087.013	390.81	0.27
3049	15	323.74	2987.27	2684.52	327.24 N	234.53 W	1261836.492	1035084.915	402.5	0.31
3094	14.95	322.89	3030.74	2727.99	336.56 N	241.48 W	1261839.334	1035082.797	414.12	0.5
3139	14.74	322.69	3074.24	2771.49	345.75 N	248.45 W	1261842.133	1035080.672	425.65	0.48
3184	14.4	322	3117.79	2815.04	354.71 N	255.37 W	1261844.865	1035078.565	436.97	0.85
3229	14.04	321.78	3161.41	2858.66	363.41 N	262.19 W	1261847.516	1035076.485	448.02	0.81
3274	13.93	321	3205.08	2902.33	371.9 N	268.97 W	1261850.106	1035074.417	458.89	0.48
3319	13.81	320.49	3248.77	2946.02	380.26 N	275.8 W	1261852.652	1035072.336	469.67	0.38
3364	13.88	320.55	3292.46	2989.71	388.57 N	282.65 W	1261855.186	1035070.25	480.43	0.16
3409	13.88	320.22	3336.15	3033.4	396.88 N	289.53 W	1261857.72	1035068.152	491.21	0.18 Last Survey @ 3409.00 Ft MD
3456	13.917	320.079	3381.77	3079.02	405.55 N	296.76 W	1261860.362	1035065.947	502.49	0.11 TD @ 3456ft MD

Fuente: ECOPETROL S.A

## ANEXO C. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS A LOS POZOS CANDIDATOS

Figura C1. Simulación Unidad LRP, pozo 45



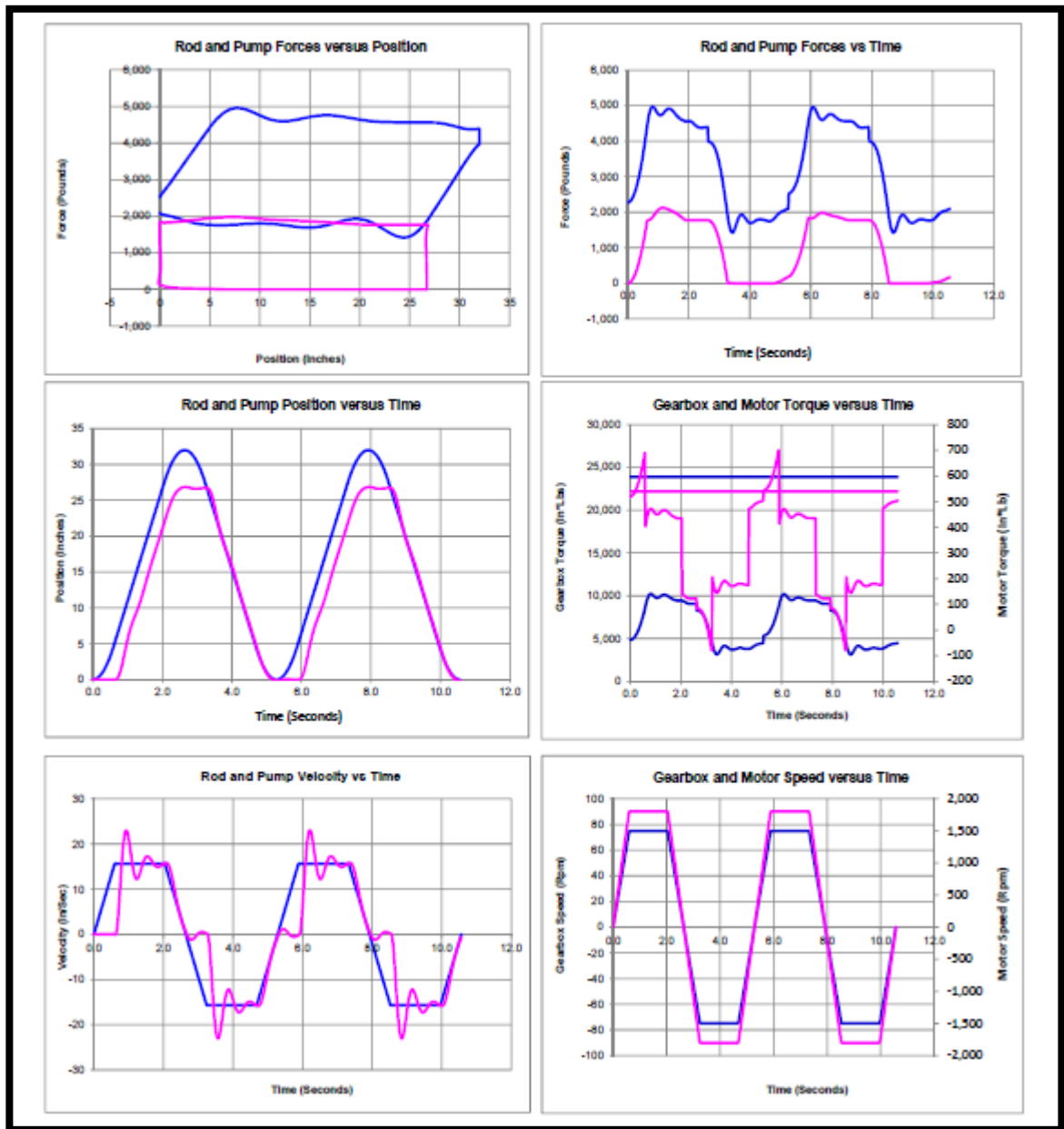
Unit Gearbox Ratio	24.06		24.06	
Optimum Gearbox Ratio	19.50		19.50	
Gearbox Service Factor	3.393		3.320	
Motor Torque Ratio	62.4%		67.4%	
Gearbox Peak Load	38.4%		42.8%	
Pinion Peak Load	0.0%		42.8%	
Motor Peak Torque	119.4%		129.4%	
Motor Peak Power	122.8%		128.9%	
Maximum Plunger Diameter	2.314	Inches	58.79	MM
Pump Depth	2,350	Feet	716	Meters
Fluid Level	2,350	Feet	716	Meters
Deviation Distance	0	Feet	0	Meters
Rod Stretch Ratio	0.153		0.153	
Oscillation Ratio	0.109		0.109	
Oscillation Frequency	104.28	Spm	104.28	Spm
Pumping Speed Limit	36.06	Spm	36.06	Spm
Pump Operating Speed	11.35	Spm	11.35	Spm

Pump Required Speed	10.06	Spm	10.06	Spm
Maximum Rod Speed	15.67	In/Sec	398	MM/Sec
Oil Specific Gravity	0.910		0.910	
Fluid Specific Gravity	0.955		0.955	
Pump Intake Pressure	20.0	Psi	138	Kp
Pump Discharge Pressure	1,021.7	Psi	7,044	Kp
Pump Injection Pressure	0.0	Psi	0	Kp
Gas Compressor Flow	0.0	Mcf/Day	0	M <sup>3</sup> /Day
Counterbalance Pressure	0.0	Psi	0	Kp
Counterbalance Force	0	Pounds	0	Kg
Rod String Force	2,272	Pounds	1,030	Kg
Fluid Column Force	1,770	Pounds	803	Kg
Fluid Injection Force	0	Pounds	0	Kg
Rod Compression Force	200	Pounds	91	Kg
Rod Up Stroke Force	4,442	Pounds	2,015	Kg
Rod Down Stroke Force	1,872	Pounds	849	Kg
Maximum Rod Load	4,968	Pounds	2,253	Kg
Minimum Rod Load	1,422	Pounds	645	Kg
Gearbox Ave Up Torque	8,826	In*Lbs	997.2	N*M
Gearbox Ave Down Torque	4,654	In*Lbs	525.9	N*M
Gearbox Peak Torque	10,237	In*Lbs	1,156.6	N*M
Gearbox RMS Torque	7,198	In*Lbs	813.3	N*M
Motor Up Stroke Torque	424	In*Lbs	47.9	N*M
Motor Down Stroke Torque	187	In*Lbs	21.1	N*M
Motor Accel Torque	297	In*Lbs	33.5	N*M
Motor Rated Torque	540	In*Lbs	61.0	N*M
Motor RMS Torque	337	In*Lbs	38.1	N*M
Electrical Input Power	5.01	Hp	3.73	Kw
Dynamic Brake Power	1.77	Hp	1.32	Kw
Bus Capacitor Power	0.00	Hp	0.00	Kw
Gas Compressor Power	0.00	Hp	0.00	Kw
Polished Rod Power	2.30	Hp	1.71	Kw
Fluid Lift Power	1.05	Hp	0.78	Kw
Fluid Injection Power	0.00	Hp	0.00	Kw
Input Power Cost	\$376	\$/Mon	\$376	\$/Mon
Brake Power Cost	\$133	\$/Mon	\$133	\$/Mon
Fluid Power Cost	\$0.20	\$/Bbl	\$1.24	\$/M <sup>3</sup>
Oil Power Cost	\$0.39	\$/Bbl	\$2.48	\$/M <sup>3</sup>
Energy Storage Capacitor	0.041	Farad	0.041	Farad
Energy Storage Inertia	2.781	In*Lb*Sec <sup>2</sup>	0.314	Kg*M <sup>2</sup>
Backspin Braking Power	0.73	Hp	0.54	Kw
Backspin Braking Speed	272	Rpm	272	Rpm
Dynamic Brake Factor	11.8%		11.8%	
System Efficiency	21.0%		21.0%	
Polished Rod Stress	3,620	Psi	1,262	Kn/M <sup>2</sup>
Coupling Stress	7,098	Psi	2,474	Kn/M <sup>2</sup>
Max Upper Rod Stress	14,479	Psi	5,046	Kn/M <sup>2</sup>
Min Upper Rod Stress	6,102	Psi	2,127	Kn/M <sup>2</sup>
Max Lower Rod Stress	0	Psi	0	Kn/M <sup>2</sup>
Min Lower Rod Stress	0	Psi	0	Kn/M <sup>2</sup>
Polished Rod Stress	3.8%		3.8%	
Coupling Stress	7.5%		7.5%	
Upper Rod Stress	12.6%		12.6%	
Lower Rod Stress	0.0%		0.0%	
Upper Rod Service Factor	45.0%		45.0%	
Lower Rod Service Factor	0.0%		0.0%	
Fluid Load Stretch	4.9	Inches	124.4	MM
Friction Stretch	1.1	Inches	28.1	MM
Tubing Stretch	0.9	Inches	22.9	MM
Static Stretch	6.9	Inches	175.3	MM
Pump Stroke	26.7	Inches	678.1	MM
Pump Production Flow	63.6	Bbl/Day	10.11	M <sup>3</sup> /Day
Pump Injection Flow	0.0	Bbl/Day	0.00	M <sup>3</sup> /Day
Pump Oil Flow	31.9	Bbl/Day	5.07	M <sup>3</sup> /Day

Nema Frame Motor Model Numbers		
Motor Rated Power	TEFC Class 1 Division 2	TEFC Explosion Proof
5 Hp	184S	184E
10 Hp	215S	215E
15 Hp	254S	254E
20 Hp	256S	256E
25 Hp	284S	284E
30 Hp	286S	286E
40 Hp	324S	324E
50 Hp	326S	326E
60 Hp	364S	364E
75 Hp	365S	365E
100 Hp	405S	405E
125 Hp	444S	444E
150 Hp	445S	445E
200 Hp	447S	447E
250 Hp	449S	449E

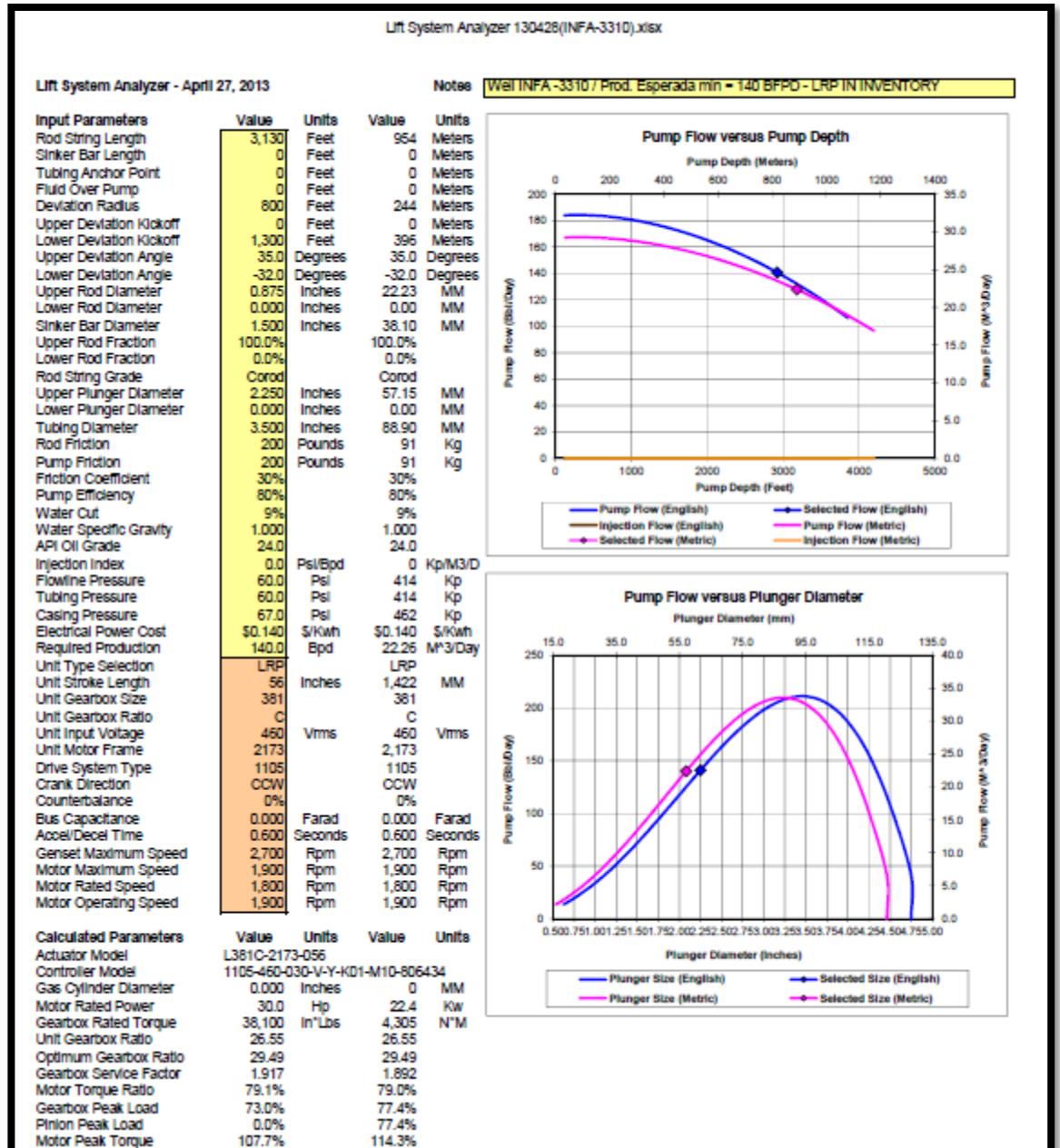
Square Frame Motor Model Numbers				PM
Motor Rated Power	TEFC Class 1 Division 2	TEBC Class 1 Division 2	DPFV Class 1 Division 2	TEBC Class 1 Division 2
15 Hp	1852			
20 Hp	2162			
25 Hp	2168			
30 Hp	2173	2169		1855
40 Hp	2570	2174		2165
50 Hp	2578	2571		2171
60 Hp	2586	2579	2572	2176
75 Hp	2890	2587	2580	2581
100 Hp	3203	2899	2588	2589
125 Hp			2884	2885
150 Hp			2892	2893
200 Hp			3205	
250 Hp			3215	

Maximum Rod Service Factors		
Type of Service	API C	API D
Non-Corrosive	100%	100%
Salt Water	65%	90%
Hydrogen Sulfide	50%	70%



Fuente: UNICO, Lift system analyzer (45) Pdf. Junio de 2013

Figura C2.Simulacion Unidad LRP, pozo 3310



Motor Peak Power	117.0%		124.1%	
Maximum Plunger Diameter	2.846	Inches	72.29	MM
Pump Depth	2,922	Feet	891	Meters
Fluid Level	2,922	Feet	891	Meters
Deviation Distance	826	Feet	252	Meters
Rod Stretch Ratio	0.166		0.166	
Oscillation Ratio	0.088		0.088	
Oscillation Frequency	78.30	Spm	78.30	Spm
Pumping Speed Limit	29.83	Spm	29.83	Spm
Pump Operating Speed	6.92	Spm	6.92	Spm
Pump Required Speed	7.24	Spm	7.24	Spm
Maximum Rod Speed	14.99	In/Sec	381	MM/Sec
Oil Specific Gravity	0.910		0.910	
Fluid Specific Gravity	0.918		0.918	
Pump Intake Pressure	67.0	Psi	462	Kp
Pump Discharge Pressure	1,220.9	Psi	8,418	Kp
Pump Injection Pressure	0.0	Psi	0	Kp
Gas Compressor Flow	0.0	Mcf/Day	0	M <sup>3</sup> /Day
Counterbalance Pressure	0.0	Psi	0	Kp
Counterbalance Force	0	Pounds	0	Kg
Rod String Force	5,190	Pounds	2,354	Kg
Fluid Column Force	4,588	Pounds	2,081	Kg
Fluid Injection Force	0	Pounds	0	Kg
Rod Compression Force	200	Pounds	91	Kg
Rod Up Stroke Force	13,643	Pounds	6,187	Kg
Rod Down Stroke Force	3,269	Pounds	1,483	Kg
Maximum Rod Load	14,488	Pounds	6,570	Kg
Minimum Rod Load	2,533	Pounds	1,149	Kg
Gearbox Ave Up Torque	24,945	In*Lbs	2,818.4	N*M
Gearbox Ave Down Torque	10,208	In*Lbs	1,153.3	N*M
Gearbox Peak Torque	29,500	In*Lbs	3,333.1	N*M
Gearbox RMS Torque	20,136	In*Lbs	2,275.0	N*M
Motor Up Stroke Torque	1,164	In*Lbs	131.5	N*M
Motor Down Stroke Torque	296	In*Lbs	33.4	N*M
Motor Accel Torque	359	In*Lbs	40.5	N*M
Motor Rated Torque	1,080	In*Lbs	122.1	N*M
Motor RMS Torque	854	In*Lbs	96.5	N*M
Electrical Input Power	14.68	Hp	10.94	Kw
Dynamic Brake Power	3.99	Hp	2.98	Kw
Bus Capacitor Power	0.00	Hp	0.00	Kw
Gas Compressor Power	0.00	Hp	0.00	Kw
Polished Rod Power	8.31	Hp	6.20	Kw
Fluid Lift Power	2.78	Hp	2.07	Kw
Fluid Injection Power	0.00	Hp	0.00	Kw
Input Power Cost	\$1,104	\$/Mon	\$1,104	\$/Mon
Brake Power Cost	\$300	\$/Mon	\$300	\$/Mon
Fluid Power Cost	\$0.26	\$/Bbl	\$1.64	\$/M <sup>3</sup>
Oil Power Cost	\$0.29	\$/Bbl	\$1.80	\$/M <sup>3</sup>
Energy Storage Capacitor	0.153	Farad	0.153	Farad
Energy Storage Inertia	10,292	In*Lb*S <sup>2</sup>	1.163	Kg*M <sup>2</sup>
Backspin Braking Power	0.91	Hp	0.68	Kw
Backspin Braking Speed	215	Rpm	215	Rpm
Dynamic Brake Factor	13.3%		13.3%	
System Efficiency	18.9%		18.9%	
Polished Rod Stress	7,720	Psi	2,691	Kn/M <sup>2</sup>
Coupling Stress	11,122	Psi	3,876	Kn/M <sup>2</sup>
Max Upper Rod Stress	22,689	Psi	7,907	Kn/M <sup>2</sup>
Min Upper Rod Stress	5,437	Psi	1,895	Kn/M <sup>2</sup>
Max Lower Rod Stress	0	Psi	0	Kn/M <sup>2</sup>
Min Lower Rod Stress	0	Psi	0	Kn/M <sup>2</sup>
Polished Rod Stress	8.1%		8.1%	
Coupling Stress	11.7%		11.7%	
Upper Rod Stress	19.7%		19.7%	
Lower Rod Stress	0.0%		0.0%	
Upper Rod Service Factor	71.3%		71.3%	
Lower Rod Service Factor	0.0%		0.0%	
Fluid Load Stretch	9.3	Inches	236.6	MM
Friction Stretch	3.6	Inches	92.4	MM
Tubing Stretch	2.1	Inches	53.3	MM
Static Stretch	15.0	Inches	382.2	MM
Pump Stroke	43.1	Inches	1,095.2	MM
Pump Production Flow	140.8	Bbl/Day	22.39	M <sup>3</sup> /Day
Pump Injection Flow	0.0	Bbl/Day	0.00	M <sup>3</sup> /Day
Pump Oil Flow	128.9	Bbl/Day	20.49	M <sup>3</sup> /Day

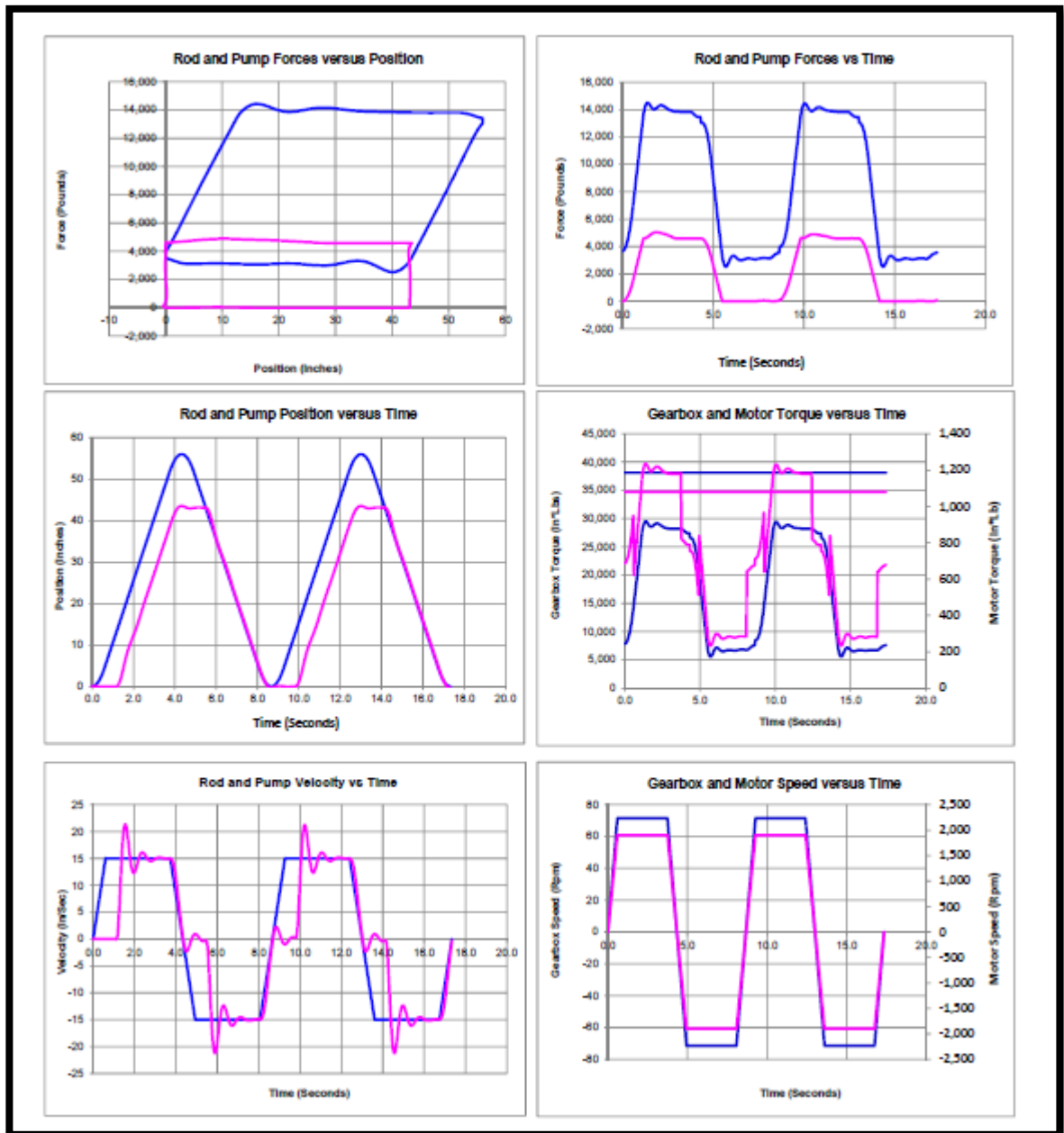
Motor Rated Power	TEFC Class 1 Division 2	TEFC Explosion Proof
5 Hp	184S	184E
10 Hp	215S	215E
15 Hp	254S	254E
20 Hp	256S	256E
25 Hp	284S	284E
30 Hp	286S	286E
40 Hp	324S	324E
50 Hp	326S	326E
60 Hp	364S	364E
75 Hp	365S	365E
100 Hp	405S	405E
125 Hp	444S	444E
150 Hp	445S	445E
200 Hp	447S	447E
250 Hp	449S	449E

Motor Rated Power	TEFC Class 1 Division 2	TEBC Class 1 Division 2	DPFV Class 1 Division 2	PM Class 1 Division 2
15 Hp	1852			
20 Hp	2162			
25 Hp	2168			
30 Hp	2173	2169		1855
40 Hp	2570	2174		2165
50 Hp	2578	2571		2171
60 Hp	2586	2579	2572	2176
75 Hp	2890	2587	2590	2581
100 Hp	3203	2899	2588	2589
125 Hp			2884	2885
150 Hp			2892	2893
200 Hp			3205	
250 Hp			3215	

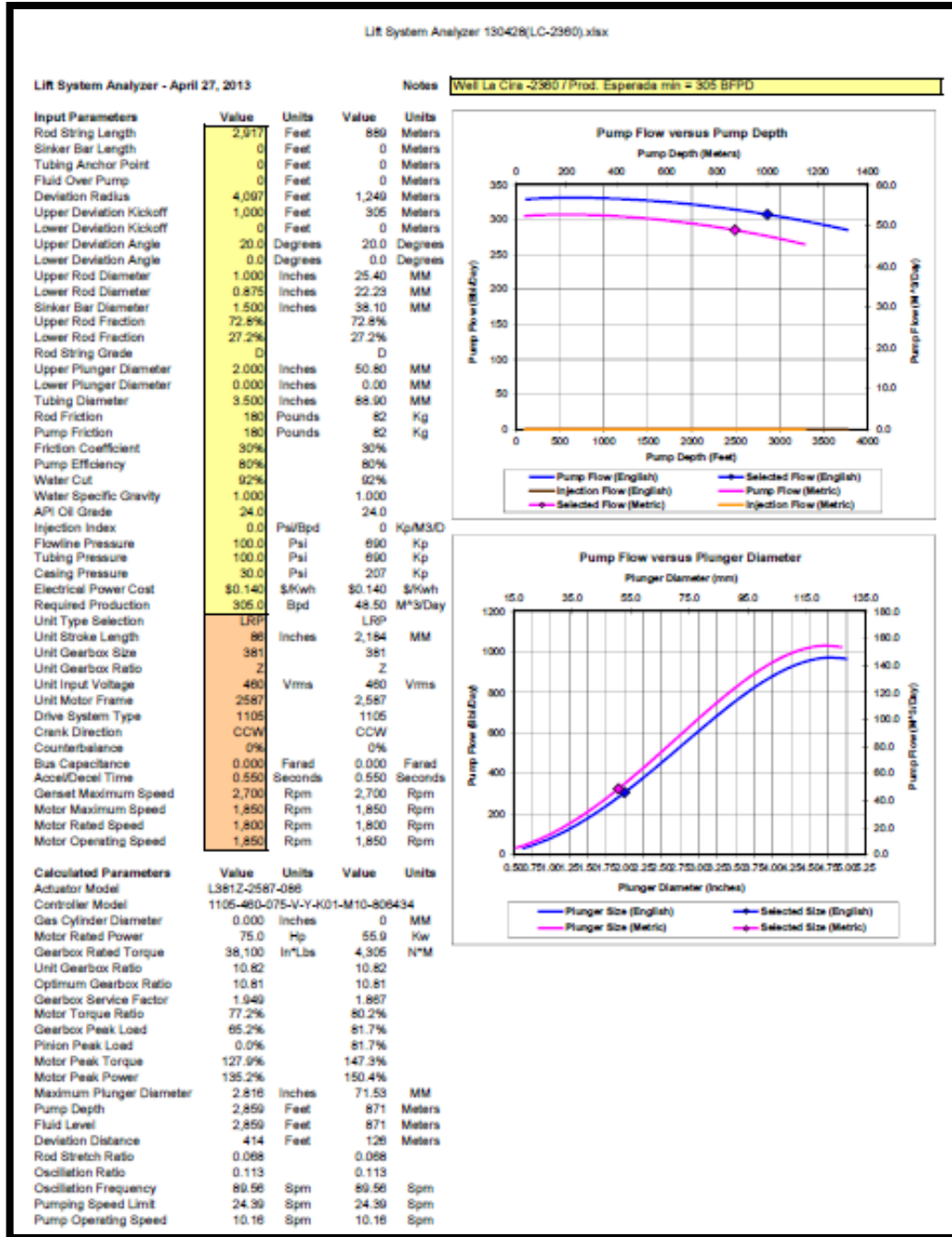
  

Type of Service	API C	API D
Non-Corrosive	100%	100%
Salt Water	65%	90%
Hydrogen Sulfide	50%	70%



Fuente: UNICO, Lift system analyzer (3310) Pdf. Junio de 2013

Figura C3.Simulacion Unidad LRP, pozo 2360



Pump Required Speed	10.70	Spm	10.70	Spm
Maximum Rod Speed	35.81	In/Sec	910	MM/Sec
Oil Specific Gravity	0.910		0.910	
Fluid Specific Gravity	0.992		0.992	
Pump Intake Pressure	30.0	Psi	207	Kp
Pump Discharge Pressure	1,328.5	Psi	9,160	Kp
Pump Injection Pressure	0.0	Psi	0	Kp
Gas Compressor Flow	0.0	Mcf/Day	0	M <sup>3</sup> /Day
Counterbalance Pressure	0.0	Psi	0	Kp
Counterbalance Force	0	Pounds	0	Kg
Rod String Force	6,610	Pounds	2,998	Kg
Fluid Column Force	4,079	Pounds	1,850	Kg
Fluid Injection Force	0	Pounds	0	Kg
Rod Compression Force	180	Pounds	82	Kg
Rod Up Stroke Force	12,024	Pounds	5,453	Kg
Rod Down Stroke Force	5,707	Pounds	2,588	Kg
Maximum Rod Load	15,161	Pounds	6,875	Kg
Minimum Rod Load	3,309	Pounds	1,501	Kg
Gearbox Ave Up Torque	25,510	In*Lbs	2,882.3	N*M
Gearbox Ave Down Torque	12,593	In*Lbs	1,422.8	N*M
Gearbox Peak Torque	31,128	In*Lbs	3,516.9	N*M
Gearbox RMS Torque	20,404	In*Lbs	2,305.4	N*M
Motor Up Stroke Torque	2,552	In*Lbs	288.4	N*M
Motor Down Stroke Torque	1,255	In*Lbs	141.8	N*M
Motor Accel Torque	901	In*Lbs	101.8	N*M
Motor Rated Torque	2,701	In*Lbs	305.2	N*M
Motor RMS Torque	2,086	In*Lbs	235.7	N*M
Electrical Input Power	33.87	Hp	25.26	Kw
Dynamic Brake Power	11.51	Hp	8.59	Kw
Bus Capacitor Power	0.00	Hp	0.00	Kw
Gas Compressor Power	0.00	Hp	0.00	Kw
Polished Rod Power	16.57	Hp	12.35	Kw
Fluid Lift Power	6.42	Hp	4.79	Kw
Fluid Injection Power	0.00	Hp	0.00	Kw
Input Power Cost	\$2,547	\$/Mon	\$2,547	\$/Mon
Brake Power Cost	\$866	\$/Mon	\$866	\$/Mon
Fluid Power Cost	\$0.28	\$/Bbl	\$1.74	\$/M <sup>3</sup>
Oil Power Cost	\$3.30	\$/Bbl	\$20.76	\$/M <sup>3</sup>
Energy Storage Capacitor	0.300	Farad	0.300	Farad
Energy Storage Inertia	20.199	In*Lb*S <sup>2</sup>	2.282	Kg*M <sup>2</sup>
Backspin Braking Power	6.56	Hp	4.89	Kw
Backspin Braking Speed	366	Rpm	366	Rpm
Dynamic Brake Factor	15.4%		15.4%	
System Efficiency	19.0%		19.0%	
Polished Rod Stress	6,604	Psi	2,371	Kn/M <sup>2</sup>
Coupling Stress	7,505	Psi	2,615	Kn/M <sup>2</sup>
Max Upper Rod Stress	15,309	Psi	5,335	Kn/M <sup>2</sup>
Min Upper Rod Stress	7,267	Psi	2,532	Kn/M <sup>2</sup>
Max Lower Rod Stress	9,525	Psi	3,319	Kn/M <sup>2</sup>
Min Lower Rod Stress	2,142	Psi	746	Kn/M <sup>2</sup>
Polished Rod Stress	7.2%		7.2%	
Coupling Stress	7.9%		7.9%	
Upper Rod Stress	13.3%		13.3%	
Lower Rod Stress	8.3%		8.3%	
Upper Rod Service Factor	46.6%		46.6%	
Lower Rod Service Factor	31.8%		31.8%	
Fluid Load Stretch	5.8	Inches	148.4	MM
Friction Stretch	2.0	Inches	50.2	MM
Tubing Stretch	1.7	Inches	44.2	MM
Static Stretch	9.6	Inches	242.7	MM
Pump Stroke	81.1	Inches	2,059.3	MM
Pump Production Flow	307.4	Bbl/Day	48.88	M <sup>3</sup> /Day
Pump Injection Flow	0.0	Bbl/Day	0.00	M <sup>3</sup> /Day
Pump Oil Flow	25.7	Bbl/Day	4.09	M <sup>3</sup> /Day

Nema Frame Motor Model Numbers

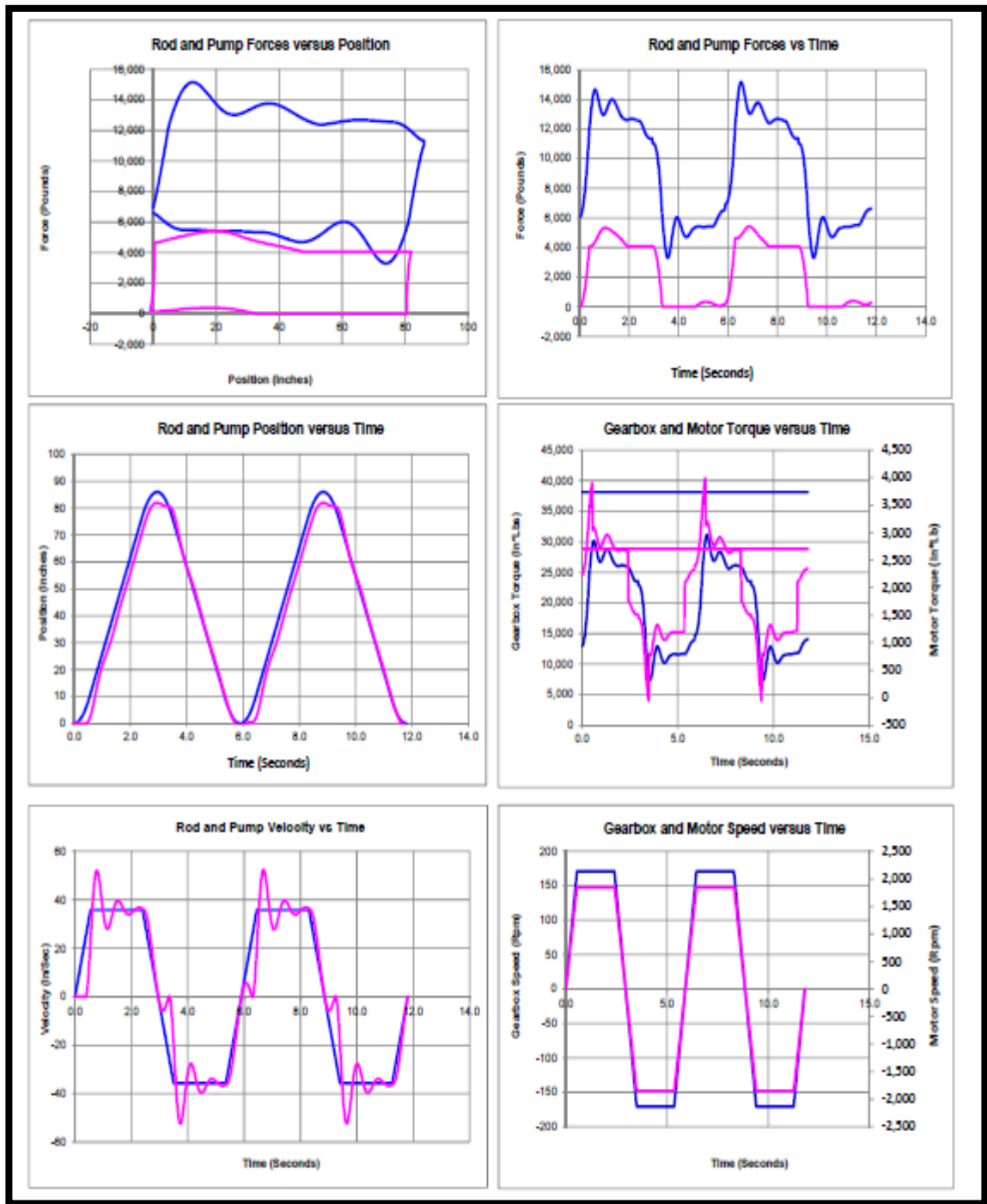
Motor Rated Power	TEFC Class 2	TEFC Explosion Proof
5 Hp	184S	184E
10 Hp	215S	215E
15 Hp	254S	254E
20 Hp	266S	266E
25 Hp	284S	284E
30 Hp	286S	286E
40 Hp	324S	324E
50 Hp	326S	326E
60 Hp	364S	364E
75 Hp	365S	365E
100 Hp	405S	405E
125 Hp	444S	444E
150 Hp	445S	445E
200 Hp	447S	447E
250 Hp	449S	449E

Square Frame Motor Model Numbers

Motor Rated Power	TEFC Class 1 Division 2	TEBC Class 1 Division 2	DPFV Class 1 Division 2	TEBC Class 1 Division 2	PM
15 Hp	1852				
20 Hp	2162				
25 Hp	2168				
30 Hp	2173	2169			1855
40 Hp	2570	2174			2165
50 Hp	2578	2571			2171
60 Hp	2586	2579	2572		2176
75 Hp	2890	2587	2580		2581
100 Hp	3203	2899	2588		2589
125 Hp			2884		2885
150 Hp			2892		2893
200 Hp			3205		
250 Hp			3215		

Maximum Rod Service Factors

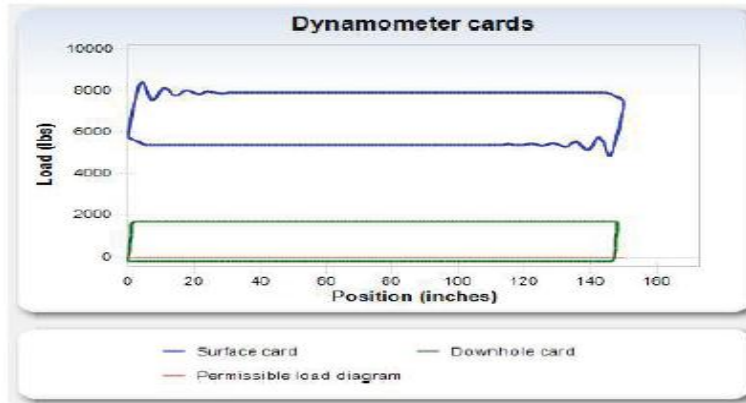
Type of Service	API C	API D
Non-Corrosive	100%	100%
Salt Water	65%	90%
Hydrogen Sulfide	50%	70%



Fuente: UNICO, Lift system analyzer (2360) Pdf. Junio de 2013

Figura C.4 Simulación unidad VSH2, pozo 45

RODSTAR-V 3.5.0				
Company: OCCIDENTAL		(c) Theta Oilfield Services, Inc. (www.gotheta.com)		Page 1 of 4
Well: INF 45				User: WPT
Disk file: INF 45 VSH2 MINI V 45 BFPD.rsvx				Date: 6/21/2013
Comment:				
INPUT DATA			CALCULATED RESULTS	
Target prod. (bfpd):	45	Fluid level	Production rate (bfpd):	45
Run time (hrs/day):	24.0	(ft from surface): 2150	Oil production (BOPD):	22
Tubing pres. (psi):	42	(ft over pump): 200	Strokes per minute:	1.45
Casing pres. (psi):	16.8	Stuf.box fr. (lbs): 100	System eff. (Motor->Pump):	37%
		Pol. Rod Diam: 1.5"	Permissible load HP:	19.8
			Fluid load on pump (lbs):	1622
			PRHP:	1.4
Fluid properties		Motor & power meter		
Water cut:	49.9%	Power Meter Detent	Required prime mover size	
Water sp. gravity:	1	Electr. cost: \$.08/KWH	(speed var. not included)	
Oil API gravity:	24.0	Type: NEMA D	BALANCED	
Fluid sp. gravity:	0.9549			
Pumping Unit: Weatherford VSH2 Nitrogen-Over-Hydraulic Unit				
Unit size: H-350-60 (unit ID: HWN3)				
Crank hole number	N/A			
Calculated stroke length (in):	150			
Crank Rotation:	N/A			
Max. CB weight	N/A			
Adjusted stroke length (in):	150			
Torque analysis and electricity consumption				
Tubing and pump information			BALANCED	
Tubing O.D. (ins):	2.875	Upstr. rod-tbg fr. coeff:	1.750	
Tubing I.D. (ins):	2.441	Dnstr. rod-tbg fr. coeff:	1.750	
Pump depth (ft):	2350	Tubing is not anchored		
Pump condition:	Full	Pump load adj. (lbs):	0.0	
Pump type:	Insert	Pump vol. efficiency:	80%	
Plunger size (ins)	1.5	Pump friction (lbs):	200.0	
Tubing, pump and plunger calculations				
Rod string design			Rod string stress analysis (service factor: 0.9)	
Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Min. Tensile Strength (psi)	
+ 1	D (API)	2350	115000	
+ Requires airhole couplings.				
NOTE Stress calculations do not include buoyancy effects.				
Stress Load %	Top Maximum Stress (psi)	Top Minimum Stress (psi)	Bot. Minimum Stress (psi)	Stress Calc. Method
19%	10756	6424	-255	API MG



ROD STRING COST ANALYSIS

Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Cost (\$/ft)	Total Cost (\$)
1.0	D (API)	2350	\$1.25	\$2937.50

Total (\$): \$2937.50

PUMPING UNIT COST ANALYSIS

Weatherford VSH2 Nitrogen-Over-Hydraulic  
 H-350-60  
 Unit Model 60

Total (\$): N/A

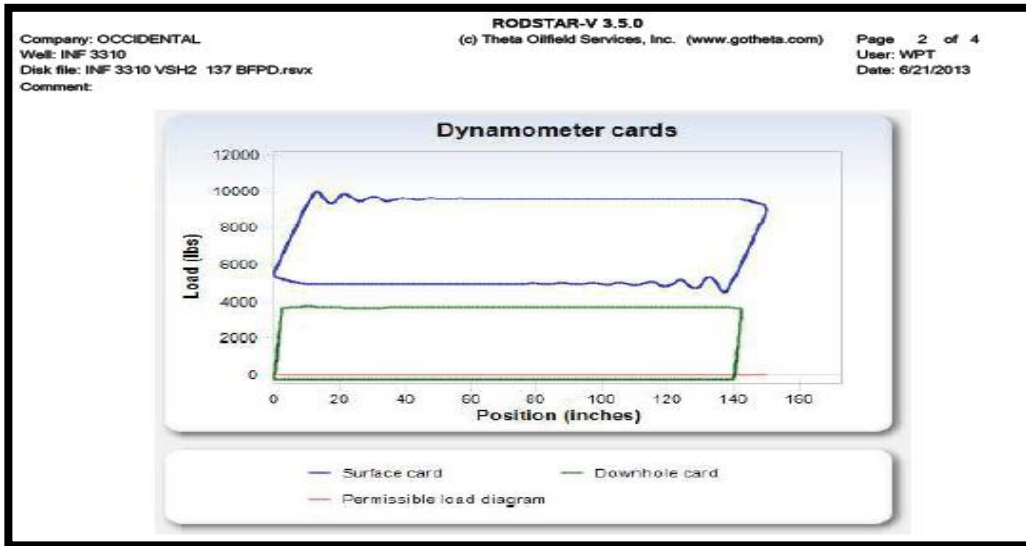
Rod String Order Summary		
Rod Grade	Diameter (inches)	Number of Rods
D (API)	1	94

Pump Depth (ft): 2350      Total Length (ft): 2350

Fuente: Weatherford 45 Vsh2. Pdf. Junio de 2013

Figura C.5 Simulación Unidad VSH2, pozo 3310

INPUT DATA		CALCULATED RESULTS		
Target prod. (bfpd): 137	Fluid level (ft from surface): 2930	Production rate (bfpd): 138	Peak pol. rod load (lbs): 10080	
Run time (hrs/day): 24.0	(ft over pump): 200	Oil production (BOPD): 126	Min. pol. rod load (lbs): 4525	
Tubing pres. (psi): 58	Stuf.box fr. (lbs): 100	Strokes per minute: 2.08	MPRI /PPRI: n 449	
Casing pres. (psi): 67	Pol. Rod Diam: 1.5"	System eff. (Motor->Pump): 61%	Unit struct. loading: 75%	
<b>Fluid properties</b>		Permissible load HP: 31.5	PRHP / PLHP: 0.11	
<b>Motor &amp; power meter</b>		Fluid load on pump (lbs): 4596	Buoyant rod weight (lbs): 5637	
Water cut: 8.5%	Power Meter Detent	PRHP: 3.4	N/No: .026 , Fo/SKR: .063	
Water sp. gravity: 1	Electr. cost: \$.09/KWH	<b>Required prime mover size (speed var. not included)</b> <b>BALANCED</b>		
Oil API gravity: 24.0	Type: NEMA D	NEMA D motor: 5 HP		
Fluid sp. gravity: 0.9176		Single/double cyl. engine: 5 HP		
Compress. index: 3.0		Multicylinder engine: 5 HP		
<b>Pumping Unit: Weatherford VSH2 Nitrogen-Over-Hydraulic Unit</b>		<b>Torque analysis and electricity consumption</b> <b>BALANCED</b>		
Unit size: H-400-150 (unit ID: HWN1)		Peak g'box torq: N/A		
Crank hole number: N/A		Gearbox loading: N/A		
Calculated stroke length (in): 150		Cyclic load factor: N/A		
Crank Rotation: N/A		Counterbalance weight: N/A		
Max. CB weight: N/A		Daily electr.use (KWH/day): 80		
Adjusted stroke length (in): 150		Monthly electric bill: \$219		
<b>Tubing and pump information</b>		Electr.cost per bbl. fluid: \$0.052		
Tubing O.D. (ins): 3.500	Upstr. rod-tbg fr. coeff: 1.370	Electr.cost per bbl. oil: \$0.057		
Tubing I.D. (ins): 2.992	Dnstr. rod-tbg fr. coeff: 1.370	<b>Tubing, pump and plunger calculations</b>		
Pump depth (ft): 3130	Tubing is not anchored	Tubing stretch (ins): 2.2		
Pump condition: Full	Pump load adj. (lbs): 0.0	Prod. loss due to tubing stretch (bfpd): 2.1		
Pump type: Insert	Pump vol. efficiency: 80%	Gross pump stroke (ins): 142.6		
Plunger size (ins): 2.25	Pump friction (lbs): 200.0	Pump spacing (in. from bottom): 9.4		
<b>Rod string design</b>		Minimum pump length (ft): 18.0		
Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Min. Tensile Strength (psi)	
14/16	Corod-R SE	3130	140000	
NOTE: Stress calculations do not include buoyancy effects.				
<b>Rod string stress analysis (service factor: 0.9)</b>		<b>Stress Load %</b>		
		Top Maximum Stress (psi)	Top Minimum Stress (psi)	Bot. Minimum Stress (psi)
		23%	16825	7919
			-333	API MG T/3



Company: OCCIDENTAL  
Well: INF 3310  
Disk file: INF 3310 VSH2 137 BFPD.rsvx  
Comment:

**RODSTAR-V 3.5.0**  
(c) Theta Oilfield Services, Inc. (www.gotheta.com)

Page 3 of 4  
User: WPT  
Date: 6/21/2013

**ROD STRING COST ANALYSIS**

Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Cost (\$/ft)	Total Cost (\$)
14/16 (#4)	Corod-R SE	3130	N/A	N/A

Total (\$): N/A

**PUMPING UNIT COST ANALYSIS**

Weatherford VSH2 Nitrogen-Over-Hydraulic  
H-400-150  
Unit Model 150

Total (\$): N/A

Company: OCCIDENTAL  
Well: INF 3310  
Disk file: INF 3310 VSH2 137 BFPD.rsvx  
Comment:

**RODSTAR-V 3.5.0**  
(c) Theta Oilfield Services, Inc. (www.gotheta.com)

Page 3 of 4  
User: WPT  
Date: 6/21/2013

**ROD STRING COST ANALYSIS**

Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Cost (\$/ft)	Total Cost (\$)
14/16 (#4)	Corod-R SE	3130	N/A	N/A

Total (\$): N/A

**PUMPING UNIT COST ANALYSIS**

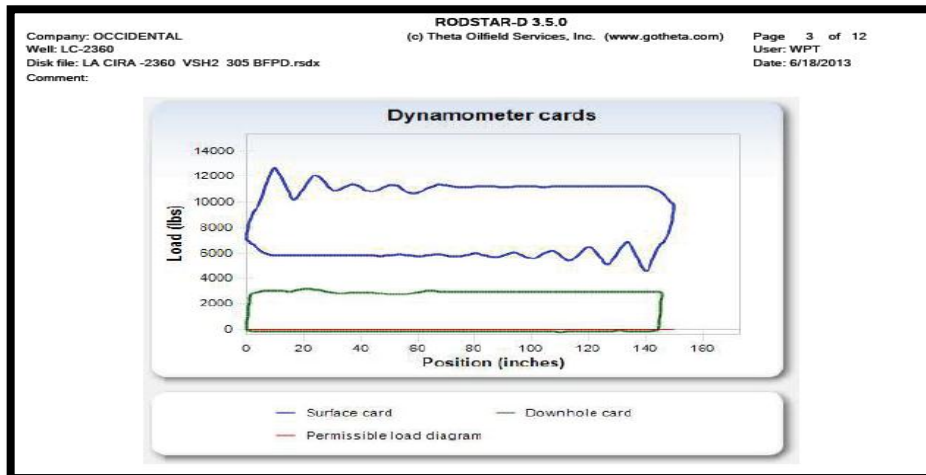
Weatherford VSH2 Nitrogen-Over-Hydraulic  
H-400-150  
Unit Model 150

Total (\$): N/A

Fuente: Weatherford 3310 Vsh2. Pdf. Junio de 2013

Figura C.6 Simulación unidad VSH2, pozo 2360 @ 3.74 SPM

RODSTAR-D 3.5.0									
Company: OCCIDENTAL			(c) Theta Oilfield Services, Inc. (www.gotheta.com)			Page 2 of 12			
Well: LC-2360						User: WPT			
Disk file: LA CIRA -2360 VSH2 305 BFPD.rsdX						Date: 6/18/2013			
Comment:									
INPUT DATA					CALCULATED RESULTS				
Target prod. (bfpd):	200	Pump int. pr. (psi):	417	Production rate (bfpd):	203	Peak pol. rod load (lbs):	12728		
Run time (hrs/day):	24.0	Fluid level		Oil production (BOPD):	17	Min. pol. rod load (lbs):	4471		
Tubing pres. (psi):	100	(ft over pump):	924	Strokes per minute:	3.74	MPRI /PPRI	0.351		
Casing pres. (psi):	38.7	Stuf.box fr. (lbs):	100	System eff. (Motor->Pump):	32%	Unit struct. loading:	32%		
			Pol. Rod Diam: 1.5"	Permissible load HP:	56.7	PRHP / PLHP	0.13		
<b>Fluid properties</b>			<b>Motor &amp; power meter</b>						
Water cut:	91.6%	Power Meter	Detent	Fluid load on pump (lbs):	2368	Buoyant rod weight (lbs):	6954		
Water sp. gravity:	1	Electr. cost:	\$ .09/KWH	Fluid level TVD (ft from surface):	1976	N/No: .042	Fo/SKr: .025		
Oil API gravity:	24.0	Type:	NEMA D	PRHP:	7.1				
Fluid sp. gravity:	0.9925								
Compress. index:	3.0								
<b>Pumping Unit: Weatherford VSH2 Nitrogen-Over-Hydraulic Unit</b>									
Unit size: H-400-150 (unit ID: HWN1)									
Crank hole number	N/A								
Calculated stroke length (in):	150								
Crank Rotation:	N/A								
Max. CB weight	N/A								
Adjusted stroke length (in):	150								
<b>Tubing and pump information</b>									
Tubing O.D. (ins):	3.500	Upstr. rod-fl. damp. coeff:	0.100						
Tubing I.D. (ins):	2.992	Dnstr. rod-fl. damp. coeff:	0.100						
Pump depth (ft):	2917	Tubing is not anchored							
Pump condition:	Full								
Pump type:	Insert								
Plunger size (ins)	2	Pump vol. efficiency:	80%						
		Pump friction (lbs):	200.0						
<b>Rod string design</b>									
Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Min. Tensile Strength (psi)	Fric. Coeff	Stress Load %	Top Maximum Stress (psi)	Top Minimum Stress (psi)	Bot. Minimum Stress (psi)	# Guides/Rod
1	Norris 97	1375	140000	0.2	25%	16304	6045	3143	0
1	TEN UHS-NR	775	140000	0.22	18%	10714	3143	1288	0
0.875	Norris D90	767	120000	0.22	28%	9139	1682	-333	0
NOTE: Stress calculations do not include buoyancy effects.									



RODSTAR-D 3.5.0

Company: OCCIDENTAL

(c) Theta Oilfield Services, Inc. (www.gotheta.com)

Page 4 of 12

Well: LC-2360

User: WPT

Disk file: LA CIRA -2360 VSH2 305 BFPD.rsd

Date: 6/18/2013

Comment:

ROD STRING COST ANALYSIS

Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Cost (\$/ft)	Total Cost (\$)
1.0	Norris 97	1375	N/A	N/A
1.0	TEN UHS-NR	775	N/A	N/A
0.875	Norris D90	767	N/A	N/A

Total (\$): N/A

PUMPING UNIT COST ANALYSIS

Weatherford VSH2 Nitrogen-Over-Hydraulic

H-400-150

Unit Model 150

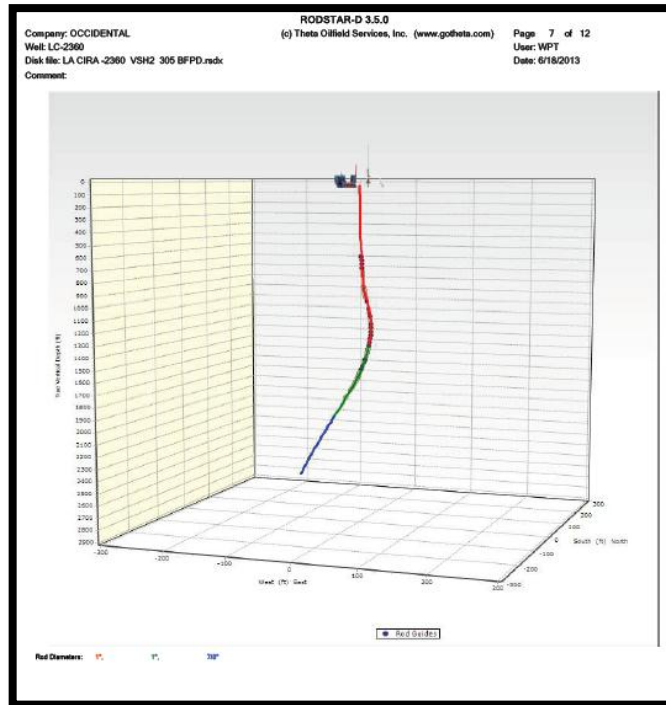
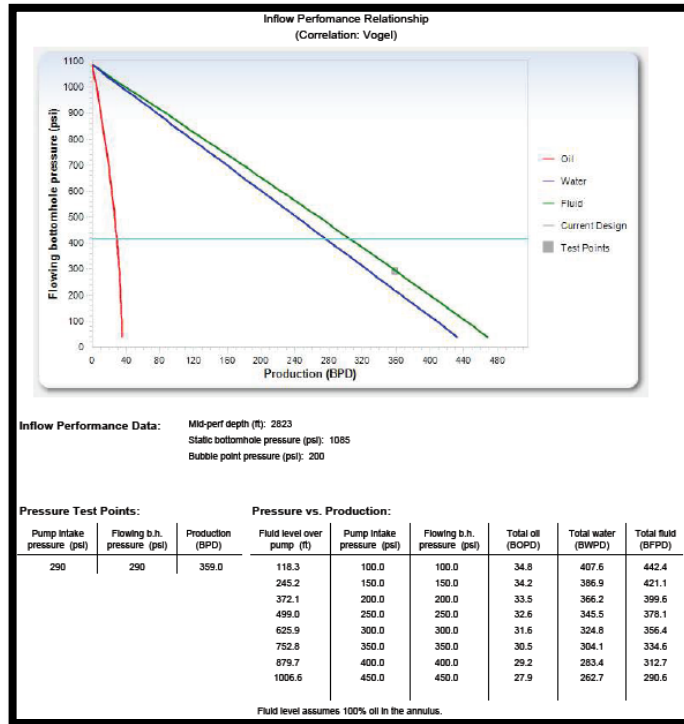
Total (\$): N/A

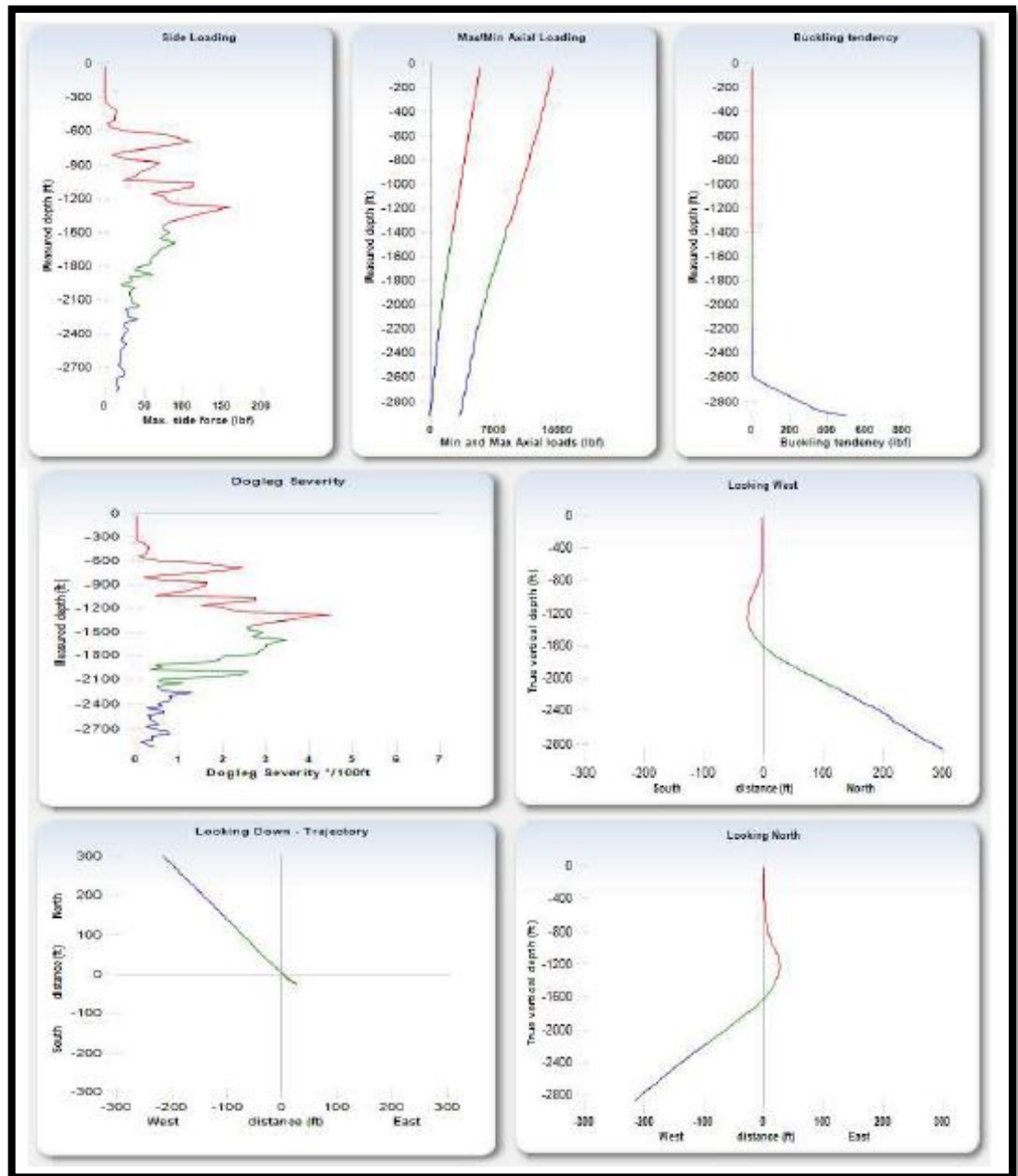
GUIDE COST ANALYSIS

Guide Type	# Guides	Cost (\$/guide)	Total Cost (\$)

Total (\$): N/A

Fuente: Weatherford 2360 Vsh2. Pdf. Junio de 2013

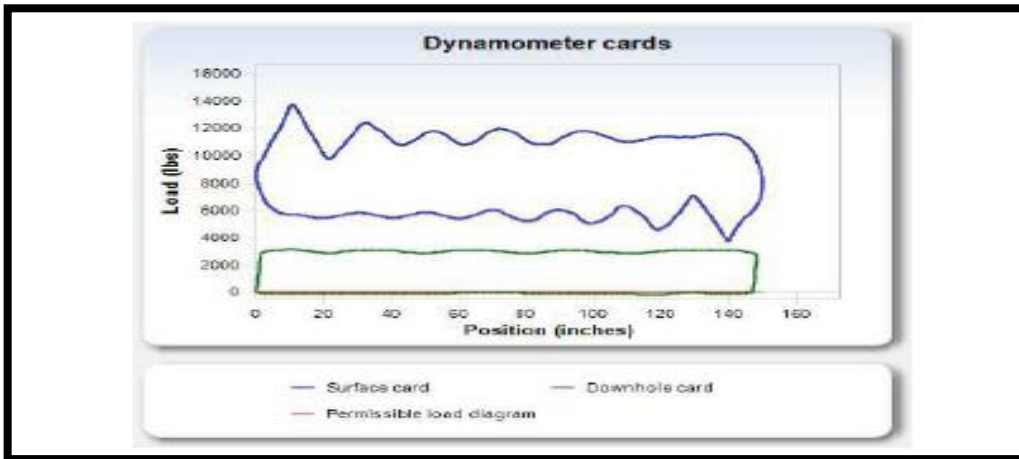




Fuente: Weatherford 2360 Vsh2. Pdf. Junio de 2013

Figura C.7 Simulación unidad VSH2, pozo 2360 @ 5.6 SPM

INPUT DATA					CALCULATED RESULTS				
Strokes per minute:	5.6	Pump int. pr. (psi):	417	Production rate (bfpd):	308	Peak pol. rod load (lbs):	13796		
Run time (hrs/day):	24.0	Fluid level (ft over pump):	924	Oil production (BOPD):	28	Min. pol. rod load (lbs):	3720		
Tubing pres. (psi):	100	Stuf. box fr. (lbs):	100	Strokes per minute:	5.6	MPLR/LPPRL:	0.27		
Casing pres. (psi):	38.7	Pol. Rod Diam: 1.5"		System eff. (Motor->Pump):	30%	Unit struct. loading:	34%		
Fluid properties			Motor & power meter		Permissible load HP:	84.8	PRHP / PLHP:	0.14	
Water out:	91.6%	Power Meter: Detent		Fluid load on pump (lbs):	2368	Buoyant rod weight (lbs):	6954		
Water sp. gravity:	1	Electr. cost: \$.09/KWH		Fluid level TVD (ft from surface):	1978	NNN: .064 , Fo/SKr: .025			
Oil API gravity:	24.0	Type: NEMA D		PRHP:	11.6				
Fluid sp. gravity:	0.9925			Required prime mover size (speed var. not included)	BALANCED				
Compress. index:	3.0			NFMA 71 motor:	20 HP				
Pumping Unit: Weatherford VSH2 Nitrogen-Over-Hydraulic Unit					Single/double cyl. engine:	15 HP			
Unit size: H-400-150 (unit ID: HWN1)					Multicylinder engine:	20 HP			
Crank hole number:	N/A			Torque analysis and electricity consumption					BALANCED
Calculated stroke length (in):	150			Peak g/box torq.	N/A				
Crank Rotation:	N/A			Gearbox loading:	N/A				
Max. CB weight:	N/A			Cyclic load factor:	N/A				
Adjusted stroke length (in):	150			Counterbalance weight:	N/A				
Tubing and pump information					Daily electr. use (KWH/day):	268			
Tubing O.D. (in):	3.500	Upstr. rod-fl. damp. coeff:	0.100	Monthly electric bill:	\$734				
Tubing I.D. (in):	2.992	Dnstr. rod-fl. damp. coeff:	0.100	Electr. cost per bbl. fluid:	\$0.078				
Pump depth (ft):	2917	Tubing is not anchored			Electr. cost per bbl. oil:	\$0.933			
Pump condition:	Full			Tubing, pump and plunger calculations					
Pump type:	Insert	Calc. pump fillage:	80%	Tubing stretch (in):	1.1				
Plunger size (in):	2	Pump friction (lbs):	200.0	Prod. loss due to tubing stretch (bfpd):	2.2				
Rod string design					Gross pump stroke (in):	148.3			
Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Min. Tensile Strength (psi)	Frin Coeff	Pump spacing (in. from bottom):	8.8			
1	Norris 97	1375	140000	0.2	Minimum pump length (ft):	16.0			
1	TEN UHS-NR	775	140000	0.22	Recommended plunger length (ft):	2.0			
0.875	Norris D90	787	120000	0.22	Rod string stress analysis (service factor: 0.9)				
NOTE: Stress calculations do not include buoyancy effects.					Stress Load %	Top Maximum Stress (psi)	Top Minimum Stress (psi)	Bot. Minimum Stress (psi)	# Guides/ Rod
					30%	17664	5088	2628	0
					26%	11397	2828	1052	0
					32%	9675	1374	-333	0



**ROD STRING COST ANALYSIS**

Diameter (inches)	Rod Grade	Length (ft)	Cost (\$/ft)	Total Cost (\$)
1.0	Noris 97	1375	N/A	N/A
1.0	TEN UHS-NR	775	N/A	N/A
0.875	Noris D90	767	N/A	N/A

Total (\$): N/A

**PUMPING UNIT COST ANALYSIS**

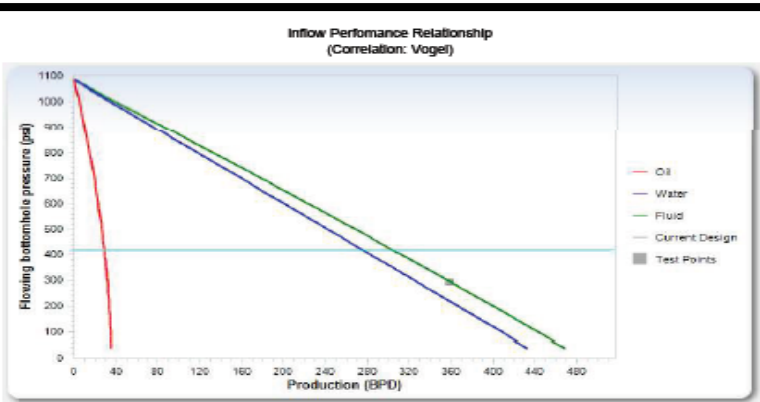
Weatherford VSH2 Nitrogen-Over-Hydraulic  
 H-400-150  
 Unit Model 150

Total (\$): N/A

**GUIDE COST ANALYSIS**

Guide Type	# Guides	Cost (\$/guide)	Total Cost (\$)

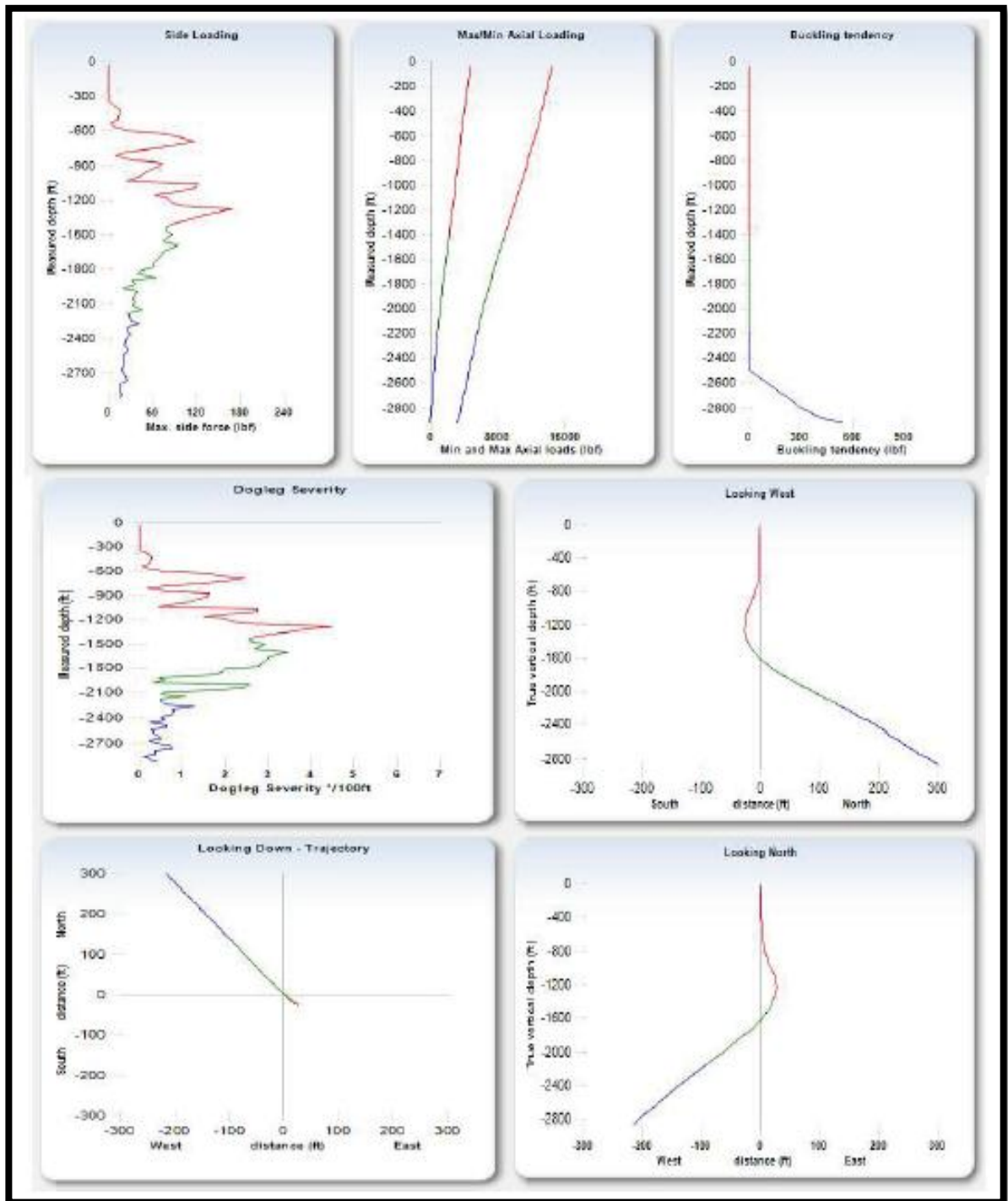
Total (\$): N/A

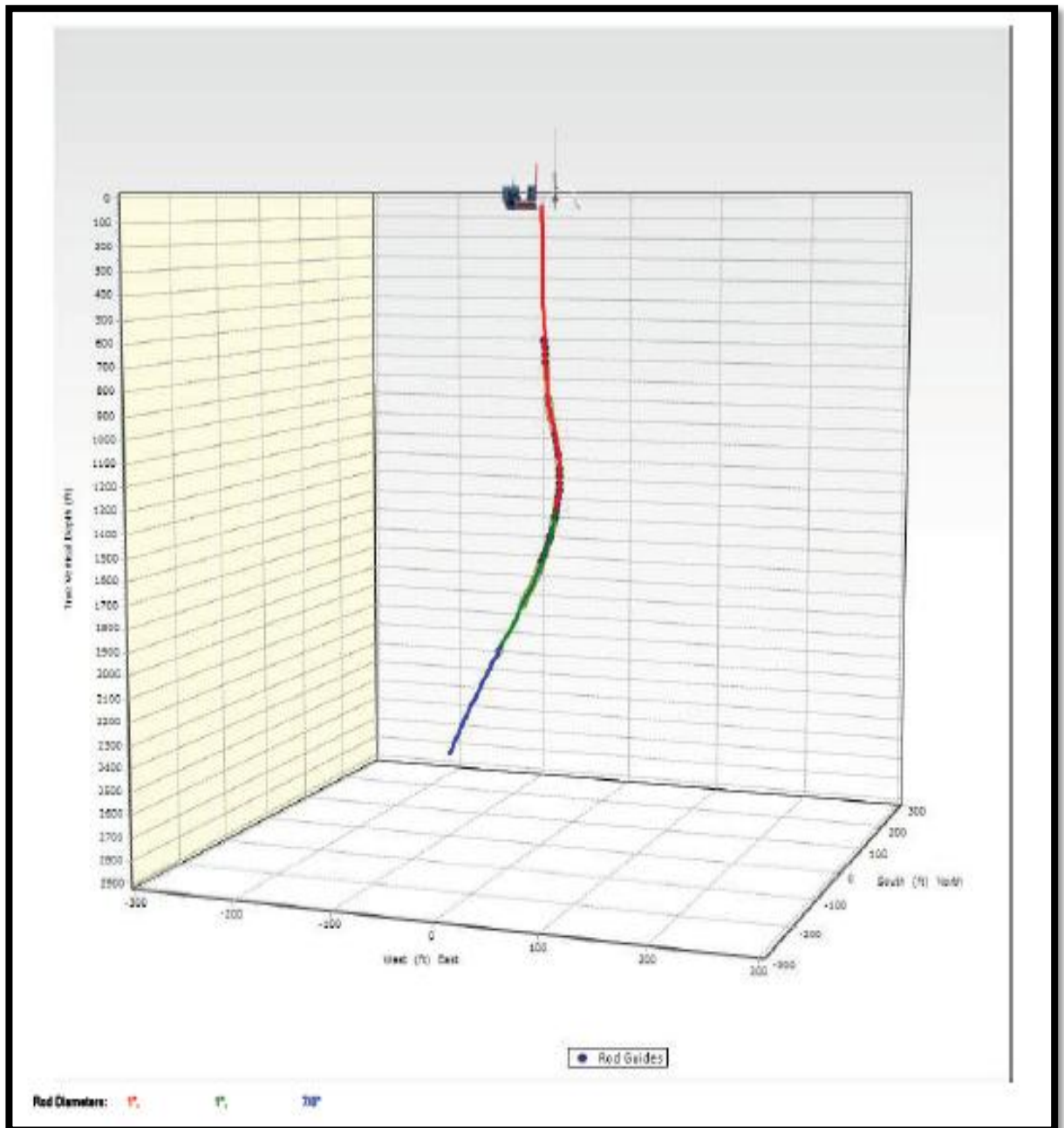


**Inflow Performance Data:** Mid-perf depth (ft): 2823  
 Static bottomhole pressure (psf): 1085  
 Bubble point pressure (psf): 200

Pressure Test Points:			Pressure vs. Production:					
Pump intake pressure (psf)	Flowing b.h. pressure (psf)	Production (BPD)	Fluid level over pump (ft)	Pump intake pressure (psf)	Flowing b.h. pressure (psf)	Total oil (BOPD)	Total water (BWPD)	Total fluid (BFPD)
290	290	359.0	118.3	100.0	100.0	34.8	407.6	442.4
			245.2	150.0	150.0	34.2	388.9	421.1
			372.1	200.0	200.0	33.5	366.2	399.6
			499.0	250.0	250.0	32.6	345.5	378.1
			625.9	300.0	300.0	31.6	324.8	356.4
			752.8	350.0	350.0	30.5	304.1	334.6
			879.7	400.0	400.0	29.2	283.4	312.7
			1006.6	450.0	450.0	27.9	262.7	290.6

Fluid level assumes 100% oil in the annulus.





Fuente: Weatherford 2360 Vsh2. Pdf. Junio de 2013

**Figura C.7** Simulación unidad Morlift, pozo 45

```

DISEÑO
WELL NAME : INFA-45 DATE/TIME : 24/06/2013 8:50:09 AM
ANALYST : Moyno Artificial Lift COMPANY : TDA Colombia
DATA FILE : INFA-4~1.INP (BASE CASE) WELL TYPE : Vertical
COMMENTS : Assumptions:
*If additional information is available, the analysis can be re-run to include it.
1. Well is assumed to be vertical.
2. Tubing Anchor is assumed to be at 2250'.



---


** PRIME MOVER **
Mfgr and Type : Nema D Motor10 hp (Recommended)
Est. Power Required (hp) : 9.41 Motor Load (% of Rating) : 94.1



---


** PUMPING UNIT **
Mfgr and Type : Hydraulic unit Morlift 40-144
Actual Max Load (lbs) : 5448 Actual Min Load (lbs) : 854
Average Pumping Speed (spm) : 5 Max Load (% of Rating) : 13.6
Polished Rod Power (hp) : 4.7 Computed Surface Stroke (in) : 144



---


** ROD LOADING **
Diameter (in) Length (ft) Modulus (MM psi) Rod Loading (%)
1) 0.625 2350 30.5 59
Max Stress (surf.) (psi) : 17433 Min Stress (surf.) (psi) : 3109
ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING
Service Factor Class C,K Class D API D
1 68 52 52
0.9 77 59 59
0.8 88 67 67
0.7 103 79 79

```

```

** DOWNHOLE PERFORMANCE **
Stroke (in) BPD at 100% eff. BPD at 80% eff.
Gross: 138.2 181 (24h/d) 145 (24h/d)
Net: 138.2 181 (24h/d) 145 (24h/d)
Tubing Stretch (in) : 0 Lost Displacement (bpd) : 0
Loss Along Rod String (hp) : 1.35 Pump Power (hp) : 3.35
Tubing Size (in) : 2.875 Tubing Anchor Location (ft) : 2250
Pump Spacing Guide (in) : 0 Pump Fillage (%) : 100



---


** Non-Dimensional Variables **
Fo/S/Kr : 0.04 N/No' : 0.05



---


** OTHER BASIC DATA **
Reducer Rating (in-lbs) : N/A Crank Rotation : N/A
Overall Speed Ratio : N/A Rod Damping Factors (up/down) : 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) : 2226
Total Load on Pump (lbs) : 1929 Pump Bore Size (in) : 1.5
Pump Load Adjustment (lbs) : 235 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.414
Pump Depth (ft) : 2350 Pump Intake Pressure (psi) : 56
Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 1808
TV Load (lbs) : 4455

```

**Fuente:** La Cira TDA, propuesta técnico-económica para la instalación de la unidad Hidroneumatica-Morlift.pdf. Junio de 2013

Figura C.8 Simulación unidad Morlift, pozo 3310

```

WELL NAME : INFA-3310 DATE/TIME : 26/06/2013 8:40:03 AM
ANALYST : NOV Moyno Artificial Lift (S. Lapierre) COMPANY : TDA Colombia
DATA FILE : INFA-3~1.INP (BASE CASE) WELL TYPE : Deviated
COMMENTS : Assumptions:
*If additional information is available, the analysis can be re-run to include it.
1. Tubing Anchor is assumed to be at 3030.3'.



---


** PRIME MOVER **
Mfgr and Type : Nema D Motor30 hp (Recommended)
Est. Power Required (hp) : 21.56 Motor Load (% of Rating) : 71.9



---


** PUMPING UNIT **
Mfgr and Type : Hydraulic unit Morlift 40-144
Actual Max Load (lbs) : 13979 Actual Min Load (lbs) : 2949
Average Pumping Speed (spm) : 4 Max Load (% of Rating) : 34.9
Polished Rod Power (hp) : 10.78 Computed Surface Stroke (in) : 144



---


** ROD LOADING **
Diameter (in) Length (ft) Modulus (MM psi) Fr Coeff Guides Loading
1) 0.875 3130 29 0.2 N (0) 43
Max Stress (surf.) (psi) : 23082 Min Stress (surf.) (psi) : 5070
ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING
Service Factor Class C,K Class D COROD SER
1 89 68 38
0.9 101 77 43
0.8 118 89 49
0.7 142 106 58



---


** DOWNHOLE PERFORMANCE **
Stroke (in) BPD at 100% eff. BPD at 80% eff.
Gross: 131.5 311 (24h/d) 249 (24h/d)
Net: 131.4 310 (24h/d) 248 (24h/d)
Tubing Stretch (in) : 0.1 Lost Displacement (bpd) : 0
Loss Along Rod String (hp) : 4.76 Pump Power (hp) : 6.02
Tubing Size (in) : 3.5 Tubing Anchor Location (ft) : 3030.3
Pump Spacing Guide (in) : N/A Pump Fillage (%) : 100

```

```



---


** Non-Dimensional Variables **
Fo/S/Kr : 0.06 N/No' : 0.05



---


** OTHER BASIC DATA **
Reducer Rating (in-lbs) : N/A Crank Rotation : N/A
Overall Speed Ratio : N/A Rod Damping Factors (up/down) : 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) : 5270
Total Load on Pump (lbs) : 4313 Pump Bore Size (in) : 2.25
Pump Load Adjustment (lbs) : 0 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.398
Pump Depth (ft) : 3130.3 Pump Intake Pressure (psi) : 146
Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 4970
TV Load (lbs) : 9883

```

Fuente: La Cira TDA, propuesta técnico-económica para la instalación de la unidad Hidroneumatica-Morlift.pdf. Junio de 2013

**Figura C.9 Simulación unidad Morlift, pozo 2360**

```

DISEÑO
WELL NAME : CIRA-2360 DATE/TIME : 24/06/2013 4:15:02 PM
ANALYST : NOV Moyno Artificial Lift COMPANY : TDA Colombia
DATA FILE : CIRA-2~1.INP (BASE CASE) WELL TYPE : Deviated
COMMENTS : Assumptions:
*If additional information is available, the analysis can be re-run to include it.
1. Tubing Anchor is assumed to be at 2817'.



---


** PRIME MOVER **
Mfgr and Type : Nema D Motor30 hp (Recommended)
Est. Power Required (hp) : 21.83 Motor Load (% of Rating) : 72.8



---


** PUMPING UNIT **
Mfgr and Type : Hydraulic unit Morlift 40-144
Actual Max Load (lbs) : 14685 Actual Min Load (lbs) : 3681
Average Pumping Speed (spm) : 5 Max Load (% of Rating) : 36.7
Polished Rod Power (hp) : 10.92 Computed Surface Stroke (in) : 144



---


** ROD LOADING **
Diameter (in) Length (ft) Modulus (MM psi) Fr Coeff Guides Loading
1) 1 2075 30.5 0.2 N (0) 33
2) 0.875 842 30.5 0.2 N (0) 21
Max Stress (surf.) (psi) : 18570 Min Stress (surf.) (psi) : 4815
ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING
Service Factor Class C,K Class D NORRIS 97
    
```

```

1 67 52 29
0.9 77 59 33
0.8 90 68 38
0.7 107 80 44



---


** DOWNHOLE PERFORMANCE **
Stroke (in) BPD at 100% eff. BPD at 80% eff.
Gross: 137 320 (24h/d) 256 (24h/d)
Net: 136.9 319 (24h/d) 255 (24h/d)
Tubing Stretch (in) : 0.1 Lost Displacement (bpd) : 0
Loss Along Rod String (hp) : 3.93 Pump Power (hp) : 6.99
Tubing Size (in) : 3.5 Tubing Anchor Location (ft) : 2817
Pump Spacing Guide (in) : N/A Pump Fillage (%) : 100



---


** Non-Dimensional Variables **
Fo/S/Kr : 0.04 N/No' : 0.06



---


** OTHER BASIC DATA **
Reducer Rating (in-lbs) : N/A Crank Rotation : N/A
Overall Speed Ratio : N/A Rod Damping Factors (up/down) : 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) : 6776
Total Load on Pump (lbs) : 3808 Pump Bore Size (in) : 2
Pump Load Adjustment (lbs) : 0 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.43
Pump Depth (ft) : 2917 Pump Intake Pressure (psi) : 118
Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 6476
TV Load (lbs) : 10884
    
```

**Fuente:** La Cira TDA, propuesta técnico-económica para la instalación de la unidad Hidroneumatica-Morlift.pdf. Junio de 2013

**Figura C.10** Cotización de cada una de las unidades no convencionales

<b>MORLIFT</b>				
CANTIDAD	DESCRIPCION	TIEMPO DE ENTREGA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
3	Cabezal de accionamiento hidraulico con capacidad de potencia de 75 hp, 144 pulgadas con capacidad de 40.000 lbs, martil, soporte y conexión de 7 1/16" X 3000	10 DIAS ARO	\$ 45.987,28	\$ 137.961,84
3	Accumulator skid 40 144	10 DIAS ARO	\$ 26.556,00	\$ 79.668,00
3	Electric skid 75 HP 40 144	10 DIAS ARO	\$ 62.022,00	\$ 186.066,00
3	Digital Hydraulic Pump-off Controller	10 DIAS ARO	\$ 16.520,00	\$ 49.560,00
3	Movilizacion e instalacion de equipos		\$ 517,06	\$ 1.551,18
<b>SUBTOTAL</b>				<b>\$ 454.807,02</b>
<b>IVA</b>				<b>\$ 72.769,12</b>
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 527.576,14</b>

<b>VSH2</b>				
ITEM	CANT.	DESCRIPCION	VAL/UNIT	TOTAL
1	1	VSH2 Nitrogen - over - Hydraulic Pumping Unit, electric motor opereted complete with the following: 5' x 8' Skit with: PN 422514 75 Hp - 3ph-460V-60Hz-TEFC motor, PN 422162, 75 cc twin pump, 80 gal Hydraulic oil reservoir, 21 gal accum, with 4 nitrogen bottles and manifold, fan opereted cooler, 12 V control panel, complete disconnect box w/starter nitrogen fill kit, all fittings and connections. 156" Mast Assembly with PN 440665, 156" hydraulic two stage cylinder, 18" pedestal w/pipes, hoses & connections, 3-1/2" EUE 8Rd Base Plate, 1-1/4" & 1-1/2" cylinder support stand, anchors (4) cables and boomers, spare switch cable & fuses.	\$ 114,527.14	\$ 114,527.14
2	1	WellPilot Controler	\$ 10,987.22	\$ 10,987.22
<b>TOTAL USD</b>				<b>\$ 125,514.36</b>

<b>LRP</b>					
Pozo	Unidad de Bombeo LRP	Motor	VDF Fill Pump	Base LRP	P.U(COP)-DDP La Cira
LC-2360	L381Z-2587-086	75 Hp	75 Hp-VT	52 Pulg	<b>181,802,059.00</b>
INFA-45	L239C-254S-032	15 Hp	15 Hp-VT	52 Pulg	<b>85,777,034.00</b>
INFA-3310	L381C-2173-056	30 Hp	30 Hp-VT	52 Pulg	<b>124,355,317.00</b>

**Fuente:** La Cira TDA, propuesta técnico-económica para la instalación de la unidad Hidroneumatica-Morlift.pdf. Junio de 2013, Weatherford Vsh2. Pdf. Junio de 2013, UNICO, Lift system analyzer Pdf. Junio de 2013. Modificado por el autor

**Tabla C.1** Comparación de parámetros calculados unidades no convencionales pozo 2360

PARAMETRO CALCULADO	UNIDADES	2360			
		LRP	VSH2 3.74 spm	VSH2 5.6 spm	MORLIFT
Modelo recomendado	---	L381Z-2587-086	H - 400- 150	H - 400- 150	MORLIFT 40-144
Potencia requerida del motor	Hp	75	75	75	75
Velocidad de operación	spm	10.16	3.74	5.6	5
longitud máxima de carrera	pulg	81.1	145.6	148.3	136
Carga máxima	lbs	15161	12728	13796	14685
Carga mínima	lbs	3309	4471	3720	3681
Consumo energético de entrada del motor diaria	Kw/día	25.26	4.46	11.2	
Producción de fluido esperada	BFPD	307	203	308	255

**Tabla C.2** Comparación de parámetros calculados unidades no convencionales pozo 45

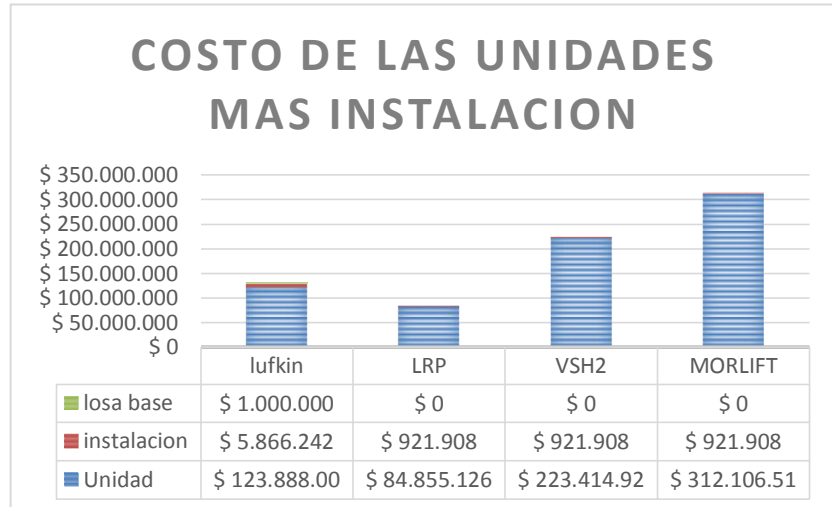
PARAMETRO CALCULADO	UNIDADES	45		
		LRP	VSH2	MORLIFT
Modelo recomendado	---	L239C-254S-032	H - 350 -60	MORLIFT 40-144
Potencia requerida del motor	Hp	15	75	75
Velocidad de operación	spm	11.35	1.45	5
longitud máxima de carrera	pulg	26.7	142.6	138
Carga máxima	Lbs	4968	8441	5448
Carga mínima	Lbs	1422	4839	854
Consumo energético de entrada del motor diaria	Kw/día	3.73	1.375	
Producción de fluido esperada	BFPD	63.6	45	145

**Tabla C.3** Comparación de parámetros calculados unidades no convencionales pozo 3310

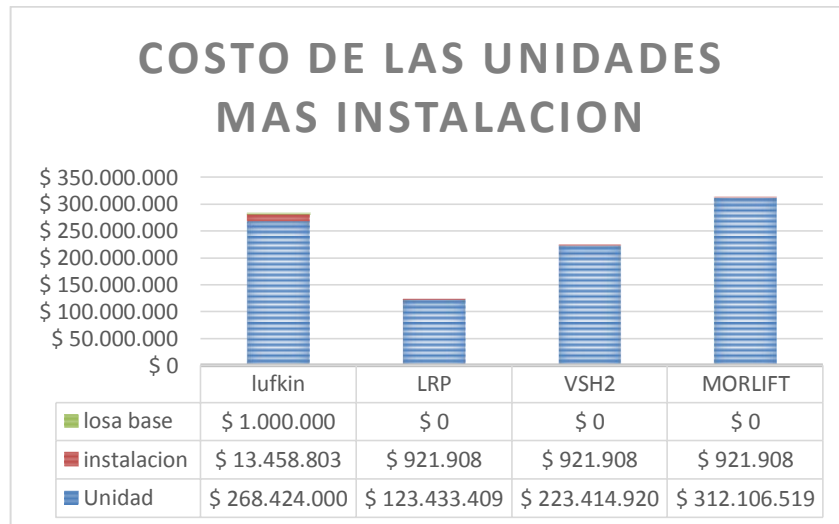
PARAMETRO CALCULADO	UNIDADES	3310		
		LRP	VSH2	MORLIFT
Modelo recomendado	---	L381C-2173-056	H - 400- 150	MORLIFT 40-144
Potencia requerida del motor	Hp	30	75	75
Velocidad de operación	spm	6.92	2.08	4
longitud máxima de carrera	pulg	56	150	131
Carga máxima	Lbs	14488	10080	13979
Carga mínima	Lbs	2533	4525	2949
Consumo energético de entrada del motor diaria	Kw/día	14.68	3.33	
Producción de fluido esperada	BFPD	140.8	248	248

## ANEXO D. ANÁLISIS FINANCIERO

**Gráfico D.1** Costos de la unidad e instalación, para el pozo 45



**Gráfico D.2** Costo de la unidad e instalación, para el pozo 3310



**Tabla D1. Flujo de caja Unidad Iufkin pozo 45**

Mes	PRODUCCION NETA				VENTA		COSTO LEVANTAMIENTO MES	COSTO ACTUAL	INVERSIONES	FLUJO DE CAJA ACTUAL	IMPUESTO DE RENTA	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMULADO ACTUAL
	ACUM (BO)	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM M (BO)	COP/Bbl	INGRESO NETO							
0									\$ 140.406.400	(140.406.400)	-	(140.406.400)	(140.406.400)
1	105	26	769	769	145.248	111.675.819	27.993.604	28.360.146		83.315.673	29.993.642	53.322.030	(87.084.370)
2	208	25	757	1526	145.248	110.013.182	27.576.834	27.943.376		82.069.807	29.545.130	52.524.676	(34.559.693)
3	311	25	752	2278	145.248	109.191.170	27.370.781	27.737.323		81.453.847	29.323.385	52.130.462	17.570.769
4	412	25	746	3024	145.248	108.375.300	27.166.268	27.532.810		80.842.489	29.103.296	51.739.193	69.309.962
5	513	25	741	3765	145.248	107.565.525	26.963.283	27.329.825		80.235.700	28.884.852	51.350.848	120.660.810
6	614	25	735	4500	145.248	106.761.802	26.761.815	27.128.357		79.633.444	28.668.040	50.965.404	171.626.214
7	713	24	730	5229	145.248	105.964.083	26.561.852	26.928.394		79.035.689	28.452.848	50.582.841	222.209.055
8	812	24	724	5953	145.248	105.172.325	26.363.384	26.729.926		78.442.400	28.239.264	50.203.136	272.412.191
9	910	24	719	6672	145.248	104.386.484	26.166.398	26.532.940		77.853.544	28.027.276	49.826.268	322.238.459
10	1007	24	713	7385	145.248	103.606.514	25.970.884	26.337.426		77.269.087	27.816.871	49.452.216	371.690.675
11	1104	24	708	8093	145.248	102.832.371	25.776.831	26.143.373		76.688.998	27.608.039	49.080.959	420.771.634
12	1199	23	703	8796	145.248	102.064.013	25.584.228	25.950.770		76.113.243	27.400.768	48.712.476	469.484.109
13	1295	23	697	9493	145.248	101.301.397	25.393.064	25.759.606		75.541.791	27.195.045	48.346.746	517.830.855
14	1389	23	692	10186	145.248	100.544.478	25.203.328	25.569.870		74.974.608	26.990.859	47.983.749	565.814.604
15	1483	23	687	10873	145.248	99.793.215	25.015.011	25.381.553		74.411.663	26.788.199	47.623.464	613.438.069
16	1576	23	682	11555	145.248	99.047.566	24.828.100	25.194.642		73.852.924	26.587.053	47.265.872	660.703.940
17	1668	23	677	12232	145.248	98.307.488	24.642.586	25.009.128		73.298.360	26.387.410	46.910.951	707.614.891
18	1760	22	672	12903	145.248	97.572.940	24.458.458	24.825.000		72.747.940	26.189.259	46.558.682	754.173.573
19	1850	22	667	13570	145.248	96.843.880	24.275.705	24.642.247		72.201.633	25.992.588	46.209.045	800.382.618
20	1941	22	662	14232	145.248	96.120.268	24.094.319	24.460.861		71.659.408	25.797.387	45.862.021	846.244.639
21	2030	22	657	14889	145.248	95.402.063	23.914.287	24.280.829		71.121.234	25.603.644	45.517.589	891.762.228
22	2119	22	652	15541	145.248	94.689.224	23.735.601	24.102.143		70.587.081	25.411.349	45.175.732	936.937.960
23	2207	22	647	16188	145.248	93.981.711	23.558.250	23.924.792		70.056.919	25.220.491	44.836.428	981.774.388
24	2295	21	642	16830	145.248	93.279.485	23.382.224	23.748.766		69.530.719	25.031.059	44.499.660	1.026.274.048

**Tabla D2.** Flujo de caja Unidad lufkin pozo 3310

Mes	PRODUCCION NETA				VENTA		COSTO LEVANTAMIENTO MES	COSTO ACTUAL	INVERSIONES	FLUJO DE CAJA ACTUAL	IMPUESTO DE RENTA	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMUALDO ACTUAL
	ACU M (BO)	BOP D	ACUM MES (BO)	ACU M (BO)	COP/Bbl	INGRESO NETO							
0									\$ 268.424.000	(268.424.000)	-	(268.424.000)	(268.424.000)
1	443	108	3247	3247	145.248	471.649.306	118.227.600	119.063.526		352.585.780	126.930.881	225.654.899	(42.769.101)
2	879	107	3199	6446	145.248	464.627.362	116.467.420	117.303.346		347.324.016	125.036.646	222.287.370	179.518.269
3	1312	106	3175	9621	145.248	461.155.692	115.597.182	116.433.108		344.722.584	124.100.130	220.622.454	400.140.723
4	1742	105	3151	12772	145.248	457.709.962	114.733.446	115.569.372		342.140.590	123.170.612	218.969.977	619.110.700
5	2168	104	3128	15900	145.248	454.289.978	113.876.164	114.712.090		339.577.888	122.248.040	217.329.848	836.440.548
6	2591	103	3104	19004	145.248	450.895.548	113.025.288	113.861.214		337.034.335	121.332.360	215.701.974	1.052.142.523
7	3012	103	3081	###	145.248	447.526.482	112.180.769	113.016.695		334.509.787	120.423.523	214.086.263	1.266.228.786
8	3429	102	3058	25143	145.248	444.182.588	111.342.561	112.178.487		332.004.102	119.521.477	212.482.625	1.478.711.411
9	3843	101	3035	28179	145.248	440.863.680	110.510.615	111.346.541		329.517.139	118.626.170	210.890.969	1.689.602.380
10	4253	100	3013	31191	145.248	437.569.571	109.684.886	110.520.812		327.048.759	117.737.553	209.311.206	1.898.313.586
11	4661	100	2990	34181	145.248	434.300.075	108.865.326	109.701.252		324.598.823	116.855.576	207.743.247	2.106.656.833
12	5066	99	2968	37149	145.248	431.055.009	108.051.891	108.887.817		322.167.192	115.980.189	206.187.003	2.312.843.836
13	5467	98	2946	###	145.248	427.834.190	107.244.533	108.080.459		319.753.731	115.111.343	204.642.388	2.517.486.224
14	5866	97	2924	43018	145.248	424.637.436	106.443.208	107.279.134		317.358.302	114.248.989	203.109.314	2.720.595.537
15	6262	97	2902	###	145.248	421.464.568	105.647.870	106.483.796		314.980.773	113.393.078	201.587.634	2.922.183.232
16	6655	96	2880	###	145.248	418.315.408	104.858.475	105.694.401		312.621.007	112.543.563	200.077.445	3.122.260.676
17	7044	95	2858	51658	145.248	415.183.778	104.074.978	104.910.904		310.278.874	111.700.395	198.578.480	3.320.839.156
18	7431	95	2837	54495	145.248	412.087.503	103.297.335	104.133.261		307.954.242	110.863.527	197.090.715	3.517.929.871
19	7815	94	2816	57311	145.248	409.008.408	102.525.503	103.361.429		305.646.979	110.032.912	195.614.066	3.713.543.937
20	8196	93	2795	60106	145.248	405.952.319	101.759.438	102.595.364		303.356.955	109.208.504	194.148.451	3.907.692.388
21	8575	92	2774	###	145.248	402.919.066	100.999.097	101.835.023		301.084.043	108.390.255	192.693.787	4.100.386.175
22	8950	92	2753	###	145.248	399.908.477	100.244.438	101.080.364		298.828.113	107.578.121	191.249.992	4.291.636.168
23	9323	91	2733	###	145.248	396.920.383	99.495.417	100.331.343		296.589.040	106.772.054	189.816.985	4.481.453.153
24	9693	90	2712	71079	145.248	393.954.615	98.751.992	99.587.918		294.366.697	105.972.011	188.394.686	4.669.847.839

**Tabla D3. Flujo de caja Unidad lufkin pozo 2360**

Mes	PRODUCCION NETA				VENTA		COSTO LEVANTAMIENTO MES	COSTO ACTUAL	INVERSIONES	FLUJO DE CAJA ACTUAL	IMPUESTO DE RENTA	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMALDO ACTUAL
	ACU M (BO)	BOP D	ACUM MES (BO)	ACU M (BO)	COPI/BBi	INGRESO NETO							
0									\$ 268.424.000	(268.424.000)	-	(268.424.000)	(268.424.000)
1	79	19	581	581	145.248	84.360.038	21.146.400	21.982.326		62.377.712	22.455.976	39.921.736	(228.502.264)
2	157	19	572	1153	145.248	83.104.081	20.831.571	21.667.497		61.436.584	22.117.170	39.319.414	(189.182.850)
3	235	19	568	1721	145.248	82.483.132	20.675.919	21.511.845		60.971.287	21.949.663	39.021.624	(150.161.227)
4	312	19	564	2284	145.248	81.866.822	20.521.429	21.357.355		60.509.467	21.783.408	38.726.059	(111.435.168)
5	388	19	559	2844	145.248	81.255.118	20.368.094	21.204.020		60.051.098	21.618.395	38.432.702	(73.002.465)
6	464	19	555	3399	145.248	80.647.984	20.215.905	21.051.831		59.596.153	21.454.615	38.141.538	(34.860.327)
7	539	18	551	3950	145.248	80.045.387	20.064.853	20.900.779		59.144.608	21.292.059	37.852.549	2.991.622
8	613	18	547	4497	145.248	79.447.292	19.914.930	20.750.856		58.696.437	21.130.717	37.565.719	40.557.341
9	687	18	543	5040	145.248	78.853.666	19.766.126	20.602.052		58.251.614	20.970.581	37.281.033	77.838.374
10	761	18	539	5579	145.248	78.264.476	19.618.435	20.454.361		57.810.115	20.811.641	36.998.474	114.836.848
11	834	18	535	6114	145.248	77.679.688	19.471.847	20.307.773		57.371.915	20.653.889	36.718.026	151.554.874
12	906	18	531	6645	145.248	77.099.270	19.326.354	20.162.280		56.936.989	20.497.316	36.439.673	187.994.547
13	978	18	527	7171	145.248	76.523.188	19.181.949	20.017.875		56.505.313	20.341.913	36.163.401	224.157.948
14	1049	17	523	7694	145.248	75.951.411	19.038.622	19.874.548		56.076.863	20.187.671	35.889.192	260.047.140
15	1120	17	519	8213	145.248	75.383.907	18.896.367	19.732.293		55.651.614	20.034.581	35.617.033	295.664.173
16	1190	17	515	8728	145.248	74.820.642	18.755.174	19.591.100		55.229.542	19.882.635	35.346.907	331.011.079
17	1260	17	511	9240	145.248	74.261.586	18.615.037	19.450.963		54.810.624	19.731.825	35.078.799	366.089.879
18	1329	17	507	9747	145.248	73.706.708	18.475.946	19.311.872		54.394.836	19.582.141	34.812.695	400.902.573
19	1398	17	504	10251	145.248	73.155.975	18.337.895	19.173.821		53.982.154	19.433.576	34.548.579	435.451.152
20	1466	17	500	10751	145.248	72.609.358	18.200.875	19.036.801		53.572.557	19.286.120	34.286.436	469.737.589
21	1534	17	496	11247	145.248	72.066.825	18.064.879	18.900.805		53.166.020	19.139.767	34.026.253	503.763.841
22	1601	16	492	11739	145.248	71.528.345	17.929.899	18.765.825		52.762.520	18.994.507	33.768.013	537.531.854
23	1667	16	489	12228	145.248	70.993.890	17.795.928	18.631.854		52.362.035	18.850.333	33.511.703	571.043.557
24	1734	16	485	12713	145.248	70.463.427	17.662.958	18.498.884		51.964.543	18.707.236	33.257.308	604.300.864

**Tabla D4. Flujo de caja Unidad LRP pozo 45**

Mes	PRODUCCION BRUTA			REGALIAS			PRODUCCION NETA			VENTA		COSTO LEVANTAMIENTOS MES	COSTO ACTUAL	INVERSIONES	FLUJO DE CAJA ACTUAL	IMPUESTO DE RENTA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMULADO ACTUAL
	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM M (BO)	BO PD	ACUM MES (BO)	ACUM M (BO)	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM M (BO)	COP/BB	INGRESO NETO							
0														\$ 85.777.034	(85.777.034)		(85.777.034)	(85.777.034)
1	29	874	874	3	105	105	26	769	769	145.248	111.675.819	27.993.604	28.070.094		83.605.725	30.098.061	53.507.664	(32.269.370)
2	29	861	1734	3	103	208	25	757	1526	145.248	110.013.182	27.576.834	27.653.323		82.359.859	29.649.549	52.710.310	20.440.940
3	28	854	2589	3	103	311	25	752	2278	145.248	109.191.170	27.370.781	27.447.271		81.743.899	29.427.804	52.316.095	72.757.035
4	28	848	3437	3	102	412	25	746	3024	145.248	108.375.300	27.166.268	27.242.758		81.132.542	29.207.715	51.924.827	124.681.862
5	28	842	4278	3	101	513	25	741	3765	145.248	107.565.525	26.963.283	27.039.773		80.525.752	28.989.271	51.536.481	176.218.343
6	28	835	5113	3	100	614	25	735	4500	145.248	106.761.802	26.761.815	26.838.305		79.923.497	28.772.459	51.151.038	227.369.381
7	28	829	5942	3	99	713	24	730	5229	145.248	105.964.083	26.561.952	26.638.342		79.325.741	28.557.267	50.768.474	278.137.855
8	27	823	6765	3	99	812	24	724	5953	145.248	105.172.325	26.363.384	26.439.873		78.732.452	28.343.683	50.388.769	328.526.625
9	27	817	7582	3	98	910	24	719	6672	145.248	104.386.484	26.166.398	26.242.888		78.143.596	28.131.695	50.011.901	378.538.526
10	27	811	8392	3	97	1007	24	713	7385	145.248	103.606.514	25.970.884	26.047.374		77.559.140	27.921.290	49.637.849	428.176.376
11	27	805	9197	3	97	1104	24	708	8093	145.248	102.832.371	25.776.831	25.853.321		76.979.051	27.712.458	49.266.592	477.442.968
12	27	799	9996	3	96	1199	23	703	8796	145.248	102.064.013	25.584.228	25.660.718		76.403.296	27.505.187	48.898.109	526.341.077
13	26	793	10788	3	95	1295	23	697	9493	145.248	101.301.397	25.393.064	25.469.554		75.831.843	27.299.464	48.532.380	574.873.457
14	26	787	11575	3	94	1389	23	692	10186	145.248	100.544.478	25.203.328	25.279.818		75.264.660	27.095.278	48.169.383	623.042.840
15	26	781	12355	3	94	1483	23	687	10873	145.248	99.793.215	25.015.011	25.091.500		74.701.715	26.892.617	47.809.098	670.851.937
16	26	775	13130	3	93	1576	23	682	11555	145.248	99.047.566	24.828.100	24.904.589		74.142.977	26.691.472	47.451.505	718.303.442
17	26	769	13899	3	92	1668	23	677	12232	145.248	98.307.488	24.642.586	24.719.075		73.588.413	26.491.829	47.096.584	765.400.027
18	25	763	14663	3	92	1760	22	672	12903	145.248	97.572.940	24.458.458	24.534.947		73.037.993	26.293.677	46.744.315	812.144.342
19	25	758	15420	3	91	1850	22	667	13570	145.248	96.843.880	24.275.705	24.352.195		72.491.685	26.097.007	46.394.679	858.539.020
20	25	752	16172	3	90	1941	22	662	14232	145.248	96.120.268	24.094.319	24.170.808		71.949.460	25.901.806	46.047.654	904.586.675
21	25	746	16919	3	90	2030	22	657	14889	145.248	95.402.063	23.914.287	23.990.777		71.411.286	25.708.063	45.703.223	950.289.898
22	25	741	17660	3	89	2119	22	652	15541	145.248	94.689.224	23.735.601	23.812.091		70.877.133	25.515.768	45.361.365	995.651.263
23	25	735	18395	3	88	2207	22	647	16188	145.248	93.981.711	23.558.250	23.634.739		70.346.972	25.324.910	45.022.062	1040.673.325
24	24	730	19125	3	88	2295	21	642	16830	145.248	93.279.485	23.382.224	23.458.713		69.820.771	25.135.478	44.685.294	1085.358.619

**Tabla D5. Flujo de caja Unidad LRP pozo 3310**

Mes	PRODUCCION BRUTA			REGALIAS			PRODUCCION NETA			VENTA		COSTO LEVANTAMIENTO MES	COSTO ACTUAL	INVERSIONES	FLUJO DE CAJA ACTUAL	IMPUESTO DE RENTA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMULADO ACTUAL
	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	COP/Bo	INGRESO NETO							
0														\$ 124.355.317	(124.355.317)		(124.355.317)	(124.355.317)
1	123	3690	3690	15	443	443	108	3247	3247	145.248	471.649.306	118.227.600	118.350.718		353.298.587	127.187.491	226.111.096	101.755.779
2	121	3635	7325	15	436	879	107	3199	6446	145.248	464.627.362	116.467.420	116.590.539		348.036.824	125.293.256	222.743.567	324.499.346
3	120	3608	10933	14	433	1312	106	3175	9621	145.248	461.155.692	115.597.182	115.720.301		345.435.392	124.356.741	221.078.651	545.577.996
4	119	3581	14514	14	430	1742	105	3151	12772	145.248	457.709.962	114.733.446	114.856.565		342.853.397	123.427.223	219.426.174	765.004.171
5	118	3554	18068	14	427	2168	104	3128	15900	145.248	454.289.978	113.876.164	113.999.283		340.290.696	122.504.650	217.786.045	982.790.216
6	118	3528	21596	14	423	2591	103	3104	19004	145.248	450.895.548	113.025.288	113.148.406		337.747.142	121.588.971	216.158.171	1.198.948.387
7	117	3501	25097	14	420	3012	103	3081	22085	145.248	447.526.482	112.180.769	112.303.888		335.222.594	120.680.134	214.542.460	1.413.490.847
8	116	3475	28572	14	417	3429	102	3058	25143	145.248	444.182.588	111.342.561	111.465.679		332.716.909	119.778.087	212.938.822	1.626.429.669
9	115	3449	32021	14	414	3843	101	3035	28179	145.248	440.863.680	110.510.615	110.633.733		330.229.947	118.882.781	211.347.166	1.837.776.835
10	114	3423	35445	14	411	4253	100	3013	31191	145.248	437.569.571	109.684.886	109.808.004		327.761.567	117.994.164	209.767.403	2.047.544.238
11	113	3398	38842	14	408	4661	100	2990	34181	145.248	434.300.075	108.865.326	108.988.445		325.311.631	117.112.187	208.199.444	2.255.743.681
12	112	3372	42215	13	405	5066	99	2968	37149	145.248	431.055.009	108.051.891	108.175.009		322.880.000	116.236.800	206.643.200	2.462.386.881
13	112	3347	45562	13	402	5467	98	2946	40095	145.248	427.834.190	107.244.533	107.367.651		320.466.538	115.367.954	205.098.585	2.667.485.466
14	111	3322	48884	13	399	5866	97	2924	43018	145.248	424.637.436	106.443.208	106.566.326		318.071.110	114.505.600	203.565.510	2.871.050.976
15	110	3297	52182	13	396	6262	97	2902	45920	145.248	421.464.568	105.647.870	105.770.988		315.693.580	113.649.689	202.043.891	3.073.094.868
16	109	3273	55454	13	393	6655	96	2880	48800	145.248	418.315.408	104.858.475	104.981.593		313.333.815	112.800.173	200.533.642	3.273.628.509
17	108	3248	58703	13	390	7044	95	2858	51658	145.248	415.189.778	104.074.978	104.198.096		310.991.682	111.957.006	199.034.677	3.472.663.186
18	107	3224	61927	13	387	7431	95	2837	54495	145.248	412.087.503	103.297.335	103.420.454		308.667.049	111.120.138	197.546.912	3.670.210.097
19	107	3200	65127	13	384	7815	94	2816	57311	145.248	409.008.408	102.525.503	102.648.622		306.359.786	110.289.523	196.070.263	3.866.280.360
20	106	3176	68303	13	381	8196	93	2795	60106	145.248	405.952.319	101.759.438	101.882.557		304.069.763	109.465.115	194.604.648	4.060.885.008
21	105	3152	71455	13	378	8575	92	2774	62880	145.248	402.919.066	100.999.097	101.122.216		301.796.850	108.646.866	193.149.984	4.254.034.993
22	104	3129	74584	13	375	8950	92	2753	65634	145.248	399.908.477	100.244.438	100.367.556		299.540.921	107.834.731	191.706.189	4.445.741.182
23	104	3105	77689	12	373	9323	91	2733	68366	145.248	396.920.383	99.495.417	99.618.535		297.301.847	107.028.665	190.273.182	4.636.014.364
24	103	3082	80771	12	370	9693	90	2712	71079	145.248	393.954.615	98.751.992	98.875.111		295.079.504	106.228.622	188.850.883	4.824.865.247

**Tabla D6. Flujo de caja Unidad VSH2 pozo 45**

Mes	PRODUCCION BRUTA			REGALIAS			PRODUCCION NETA			VENTA		COSTO LEVANTAMIENTO MES	COSTO ACTUAL	INVERSIONES	FLUJO DE CAJA ACTUAL	IMPUESTO DE RENTA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMULADO ACTUAL
	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BO PD	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	COP/Bbl	INGRESO NETO							
0														\$ 224.336.828	(224.336.828)		(224.336.828)	(224.336.828)
1	29	874	874	3	105	105	26	769	769	145.248	111.675.819	27.993.604	28.275.217		83.400.602	30.024.217	53.376.385	(170.960.443)
2	29	861	1734	3	103	208	25	757	1526	145.248	110.013.182	27.576.834	27.858.447		82.154.736	29.575.705	52.579.031	(118.381.412)
3	28	854	2589	3	103	311	25	752	2278	145.248	109.191.170	27.370.781	27.652.394		81.538.776	29.353.959	52.184.817	(66.196.595)
4	28	848	3437	3	102	412	25	746	3024	145.248	108.375.300	27.166.268	27.447.881		80.927.419	29.133.871	51.793.548	(14.403.047)
5	28	842	4278	3	101	513	25	741	3765	145.248	107.565.525	26.963.283	27.244.896		80.320.629	28.915.426	51.405.203	37.002.155
6	28	835	5113	3	100	614	25	735	4500	145.248	106.761.802	26.761.815	27.043.428		79.718.374	28.698.614	51.019.759	88.021.914
7	28	829	5942	3	99	713	24	730	5229	145.248	105.964.083	26.561.852	26.843.465		79.120.618	28.483.422	50.637.196	138.659.110
8	27	823	6765	3	99	812	24	724	5953	145.248	105.172.325	26.363.384	26.644.996		78.527.329	28.269.838	50.257.491	188.916.600
9	27	817	7582	3	98	910	24	719	6672	145.248	104.386.484	26.166.398	26.448.011		77.938.473	28.057.850	49.880.623	238.797.223
10	27	811	8392	3	97	1007	24	713	7385	145.248	103.606.514	25.970.884	26.252.497		77.354.017	27.847.446	49.506.571	288.303.794
11	27	805	9197	3	97	1104	24	708	8093	145.248	102.832.371	25.776.831	26.058.444		76.773.927	27.638.614	49.135.314	337.439.107
12	27	799	9996	3	96	1199	23	703	8796	145.248	102.064.013	25.584.228	25.865.841		76.198.173	27.431.342	48.766.831	386.205.938
13	26	793	10788	3	95	1295	23	697	9493	145.248	101.301.397	25.393.064	25.674.677		75.626.720	27.225.619	48.401.101	434.607.039
14	26	787	11575	3	94	1389	23	692	10186	145.248	100.544.478	25.203.328	25.484.941		75.059.537	27.021.433	48.038.104	482.645.142
15	26	781	12355	3	94	1483	23	687	10873	145.248	99.793.215	25.015.011	25.296.623		74.496.592	26.818.773	47.677.819	530.322.961
16	26	775	13130	3	93	1576	23	682	11555	145.248	99.047.566	24.828.100	25.109.713		73.937.853	26.617.627	47.320.226	577.643.187
17	26	769	13899	3	92	1668	23	677	12232	145.248	98.307.488	24.642.586	24.924.198		73.383.290	26.417.984	46.965.305	624.608.493
18	25	763	14663	3	92	1760	22	672	12903	145.248	97.572.940	24.458.458	24.740.070		72.832.870	26.219.833	46.613.037	671.221.529
19	25	758	15420	3	91	1850	22	667	13570	145.248	96.843.880	24.275.705	24.557.318		72.286.562	26.023.162	46.263.400	717.484.929
20	25	752	16172	3	90	1941	22	662	14232	145.248	96.120.268	24.094.319	24.375.931		71.744.337	25.827.961	45.916.376	763.401.305
21	25	746	16919	3	90	2030	22	657	14889	145.248	95.402.063	23.914.287	24.195.900		71.206.163	25.634.219	45.571.944	808.973.249
22	25	741	17660	3	89	2119	22	652	15541	145.248	94.689.224	23.735.601	24.017.214		70.672.010	25.441.924	45.230.086	854.203.335
23	25	735	18395	3	88	2207	22	647	16188	145.248	93.981.711	23.558.250	23.839.863		70.141.848	25.251.065	44.890.783	899.094.118
24	24	730	19125	3	88	2295	21	642	16830	145.248	93.279.485	23.382.224	23.663.837		69.615.648	25.061.633	44.554.015	943.648.133

**Tabla D7. Flujo de caja Unidad VSH2 pozo 3310**

Mes	PRODUCCION BRUTA			REGALIAS			PRODUCCION NETA			VENTA		COSTO LEVANTAMIENTO MES	COSTO ACTUAL	INVERSIONES	FLUJO DE CAJA ACTUAL	IMPUESTO DE RENTA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMULADO ACTUAL
	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BO PD	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	COPI/BI	INGRESO NETO							
0														\$ 224.336.828	(224.336.828)		(224.336.828)	(224.336.828)
1	123	3690	3690	15	443	443	108	3247	3247	145.248	471.649.306	118.227.600	118.517.538		353.131.768	127.127.436	226.004.331	1.667.503
2	121	3635	7325	15	436	879	107	3199	6446	145.248	464.627.362	116.467.420	116.757.358		347.870.004	125.233.201	222.636.803	224.304.306
3	120	3608	10933	14	433	1312	106	3175	9621	145.248	461.155.692	115.597.182	115.887.120		345.268.572	124.296.686	220.971.886	445.276.192
4	119	3581	14514	14	430	1742	105	3151	12772	145.248	457.709.962	114.733.446	115.023.384		342.686.578	123.367.168	219.319.410	664.595.602
5	118	3554	18068	14	427	2168	104	3128	15900	145.248	454.289.978	113.876.164	114.166.102		340.123.876	122.444.595	217.679.281	882.274.893
6	118	3528	21596	14	423	2591	103	3104	19004	145.248	450.895.548	113.025.288	113.315.226		337.580.323	121.528.916	216.051.407	1.098.326.289
7	117	3501	25097	14	420	3012	103	3081	22085	145.248	447.526.482	112.180.769	112.470.707		335.055.775	120.620.079	214.435.696	1.312.761.985
8	116	3475	28572	14	417	3429	102	3058	25143	145.248	444.182.588	111.342.561	111.632.498		332.550.090	119.718.032	212.832.058	1.525.594.043
9	115	3449	32021	14	414	3843	101	3035	28179	145.248	440.863.680	110.510.615	110.800.553		330.063.127	118.822.726	211.240.402	1.736.834.444
10	114	3423	35445	14	411	4253	100	3013	31191	145.248	437.569.571	109.684.886	109.974.824		327.594.747	117.934.109	209.660.638	1.946.495.082
11	113	3398	38842	14	408	4661	100	2990	34181	145.248	434.300.075	108.865.326	109.155.264		325.144.811	117.052.132	208.092.679	2.154.587.762
12	112	3372	42215	13	405	5066	99	2968	37149	145.248	431.055.009	108.051.891	108.341.828		322.713.180	116.176.745	206.536.436	2.361.124.197
13	112	3347	45562	13	402	5467	98	2946	40095	145.248	427.834.190	107.244.533	107.534.471		320.299.719	115.307.899	204.991.820	2.566.116.017
14	111	3322	48884	13	399	5866	97	2924	43018	145.248	424.637.436	106.443.208	106.733.145		317.904.291	114.445.545	203.458.746	2.769.574.763
15	110	3297	52182	13	396	6262	97	2902	45920	145.248	421.464.568	105.647.870	105.937.808		315.526.761	113.589.634	201.937.127	2.971.511.890
16	109	3273	55454	13	393	6655	96	2880	48800	145.248	418.315.408	104.858.475	105.148.412		313.166.996	112.740.118	200.426.877	3.171.938.767
17	108	3248	58703	13	390	7044	95	2858	51658	145.248	415.189.778	104.074.978	104.364.916		310.824.863	111.896.951	198.927.912	3.370.866.679
18	107	3224	61927	13	387	7431	95	2837	54495	145.248	412.087.503	103.297.335	103.587.273		308.500.230	111.060.083	197.440.147	3.568.306.826
19	107	3200	65127	13	384	7815	94	2816	57311	145.248	409.008.408	102.525.503	102.815.441		306.192.967	110.229.468	195.963.499	3.764.270.325
20	106	3176	68303	13	381	8196	93	2795	60106	145.248	405.952.319	101.759.438	102.049.376		303.902.943	109.405.060	194.497.884	3.958.768.209
21	105	3152	71455	13	378	8575	92	2774	62880	145.248	402.919.066	100.999.097	101.289.035		301.630.031	108.586.811	193.043.220	4.151.811.428
22	104	3129	74584	13	375	8950	92	2753	65634	145.248	399.908.477	100.244.438	100.534.376		299.374.101	107.774.676	191.599.425	4.343.410.853
23	104	3105	77689	12	373	9323	91	2733	68366	145.248	396.920.383	99.495.417	99.785.355		297.135.028	106.968.610	190.166.418	4.533.577.271
24	103	3082	80771	12	370	9693	90	2712	71079	145.248	393.954.615	98.751.932	99.041.930		294.912.695	106.168.567	188.744.118	4.722.321.389

**Tabla D8. Flujo de caja Unidad VSH2 pozo 2360**

Mes	PRODUCCION BRUTA			REGALIAS			PRODUCCION NETA			VENTA		COSTO LEVANTAMIENTO MES	COSTO ACTUAL	INVERSIONES	FLUJO DE CAJA ACTUAL	IMPUESTO DE RENTA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMULADO ACTUAL
	BOF D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BO PD	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BOF D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	COPI/bbl	INGRESO NETO							
0														\$ 224.336.828	(224.336.828)		(224.336.828)	(224.336.828)
1	22	660	660	3	79	79	19	581	581	145.248	84.360.038	21.146.400	21.469.851		62.890.187	22.640.467	40.249.720	(184.087.108)
2	22	650	1310	3	78	157	19	572	1153	145.248	83.104.081	20.831.571	21.155.022		61.949.059	22.301.661	39.647.398	(144.439.710)
3	22	645	1955	3	77	235	19	568	1721	145.248	82.483.132	20.675.919	20.999.370		61.483.762	22.134.154	39.349.608	(105.090.102)
4	21	640	2596	3	77	312	19	564	2284	145.248	81.866.822	20.521.429	20.844.880		61.021.942	21.967.899	39.054.043	(66.036.059)
5	21	636	3232	3	76	388	19	559	2844	145.248	81.255.118	20.368.094	20.691.545		60.563.573	21.802.886	38.760.687	(27.275.373)
6	21	631	3863	3	76	464	19	555	3399	145.248	80.647.984	20.215.905	20.539.356		60.108.628	21.639.106	38.469.522	11.194.149
7	21	626	4489	3	75	539	18	551	3950	145.248	80.045.387	20.064.853	20.388.304		59.657.083	21.476.550	38.180.533	49.374.682
8	21	622	5110	2	75	613	18	547	4497	145.248	79.447.292	19.914.930	20.238.380		59.208.912	21.315.208	37.893.704	87.268.386
9	21	617	5727	2	74	687	18	543	5040	145.248	78.853.666	19.766.126	20.089.577		58.764.089	21.155.072	37.609.017	124.877.403
10	20	612	6340	2	73	761	18	539	5579	145.248	78.264.476	19.618.435	19.941.886		58.322.590	20.996.133	37.326.458	162.203.861
11	20	608	6947	2	73	834	18	535	6114	145.248	77.679.688	19.471.847	19.795.298		57.884.390	20.838.381	37.046.010	199.249.871
12	20	603	7551	2	72	906	18	531	6645	145.248	77.099.270	19.326.354	19.649.805		57.449.465	20.681.807	36.767.657	236.017.528
13	20	599	8149	2	72	978	18	527	7171	145.248	76.523.188	19.181.949	19.505.400		57.017.789	20.526.404	36.491.385	272.508.913
14	20	594	8744	2	71	1049	17	523	7694	145.248	75.951.411	19.038.622	19.362.073		56.589.338	20.372.162	36.217.176	308.726.089
15	20	590	9333	2	71	1120	17	519	8213	145.248	75.383.907	18.896.367	19.219.818		56.164.089	20.219.072	35.945.017	344.671.106
16	20	585	9919	2	70	1190	17	515	8728	145.248	74.820.642	18.755.174	19.078.625		55.742.017	20.067.126	35.674.891	380.345.996
17	19	581	10500	2	70	1260	17	511	9240	145.248	74.261.586	18.615.037	18.938.488		55.323.099	19.916.316	35.406.783	415.752.780
18	19	577	11076	2	69	1329	17	507	9747	145.248	73.706.708	18.475.946	18.799.397		54.907.311	19.766.632	35.140.679	450.893.458
19	19	572	11649	2	69	1398	17	504	10251	145.248	73.155.375	18.337.895	18.661.346		54.494.630	19.618.067	34.876.563	485.770.021
20	19	568	12217	2	68	1466	17	500	10751	145.248	72.609.358	18.200.875	18.524.326		54.085.032	19.470.611	34.614.420	520.384.442
21	19	564	12781	2	68	1534	17	496	11247	145.248	72.066.825	18.064.879	18.388.330		53.676.495	19.324.258	34.354.237	554.738.678
22	19	560	13340	2	67	1601	16	492	11739	145.248	71.528.345	17.929.899	18.253.350		53.274.995	19.178.998	34.095.997	588.834.675
23	19	555	13896	2	67	1667	16	489	12228	145.248	70.993.890	17.795.928	18.119.379		52.874.510	19.034.824	33.839.687	622.674.362
24	18	551	14447	2	66	1734	16	485	12713	145.248	70.463.427	17.662.958	17.986.409		52.477.018	18.891.727	33.585.292	656.259.654

**Tabla D9. Flujo de caja Unidad MORLIFT pozo 45**

Mes	PRODUCCION BRUTA			REGALIAS			PRODUCCION NETA				VENTA		COSTO LEVANTAMIENTO MES	COSTO ACTUAL	INVERSIONES	FLUJO DE CAJA ACTUAL	IMPUESTO DE RENTA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMULADO ACTUAL
	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BO PD	ACUM MES (BO)	ACUM M (BO)	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM M (BO)	COP/IBI	INGRESO NETO								
0															\$ 313.028.427	(313.028.427)		(313.028.427)	(313.028.427)
1	29	874	874	3	105	105	26	769	769	145.248	111.675.819	27.993.604	28.275.217			83.400.602	30.024.217	53.376.395	(259.652.042)
2	29	861	1734	3	103	208	25	757	1526	145.248	110.013.182	27.576.834	27.858.447			82.154.736	29.575.705	52.579.031	(207.073.011)
3	28	854	2589	3	103	311	25	752	2278	145.248	109.191.170	27.370.781	27.652.394			81.538.776	29.353.959	52.184.817	(154.888.194)
4	28	848	3437	3	102	412	25	746	3024	145.248	108.375.300	27.166.268	27.447.881			80.927.419	29.133.871	51.793.548	(103.094.646)
5	28	842	4278	3	101	513	25	741	3765	145.248	107.565.525	26.963.283	27.244.896			80.320.629	28.915.426	51.405.203	(51.689.443)
6	28	835	5113	3	100	614	25	735	4500	145.248	106.761.802	26.761.815	27.043.428			79.718.374	28.698.614	51.019.759	(669.684)
7	28	829	5942	3	99	713	24	730	5229	145.248	105.964.083	26.561.852	26.843.465			79.120.618	28.483.422	50.637.196	49.967.511
8	27	823	6765	3	99	812	24	724	5953	145.248	105.172.325	26.363.384	26.644.996			78.527.329	28.269.838	50.257.491	100.225.002
9	27	817	7582	3	98	910	24	719	6672	145.248	104.386.484	26.166.398	26.448.011			77.938.473	28.057.850	49.880.623	150.105.624
10	27	811	8392	3	97	1007	24	713	7385	145.248	103.606.514	25.970.884	26.252.497			77.354.017	27.847.446	49.506.571	199.612.195
11	27	805	9197	3	97	1104	24	708	8093	145.248	102.832.371	25.776.831	26.058.444			76.773.927	27.638.614	49.135.314	248.747.509
12	27	799	9996	3	96	1199	23	703	8796	145.248	102.064.013	25.584.228	25.865.841			76.198.173	27.431.342	48.766.831	297.514.339
13	26	793	10788	3	95	1295	23	697	9493	145.248	101.301.397	25.393.064	25.674.677			75.626.720	27.225.619	48.401.101	345.915.440
14	26	787	11575	3	94	1389	23	692	10186	145.248	100.544.478	25.203.328	25.484.941			75.059.537	27.021.433	48.038.104	393.953.544
15	26	781	12355	3	94	1483	23	687	10873	145.248	99.793.215	25.015.011	25.296.623			74.496.592	26.818.773	47.677.819	441.631.362
16	26	775	13130	3	93	1576	23	682	11555	145.248	99.047.566	24.828.100	25.109.713			73.937.853	26.617.627	47.320.226	488.951.589
17	26	769	13899	3	92	1668	23	677	12232	145.248	98.307.488	24.642.586	24.924.198			73.383.290	26.417.984	46.965.305	535.916.894
18	25	763	14663	3	92	1760	22	672	12903	145.248	97.572.940	24.458.458	24.740.070			72.832.870	26.219.833	46.613.037	582.529.931
19	25	758	15420	3	91	1850	22	667	13570	145.248	96.843.880	24.275.705	24.557.318			72.286.562	26.023.162	46.263.400	628.793.330
20	25	752	16172	3	90	1941	22	662	14232	145.248	96.120.268	24.094.319	24.375.931			71.744.337	25.827.961	45.916.376	674.709.706
21	25	746	16919	3	90	2030	22	657	14889	145.248	95.402.063	23.914.287	24.195.900			71.206.163	25.634.219	45.571.944	720.281.650
22	25	741	17660	3	89	2119	22	652	15541	145.248	94.689.224	23.735.601	24.017.214			70.672.010	25.441.924	45.230.086	765.511.737
23	25	735	18395	3	88	2207	22	647	16188	145.248	93.981.711	23.558.250	23.839.863			70.141.848	25.251.065	44.890.783	810.402.520
24	24	730	19125	3	88	2295	21	642	16830	145.248	93.279.485	23.382.224	23.663.837			69.615.648	25.061.633	44.554.015	854.956.534

**Tabla D10. Flujo de caja Unidad MORLIFT pozo 3310**

Mes	PRODUCCION BRUTA			REGALIAS			PRODUCCION NETA			VENTA		COSTO LEVANTAMIENTO MES	COSTO ACTUAL	INVERSIONES	FLUJO DE CAJA ACTUAL	IMPUESTO DE RENTA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMULADO ACTUAL
	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BO PD	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	COPI/BI	INGRESO NETO							
0														\$ 313.028.427	(313.028.427)		(313.028.427)	(313.028.427)
1	123	3690	3690	15	443	443	108	3247	3247	145.248	471.649.306	118.227.600	118.517.538		353.131.768	127.127.436	226.004.331	(87.024.095)
2	121	3635	7325	15	436	879	107	3199	6446	145.248	464.627.362	116.467.420	116.757.358		347.870.004	125.233.201	222.636.803	135.612.707
3	120	3608	10933	14	433	1312	106	3175	9621	145.248	461.155.692	115.597.182	115.887.120		345.268.572	124.296.686	220.971.886	356.584.593
4	119	3581	14514	14	430	1742	105	3151	12772	145.248	457.709.962	114.733.446	115.023.384		342.686.578	123.367.168	219.319.410	575.904.003
5	118	3554	18068	14	427	2168	104	3128	15900	145.248	454.289.978	113.876.164	114.166.102		340.123.876	122.444.595	217.679.281	793.583.284
6	118	3528	21596	14	423	2591	103	3104	19004	145.248	450.895.548	113.025.288	113.315.226		337.580.323	121.528.916	216.051.407	1.009.634.691
7	117	3501	25097	14	420	3012	103	3081	22085	145.248	447.526.482	112.180.769	112.470.707		335.055.775	120.620.079	214.435.696	1.224.070.386
8	116	3475	28572	14	417	3429	102	3058	25143	145.248	444.182.588	111.342.561	111.632.498		332.550.090	119.718.032	212.832.058	1.436.902.444
9	115	3449	32021	14	414	3843	101	3035	28179	145.248	440.863.680	110.510.615	110.800.553		330.063.127	118.822.726	211.240.402	1.648.142.845
10	114	3423	35445	14	411	4253	100	3013	31191	145.248	437.569.571	109.684.886	109.974.824		327.594.747	117.934.109	209.660.638	1.857.803.484
11	113	3398	38842	14	408	4661	100	2990	34181	145.248	434.300.075	108.865.326	109.155.264		325.144.811	117.052.132	208.092.679	2.065.896.163
12	112	3372	42215	13	405	5066	99	2968	37149	145.248	431.055.009	108.051.891	108.341.828		322.713.180	116.176.745	206.536.436	2.272.432.598
13	112	3347	45562	13	402	5467	98	2946	40095	145.248	427.834.190	107.244.533	107.534.471		320.299.719	115.307.899	204.991.820	2.477.424.419
14	111	3322	48884	13	399	5866	97	2924	43018	145.248	424.637.436	106.443.208	106.733.145		317.904.291	114.445.545	203.458.746	2.680.883.164
15	110	3297	52182	13	396	6262	97	2902	45920	145.248	421.464.568	105.647.870	105.937.808		315.526.761	113.589.634	201.937.127	2.882.820.291
16	109	3273	55454	13	393	6655	96	2880	48900	145.248	418.315.408	104.858.475	105.148.412		313.166.996	112.740.118	200.426.877	3.083.247.169
17	108	3248	58703	13	390	7044	95	2858	51658	145.248	415.189.778	104.074.978	104.364.916		310.824.863	111.896.951	198.927.912	3.282.175.081
18	107	3224	61927	13	387	7431	95	2837	54495	145.248	412.087.503	103.297.335	103.587.273		308.500.230	111.060.083	197.440.147	3.479.615.228
19	107	3200	65127	13	384	7815	94	2816	57311	145.248	409.008.408	102.525.503	102.815.441		306.192.967	110.229.468	195.963.499	3.675.578.726
20	106	3176	68303	13	381	8196	93	2795	60106	145.248	405.952.319	101.759.438	102.049.376		303.902.943	109.405.060	194.497.884	3.870.076.610
21	105	3152	71455	13	378	8575	92	2774	62880	145.248	402.919.066	100.999.097	101.289.035		301.630.031	108.586.811	193.043.220	4.063.119.830
22	104	3129	74584	13	375	8950	92	2753	65634	145.248	399.908.477	100.244.438	100.534.376		299.374.101	107.774.676	191.599.425	4.254.719.255
23	104	3105	77689	12	373	9323	91	2733	68366	145.248	396.920.383	99.495.417	99.785.355		297.135.028	106.968.610	190.166.418	4.444.885.672
24	103	3082	80771	12	370	9693	90	2712	71079	145.248	393.954.615	98.751.992	99.041.930		294.912.685	106.168.567	188.744.118	4.633.629.791

**Tabla D11. Flujo de caja Unidad MORLIFT pozo 2360**

Mes	PRODUCCION BRUTA			REGALIAS			PRODUCCION NETA			VENTA		COSTO LEVANTAMIENTO MES	COSTO ACTUAL	INVERSIONES	FLUJO DE CAJA ACTUAL	IMPUESTO DE RENTA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACTUAL	FLUJO DE CAJA ACUMULADO ACTUAL
	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BO PD	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	BOP D	ACUM MES (BO)	ACUM (BO)	COP/IBM	INGRESO NETO							
0														\$ 313.028.427	(313.028.427)		(313.028.427)	(313.028.427)
1	22	660	660	3	79	79	19	581	581	145.248	84.360.038	21.146.400	21.146.851		62.890.187	22.640.467	40.249.720	(272.778.707)
2	22	650	1310	3	78	157	19	572	1153	145.248	83.104.081	20.831.571	21.155.022		61.949.059	22.301.661	39.647.398	(233.131.309)
3	22	645	1955	3	77	235	19	568	1721	145.248	82.483.132	20.675.919	20.999.370		61.483.762	22.134.154	39.349.608	(193.781.701)
4	21	640	2596	3	77	312	19	564	2284	145.248	81.866.822	20.521.429	20.844.880		61.021.942	21.967.899	39.054.043	(154.727.658)
5	21	636	3232	3	76	388	19	559	2844	145.248	81.255.118	20.368.094	20.691.545		60.563.573	21.802.886	38.760.687	(115.966.972)
6	21	631	3863	3	76	464	19	555	3399	145.248	80.647.984	20.215.905	20.539.356		60.108.628	21.639.106	38.469.522	(77.497.449)
7	21	626	4489	3	75	539	18	551	3950	145.248	80.045.387	20.064.853	20.388.304		59.657.083	21.476.550	38.180.533	(39.316.916)
8	21	622	5110	2	75	613	18	547	4497	145.248	79.447.292	19.914.930	20.238.380		59.208.912	21.315.208	37.893.704	(1.423.213)
9	21	617	5727	2	74	687	18	543	5040	145.248	78.853.666	19.766.126	20.089.577		58.764.089	21.155.072	37.609.017	36.185.804
10	20	612	6340	2	73	761	18	539	5579	145.248	78.264.476	19.618.435	19.941.886		58.322.590	20.996.133	37.326.458	73.512.262
11	20	608	6947	2	73	834	18	535	6114	145.248	77.679.688	19.471.847	19.795.298		57.884.390	20.838.381	37.046.010	110.558.272
12	20	603	7551	2	72	906	18	531	6645	145.248	77.093.270	19.326.354	19.649.805		57.449.465	20.681.807	36.767.657	147.325.929
13	20	599	8149	2	72	978	18	527	7171	145.248	76.523.188	19.181.949	19.505.400		57.017.789	20.526.404	36.491.385	183.817.314
14	20	594	8744	2	71	1049	17	523	7694	145.248	75.951.411	19.038.622	19.362.073		56.589.338	20.372.162	36.217.176	220.034.490
15	20	590	9333	2	71	1120	17	519	8213	145.248	75.383.907	18.896.367	19.219.818		56.164.089	20.219.072	35.945.017	255.979.507
16	20	585	9919	2	70	1190	17	515	8728	145.248	74.820.642	18.755.174	19.078.625		55.742.017	20.067.126	35.674.891	291.654.398
17	19	581	10500	2	70	1260	17	511	9240	145.248	74.261.586	18.615.037	18.938.488		55.323.099	19.916.316	35.406.783	327.061.181
18	19	577	11076	2	69	1329	17	507	9747	145.248	73.706.708	18.475.946	18.799.397		54.907.311	19.766.632	35.140.679	362.201.860
19	19	572	11649	2	69	1398	17	504	10251	145.248	73.155.975	18.337.895	18.661.346		54.494.630	19.618.067	34.876.563	397.078.423
20	19	568	12217	2	68	1466	17	500	10751	145.248	72.609.358	18.200.875	18.524.326		54.085.032	19.470.611	34.614.420	431.692.843
21	19	564	12781	2	68	1534	17	496	11247	145.248	72.066.825	18.064.879	18.388.330		53.678.495	19.324.258	34.354.237	466.047.080
22	19	560	13340	2	67	1601	16	492	11739	145.248	71.528.345	17.929.899	18.253.350		53.274.995	19.178.998	34.095.997	500.143.077
23	19	555	13896	2	67	1667	16	489	12228	145.248	70.993.890	17.795.928	18.119.379		52.874.510	19.034.824	33.839.687	533.982.763
24	18	551	14447	2	66	1734	16	485	12713	145.248	70.463.427	17.662.958	17.986.409		52.477.018	18.891.727	33.585.292	567.568.055