

**ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DEL  
FUNCIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO  
CONVENCIONAL, TUNDRA Y ROTAFLEX EN EL CAMPO LA CIRA-INFANTAS**

**JUAN DAVID ALBA BELEÑO  
REMSON RENATO CASAS SEGOVIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DESANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2018**

**ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DEL  
FUNCIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO  
CONVENCIONAL, TUNDRA Y ROTAFLEX EN EL CAMPO LA CIRA-INFANTAS**

**JUAN DAVID ALBA BELEÑO  
REMSON RENATO CASAS SEGOVIA**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Petróleos**

**Director:  
FERNANDO ENRIQUE CALVETE GONZALEZ  
MSc. en Informática**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DESANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2018**

## DEDICATORIA

*Dedico éste libro a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida. A mi papá, quien me ha apoyado, enseñado e inculcado valores para enfrentar cada desafío. A mi mamá, por entregarme todo con su amor incondicional ante cualquier circunstancia, a mis hermanas Yessica y Cindy por su apoyo en todo momento. A mis sobrinos por brindarme diariamente un sin fin de sonrisas, a mi hijo Juan Jerónimo por ser mi aliento y mi motivación para salir adelante cada día. A mi abuelita a quien quiero con todo mi corazón por ser un apoyo incondicional. Y a toda mi familia por estar presentes en este gran proceso, mil gracias por todo.*

*Juan David*

## DEDICATORIA

*Primero dedicó este nuevo peldaño de la escalera de la vida a Dios que hizo realidad este proceso, a mis padres que siempre serán el motor de mi existencia, a mi familia por el apoyo que me brindaron en todo momento y a mis amigos que me acompañaron y me brindaron palabras de aliento cuando las cosas parecían un poco complicadas , a todos ustedes va dedicado este pequeño triunfo en la batalla de la vida.*

***Remson Renato***

## **AGRADECIMIENTOS**

A los ingenieros Andrés Duarte, Jennifer Arambulo, Álvaro Garzón, Álvaro Jácome, Oscar Cuartas y Juan Carlos Prada por su apoyo completo durante todo el proceso.

Al ingeniero David Alba Rojas por su acompañamiento y contribución en la realización de este proyecto.

Al ingeniero Andrés Felipe Correa por su seguimiento y colaboración en la culminación de este proyecto.

Al ingeniero Fernando Enrique Calvete González, director de nuestro proyecto, por su interés y dedicación.

Al ingeniero Erick Giovany Montes Paez, calificador de nuestro proyecto, por sus valiosos comentarios y recomendaciones.

A la universidad Industrial de Santander por su sublime formación profesional.

Agradecemos a todas las personas, entidades y profesores que de una u otra forma aportaron en la realización de este proyecto.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	19
1. GENERALIDADES DEL CAMPO .....	21
1.1 LOCALIZACIÓN DEL CAMPO.....	21
1.2 PROPIEDADES DE LOS FLUÍDOS YACIMIENTO .....	22
2. GENERALIDADES DEL BOMBEO MECÁNICO.....	24
2.1 BOMBAS DE SUBSUELO .....	25
2.2 ESPECIFICACIONES.....	27
2.2.1 Sistema de bombeo mecánico convencional .....	27
2.2.1.1 Equipo de superficie .....	28
2.2.1.2 Equipo de subsuelo .....	35
2.2.1.3 Ventajas .....	36
2.2.1.4 Desventajas .....	37
2.2.1.5 Criterios para la selección.....	37
2.2.2 Sistema de bombeo mecánico no convencional ROTAFLEX .....	38
2.2.2.1 Partes de la unidad de bombeo Rotaflex .....	41
2.2.2.2 Aplicaciones.....	44
2.2.2.3 Denominación de la unidad de bombeo Rotaflex.....	45
2.2.2.4 Ventajas .....	47
2.2.2.5 Desventajas .....	48
2.2.2.6 Criterios para selección.....	48
2.2.3 Sistema de bombeo mecánico no convencional tundra .....	49
2.2.3.1 Partes de la unidad de bombeo tundra .....	50
2.2.3.2 Funcionamiento .....	53
2.2.3.3 Tipos de unidades de bombeo.....	54
2.2.3.4 Ventajas .....	54

2.2.3.5 Desventajas .....	55
2.2.4 Comparativo entre unidad tundra 400 VS Rotaflex 900 VS unidad convencional .....	56
2.2.5 Ciclo de la bomba de subsuelo .....	57
2.2.5.1 Clasificación de las bombas de subsuelo .....	58
2.2.6 Fallas presentes en el sistema de bombeo mecánico .....	65
2.2.6.1 Tipos de fallas .....	67
2.2.6.2 Problemas comunes en el sistema de bombeo mecánico .....	68
2.3 CONTROL DE PRODUCCIÓN .....	70
2.4 SELECCIÓN DE LOS POZOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO CONVENCIONAL, TUNDRA Y ROTAFLEX .....	71
2.4.1 Criterios para la selección .....	71
2.4.2 Selección de los pozos piloto para la implementación de las unidades de bombeo mecánico convencional, tundra y rotaflex .....	74
2.4.3 Estudio técnico de los pozos candidatos seleccionados .....	77
3. DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS .....	78
3.1 SECUENCIA DEL SOFTWARE SROD E INGRESO DE LA INFORMACIÓN .....	78
3.2 RESULTADOS OBTENIDOS SIMULADOS EN EL POZO 4 .....	108
4. ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO .....	128
4.1 ANÁLISIS TÉCNICO .....	128
4.1.1 Cambio de la unidad de bombeo mecánico convencional a unidad de bombeo mecánico no convencional .....	128
4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	137
4.2.1 Valor acumulado por número de intervenciones-ahorro .....	141
4.2.2 Consumo energético de las tres unidades-ahorro .....	142
4.2.3 Valores resultantes generales del análisis económico .....	142
5. CONCLUSIONES .....	144
6. RECOMENDACIONES .....	146
BIBLIOGRAFÍA .....	147

ANEXOS.....150

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación del campo La Cira Infantas. ....	21
Figura 2. Divisiones del campo La Cira Infantas. ....	22
Figura 3. Esquema del bombeo mecánico Convencional. ....	28
Figura 4. Esquema de la unidad Lufkin Convencional. ....	33
Figura 5. Esquema de la unidad balanceada por aire. ....	33
Figura 6. Esquema de la unidad especial Lufkin Mark II. ....	34
Figura 7. Esquema de la unidad Maximizer II. ....	34
Figura 8. Esquema del bombeo mecánico no Convencional Rotaflex. ....	39
Figura 9. Sistema de cadena y contrapeso. ....	40
Figura 10. Accionamiento del contrapeso. ....	40
Figura 11. Parte del tambor de la unidad. ....	42
Figura 12. Sistema de frenado automático. ....	43
Figura 13. Sistema de frenado manual. ....	44
Figura 14. Esquema del bombeo mecánico no Convencional Tundra. ....	50
Figura 15. Ciclo de la bomba de subsuelo. ....	58
Figura 16. Sección transversal de bomba de tubería TH. ....	60
Figura 17. Varilla continua. ....	62
Figura 18. Buckling en unidad Convencional a condiciones de operación. ....	64
Figura 19. Fallas comunes en el campo La Cira Infantas. ....	65
Figura 20. Ciclo por interferencia de gas. ....	68
Figura 21. Ciclo por golpe de fluido. ....	69
Figura 22. Ciclo con bomba arenada. ....	70
Figura 23. Información general SROD. ....	79
Figura 24. Bomba/Tubing SROD. ....	81
Figura 25. Varilla SROD. ....	84

Figura 26. Unidad Convencional SROD .....	90
Figura 27. Unidad Rotaflex SROD .....	90
Figura 28. Unidad Tundra SROD.....	91
Figura 29. Motor/Velocidad SROD.....	95
Figura 30. Desviación SROD .....	98
Figura 31. Carta dinamométrica de la unidad Maximizer II.....	115
Figura 32. Tendencia de efecto Buckling en unidad Maximizer II.....	116
Figura 33. Cargas laterales Unidad Maximizer II.....	117
Figura 34. Carta dinamométrica de la unidad Rotaflex 900.....	120
Figura 35. Tendencia de efecto Buckling en unidad Rotaflex 900.....	121
Figura 36. Cargas laterales Unidad Rotaflex 900.....	122
Figura 37. Carta dinamométrica de la unidad Tundra 400.....	125
Figura 38. Tendencia de efecto Buckling en unidad Tundra 400.....	126
Figura 39. Cargas laterales Unidad Tundra 400.....	127
Figura 40. Valor por número de intervenciones entre unidades Convencionales; Tundra y Rotaflex.....	141
Figura 41. Consumo de energía unidades Convencional; Tundra y Rotaflex .....	142
Figura 42. Costos operacionales año unidad Convencional; Tundra y Rotaflex..	143

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Propiedades de los fluidos del campo La Cira Infantas .....	23
Tabla 2. Propiedades del yacimiento .....	23
Tabla 3. Sistemas de levantamiento artificial en el campo La Cira- Infantas. ....	25
Tabla 4. Criterios de selección bombeo mecánico Convencional .....	38
Tabla 5. Unidades según denominación API .....	46
Tabla 6. Rango de especificaciones de la unidad Rotaflex.....	47
Tabla 7. Especificaciones de la bomba tundra .....	54
Tabla 8. Tipos de unidades de bombeo Tundra .....	54
Tabla 9. Comparativo técnico Unidades Convencional; Tundra y Rotaflex .....	56
Tabla 10. Comparativo de unidades Convencional; Tundra y Rotaflex de acuerdo a carga, recorrido y peso. ....	57
Tabla 11. Varillas según su grado y acero .....	61
Tabla 12. Diámetros y Torque Máximo para cada Tipo de Varilla Continua .....	63
Tabla 13. Matriz para selección de pozos candidatos. ....	74
Tabla 14. Relación de pozos piloto seleccionados .....	77
Tabla 15. Diámetro de varilla admisible por tipo de bomba .....	85
Tabla 16. Resultados simulados de las unidades de superficie a condiciones de operación en el simulador Srod .....	131
Tabla 17. Resultados simulación de unidades de superficie a condiciones de operación en simulador Srod .....	132
Tabla 18. Resultados simulación de unidades de superficie a condiciones de operación en simulador Srod .....	134
Tabla 19. Tiempo de duración de la varilla según el tipo de unidad de superficie .....	135

Tabla 20. Relación de strokes y velocidad de bombeo unidad Convencional; Tundra y Rotaflex.....	136
Tabla 21. Configuración actual para cada pozo.....	136
Tabla 22. Configuración a seleccionar simulada para cada pozo .....	136
Tabla 23. Cálculo ahorro del proyecto para el Pozo 4 .....	142
Tabla 24. Cálculo ahorro del proyecto para el Pozo 6. ....	142
Tabla 25. Cálculo ahorro del proyecto para el Pozo 3. ....	143

## LISTA DE ESQUEMAS

	<b>Pág.</b>
Esquema 1. Nomenclatura para las bombas de subsuelo	26
Esquema 2. Denominación unidad de bombeo de carrera larga	45
Esquema 3. Metodología para la selección de pozos representativos	73
Esquema 4. Runlife pozo 4	131
Esquema 5. Runlife pozo 6	133
Esquema 6. Runlife pozo 3	134

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. DIAGRAMA DE COMPLETACIÓN DE LOS POZOS SELECCIONADOS .....	150
ANEXO B. SIMULACIÓN DE LOS POZOS SELECCIONADOS CON EL SOFTWARE SROD V8.1.1000.....	156
ANEXO C. DINAGRAMA SIMULADO DE LOS POZOS SELECCIONADOS CON EL SOFTWARE SROD V8.1.1000.....	194

## RESUMEN

**TÍTULO:** ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO CONVENCIONAL, TUNDRA Y ROTAFLEX EN EL CAMPO LA CIRA-INFANTAS\*

**AUTORES:** JUAN DAVID ALBA BELEÑO  
REMSON RENATO CASAS SEGOVIA\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Campo la Cira Infantas, varillas, sistemas de bombeo mecánico, Convencional, Rotaflex, Tundra.

### DESCRIPCIÓN:

En la actualidad en el campo La Cira Infantas el sistema de levantamiento artificial de producción más usado en gran proporción es el bombeo mecánico. A partir de esto, es de gran importancia tener en cuenta las ventajas y desventajas presentes en las unidades de largo recorrido como lo son la Rotaflex y la Tundra, y las unidades de bombeo mecánico instaladas en el campo como las Convencionales.

Es por esto que, en este proyecto de investigación se analizan alternativas con el objetivo de dar solución a los problemas que traen consigo la corta vida útil de los equipos de superficie y de fondo de las unidades de bombeo mecánico. De acuerdo a esto, se estudian las principales características e historiales de producción del campo recopilando información de los equipos tanto de superficie como los de fondo. Seguido a esto, se realiza una evaluación técnica de los diseños del sistema por medio del simulador SROD para cada unidad de bombeo mecánico Convencional, Rotaflex y Tundra. Dicha evaluación técnica permite definir unos criterios óptimos con la finalidad de seleccionar pozos pilotos a diseñar y de esta manera poder comparar las unidades anteriormente mencionadas. Finalmente, se realiza un análisis tanto técnico como económico de las tres unidades de bombeo mecánico para visualizar la viabilidad financiera del proyecto y así lograr reducir costos asociados a intervenciones generadas a los pozos.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: ing. Fernando Enrique Calvete González

## ABSTRACT

**TITLE:** TECHNICAL-ECONOMIC STUDY FOR THE SELECTION AND EVALUATION OF THE OPERATION OF THE UNITS OF CONVENTIONAL MECHANICAL PUMPING, TUNDRA AND ROTAFLEX IN LA CIRA-INFANTAS FIELD\*

**AUTHORS:** JUAN DAVID ALBA BELEÑO  
REMSON RENATO CASAS SEGOVIA\*\*

**KEYWORDS:** La Cira Infantas Field, rods, mechanical pumping systems, Conventional, Rotaflex, Tundra.

### DESCRIPTION:

At present in the La Cira Infantas field, the most used artificial lifting system in a large proportion is mechanical pumping. From this, it is of great importance to take into account the advantages and disadvantages present in the long-haul units such as the Rotaflex and the Tundra, and the mechanical pumping units installed in the field as the Conventional ones.

That is why, in this research project, alternatives are analyzed in order to solve the problems that come with the short useful life of the surface and bottom equipment of the mechanical pumping units. According to this, the main characteristics and production histories of the field are studied by gathering information from both the surface and background equipment. Following this, a technical evaluation of the system designs is performed through the SROD simulator for each conventional mechanical pumping unit, Rotaflex and Tundra. This technical evaluation allows to define optimal criteria in order to select pilot wells to be designed and in this way to be able to compare the previously mentioned units. Finally, a technical and economic analysis of the three mechanical pumping units is carried out to visualize the financial viability of the project and thus reduce costs associated with interventions generated to the wells.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Physical Chemistry Engineering Faculty. Petroleum Engineering School. Advisor: ing. Fernando Enrique Calvete González

## INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad de producir crudo a un costo óptimo y viéndose afectado por la recurrencia de fallas en los sistemas, es necesario explorar nuevas alternativas y/o aplicaciones en la extracción que redunde en la disminución de fallas ocasionadas por la dinámica de la producción en los sistemas de levantamiento artificial con bombeo mecánico.

Considerándose las fallas representadas en pozos con bombeo mecánico ocasionadas por el rozamiento entre la tubería y/o la varilla del pozo junto a las posibles causas como: la desviación y las velocidades entre los ciclos de extracción, es pertinente realizar un comparativo técnico entre las unidades de bombeo mecánico Convencional; Tundra y Rotaflex de acuerdo a los parámetros de longitud de carrera, carga en la barra, velocidad de movimiento y cambios de velocidad con el fin de conocer el comportamiento operativo y de esta manera seleccionar la unidad que brinde mejores resultados.

Es por esto que, en el campo La Cira Infantas las unidades con mayores fallas por rozamiento en mayor proporción son las Convencionales, siendo este el motivo para la selección de los pozos piloto los cuales presentan una unidad Convencional en superficie en aras de evaluar y analizar el posible cambio a unidades de largo recorrido.

Se tendrán en cuenta los pozos representativos en los que se realizó cambio de unidad para controlar las fallas por rozamiento y a partir de esto, se llevará a cabo una evaluación de los costos obtenidos por la reducción de fallas esperando generar ahorros operacionales por disminución en el número de intervenciones.

Finalmente, en el campo La Cira-Infantas se espera poder utilizar otros tipos de unidades de bombeo mecánico a partir de variables que sirvan de aplicación a otros campos, buscando cuales de estas afectan en mayor proporción el bombeo mecánico, además se espera demostrar que económicamente es factible el cambio de unidad en cada pozo en cuanto a ahorros por disminución de intervenciones en el año.

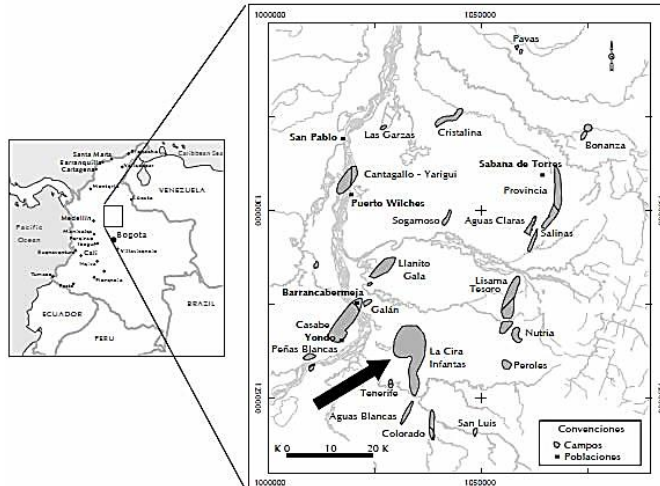
# 1. GENERALIDADES DEL CAMPO

## 1.1 LOCALIZACIÓN DEL CAMPO

El campo la Cira infanta<sup>1</sup> está ubicado en la cuenca del valle medio del magdalena, limitada al este con la cordillera oriental, al oeste con la cordillera central, al norte con la localidad del Banco, Magdalena y al sur con Honda, Tolima.

Se ubica a 22 kilómetros del municipio de Barrancabermeja, en el corregimiento el Centro, Ecopetrol. Actualmente presenta 975 pozos activos en un área de 170 km<sup>2</sup> aproximadamente.

**Figura 1. Ubicación del campo La Cira Infantas.**



Fuente: Oficina de Gerencia Cira – Teca, ECOPETROL S.A, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

<sup>1</sup> AGUIRRE GOMEZ, German Andres & ORTIZ YARA, Cristian Camilo. Revisión bibliográfica del campo la cira infantas (Cuenca del valle medio del magdalena). [En línea]. Universidad nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. (Recuperado en 2 septiembre 2015) Disponible en: <https://es.scribd.com/document/277815125/campo-La-Cira>

El campo presenta divisiones en bloques como se observa en a **Figura 2**.

**Figura 2. Divisiones del campo La Cira Infantas.**



Fuente: Oficina de Gerencia Cira – Teca, ECOPELROL S.A, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En la actualidad la producción del campo LA CIRA-INFANTAS está en un valor cercano a los 45.000 BPPD<sup>2</sup> a la fecha, dado que el campo ha producido por casi una década, su energía del yacimiento es baja, por ende, resulta conveniente este campo para realizar un estudio técnico-económico para la selección y evaluación del funcionamiento de las unidades de bombeo mecánico, Tundra y Rotaflex en el campo LA CIRA-INFANTAS.

## 1.2 PROPIEDADES DE LOS FLUÍDOS YACIMIENTO

El campo La Cira Infantas goza de tres zonas productoras las cuales se describen a continuación. Ver **Tabla 1**.

---

<sup>2</sup> CUNDAR C., OSORIO R., SAAVEDRA C. M., ECOPELROL S. A., RUEDA L. A., RODRIGUEZ C., Occidental de Colombia. Un Modelo de gradiente de propiedades PVT para un yacimiento maduro. Campo La Cira (Arenas C), Colombia. [En línea]. Artículo Técnico. Bogota D.C.: Acipet. Disponible en <https://congresoacipet.com/wp-content/uploads/2017/Tec/TEC-170.pdf>

**Tabla 1. Propiedades de los fluidos del campo La Cira Infantas**

PARÁMETROS	ZONA				
	LA CIRA			INFANTAS	
	A	B	C	B	C
Área (acres)	1492	3444	7438	1171	2778
Tope (ft)	820	1600	3070	900	2390
Espesor neto (ft)	227	257	290	257	290
Porosidad promedio (%)	24	21	22	21	22
Permeabilidad promedio (md)	111	40	95	40	95
Temperatura de Yacimiento, °F	92	98	105	85	95
Presión de Saturación, psi	640	715	1570	500	945
Swi (%)	45	45	45	45	45
Mecanismo de producción	Gas Disuelto			Drenaje Gravitacional Gas Disuelto	

Fuente: Base de Archivos del Campo La Cira-Infantas, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Las propiedades del yacimiento se observan en la siguiente tabla (**TABLA 2**). Se caracteriza por tener un crudo de 24 °API<sup>3</sup> en promedio.

**Tabla 2. Propiedades del yacimiento**

PROPIEDAD	ZONAS				
	LA CIRA			INFANTAS	
	A	B	C	B	C
Factor Volumétrico @ Ps y Py RB/STB	1,067	1,075	1,08	-	1,0
Solubilidad Rs, SCF/STB	70	93	181	93	200
Gravedad API	18-24	20-27	16-25	25	24-28
Viscosidad, cp	50 cps @100°F	11,4 cps @ 98°F y 650psi	19 cps @105°F y 1570psi	11,4 cps @ 98°F y 650psi	5,5cps
Salinidad, ppm NaCl	(10-15)ml	(15-25)ml	(25-40)ml	(15-25)ml	(20-40)ml
Tipo de crudo	Nafténico			Nafténico-Parafínico	

Fuente: Base de Archivos del Campo La Cira-Infantas, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

<sup>3</sup> LÓPEZ A, et al. Cuencas sedimentarias en Colombia. Bogotá, mayo 19 de 2012. 13p.

## 2. GENERALIDADES DEL BOMBEO MECÁNICO

La producción de hidrocarburo en Colombia está ligada a campos maduros que llevan operando más de 30 años generando así un factor de recobro de crudo mayor al 20%. Es por esto que la caída de presión a lo largo de la vida del campo es considerable siendo necesario implementar sistemas de levantamiento artificial en procura de aumentar la producción del campo.

Los sistemas de levantamiento artificial generan una fuente de energía que modifica las condiciones de flujo suministrando el movimiento de los fluidos hasta la superficie.

El bombeo mecánico es una técnica de levantamiento artificial basada en la extracción y transporte sin interrupción del petróleo emanado del yacimiento hasta la superficie. La unidad ubicada en la superficie genera un movimiento particular de tipo balancín el cual se transfiere a la bomba para producir movimiento al pistón.<sup>4</sup>

En el campo La Cira Infantas, el bombeo mecánico es el sistema más utilizado. En la **TABLA 3** se detalla el total de pozos con su respectivo sistema y producción diaria.

---

<sup>4</sup> PEÑA DUARTE Cristian David. Estudio técnico financiero para la implementación de unidades de bombeo mecánico no Convencionales en el campo La Cira Infantas. Bucaramanga, 2014. 46p.

**Tabla 3. Sistemas de levantamiento artificial en el campo La Cira- Infantas.**

SLA	N° de pozos activos	% Pozos activos	Producción diaria
			BPPD
Bombeo Mecánico	720	74	31.670
Electrosumergible	105	10,7	5.970
Cavidades Progresivas	146	14,9	7.450
BES-BCP	4	0,4	190
TOTAL	975	100	45.280

Fuente: Oficina de Operación y Producción de Subsuelo, Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

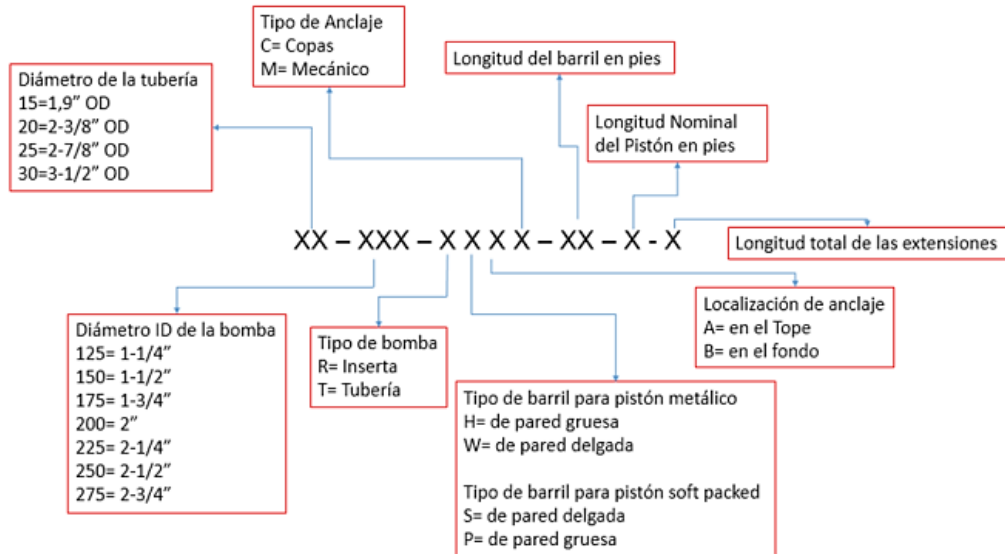
## 2.1 BOMBAS DE SUBSUELO

Las bombas de subsuelo se enuncian según nomenclatura basada en el API 11ax, en el **ESQUEMA 1** se observa la clasificación y la manera de referenciar dichas bombas con base en una serie de códigos y letras.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> TAKÁCS, Op. Cit., p. 47.

## Esquema 1. Nomenclatura para las bombas de subsuelo



Fuente: MONCADA DELGADO, Davian Augusto. Caracterización del sistema de levantamiento artificial bombeo mecánico en pozos de crudo pesado. [En línea]. (Recuperado en 13 abril 2016.) Disponible en <https://bombeoycrudospesados.wordpress.com/2016/04/13/3caracterizacion-del-sistemas-de-levantamiento-artificial-bombeo-MECÁNICO-en-pozos-de-crudo-pesado/>

Dependiendo de las características de cada pozo, las bombas de subsuelo se seleccionan considerando los siguientes parámetros<sup>6</sup>.

- El tipo de bomba que puede elegirse sería:
  - R: Para bombas insertables o de varilla.
  - T: Para bombas de tubería.
- Dependiendo de la profundidad del pozo se elige el tipo de barril para la bomba
  - H: Barril de paredes gruesas y pistón metálico.
  - W: Barril de paredes delgadas y pistón metálico.
  - S: Barril de paredes delgadas y pistón suave.
  - P: Barril de paredes gruesas y pistón suave.

<sup>6</sup> THETA ENTERPRISE, Op cit., p. 63-64.

- Según el aporte de sólidos del pozo se ubica del anclaje
  - A: Parte superior de la bomba.
  - B: Parte inferior de la bomba.
  - T: Parte inferior de la bomba (barril viajero).
- Según el gradiente de temperatura del pozo se elige el tipo de anclaje
  - C: Asiento de copas.
  - M: Asiento mecánico.

## 2.2 ESPECIFICACIONES

Dependiendo de las características de cada pozo se hace la selección de la unidad de bombeo haciendo una descripción de los elementos que componen dicha unidad junto a los equipos de subsuelo y los de superficie.

**2.2.1 Sistema de bombeo mecánico convencional** La unidad de bombeo mecánico Convencional es uno de los métodos de levantamiento artificial más usado en la industria,<sup>7</sup> comparados con otras unidades de bombeo mecánico es la más económica, fácil de operar y de realizar el mantenimiento.

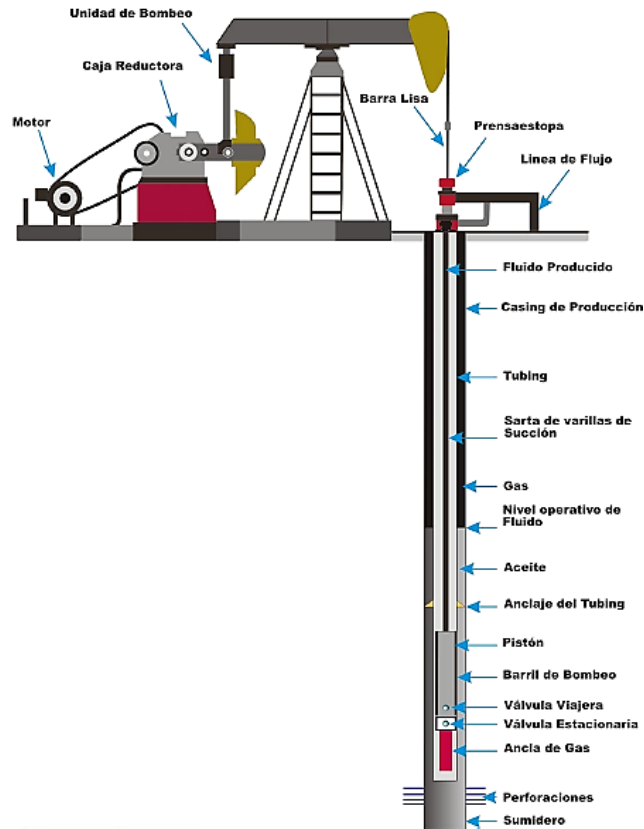
Aunque presenta opciones de mejora en pozos con alta desviación, es muy sensible a presentar fallas en el funcionamiento de la bomba de desplazamiento positivo por presencia excesiva de gas libre en el punto de succión de esta o por presencia excesiva de arena.

En la **FIGURA 3** se muestra un diseño común del sistema de bombeo mecánico Convencional.

---

<sup>7</sup> VILLEGAS, Op. Cit., p. 76-77.

**Figura 3. Esquema del bombeo mecánico Convencional.**



Fuente: Presentación “Selección de sistemas de levantamiento artificial” Curso Métodos de producción.

**2.2.1.1 Equipo de superficie** El equipo de superficie, como anteriormente mencionado consta de: Motor, unidad de bombeo, caja reductora, contrapesas, barra pulida, prensa estopa y líneas de flujo.

### **Motor**

Suministra la potencia necesaria a la unidad de bombeo para generar movimiento recíprocante desde superficie con la sarta de varillas a la bomba. La potencia se mide en caballos de fuerza (HP) y depende de la profundidad, nivel de fluido, velocidad de bombeo y balanceo de la unidad.

Existen dos tipos de motores, el eléctrico o a gas (combustión), estos trabajan a bajo torque y altas revoluciones por minuto (RPM). Al variar la velocidad del motor se ven afectados algunos equipos de superficie como la caja reductora, la velocidad de bombeo y las cargas en las varillas, es por esto que a altas velocidades disminuye el torque neto en la caja reductora.

Con mayor frecuencia son utilizados los motores eléctricos; los motores a gas o combustión son usados en locaciones donde no se cuenta con fluido eléctrico.

### **Unidad de bombeo**

Su función principal es la de convertir el movimiento rotacional proveniente del motor al movimiento ascendente y descendente de la barra lisa. Una unidad de bombeo está compuesta por tres partes principales, la caja reductora, la unidad y los contrapesos.

### **Caja reductora**

La principal función de la caja reductora es convertir los torques bajos y altas revoluciones por minuto (RPM) en altos torques y bajas RPM necesarias para operar la unidad.

### **Contrapesos**

Equilibra las cargas reduciendo el torque que la caja deba suministrar, accionan de tal manera que en la carrera ascendente proporcionan energía a la caja reductora y en la carrera descendente almacenan energía.

Para que los contrapesos operen idealmente es indispensable igualar el torque en la carrera tanto ascendente como descendente utilizando la cantidad correcta del

momento de contrabalanceo, de esta manera se dice que la unidad esta balanceada. De no ser así se sobrecarga el motor y la caja reductora generando fallas y pérdidas de producción si no se corrige a tiempo.

### **Barra pulida**

Parte visible de superficie lisa y brillante, la cual tiene como función permitir el sello con la prensa estopa, conectar el cabezal de la unidad de bombeo a la sarta de varillas y soportar el peso de la sarta de varillas, bomba y fluido. Es por esto que la barra pulida experimenta cargas más altas que cualquier otra parte de la sarta.

Dado el caso en donde el pozo no produce crudo por intermitencia se instala usualmente un lubricador encima de la prensa estopa con el objetivo de lubricar y enfriar la barra pulida para prevenir fugas y daños en esta.

### **Prensa estopa**

Cámara cilíndrica que contiene los empaques que se ajustan a la barra pulida, permitiendo de esta manera sellar el espacio existente entre la tubería de producción y la barra pulida con el objetivo de prevenir derrames de fluido.

### **Líneas de flujo**

Su función principal es la de transportar el fluido desde el pozo conectado desde su cabezal hasta el separador y/o tanques de recibo. En ocasiones las altas presiones en la línea pueden generar altas cargas en la barra pulida y disminución en la eficiencia.

## **Tipos de unidades de bombeo mecánico Convencional**

Según caracterización de OXY<sup>8</sup>, las unidades Convencionales se clasifican dependiendo del tamaño, características particulares y funcionamiento. Se resaltan cuatro tipos de unidades de bombeo mecánico Convencional las cuales se diferencian por su geometría y el tipo de contrapeso.

- Unidad Lufkin Convencional
- Unidad balanceada por aire
- Unidad especial Lufkin Mark II
- Unidad especial Maximizer II

### **UNIDAD LUFKIN CONVENCIONAL**

Unidad con geometría basada en un sistema de palanca clase I, localizando el punto de apoyo en el medio de la viga del balancín.<sup>9</sup> Este sistema emplea contrapesos mecánicos, son de fácil operación y están basadas en la transmisión del movimiento rotativo del motor por medio de correas a la caja de transmisión, la cual reduce la velocidad a través del sistema de engranajes. Este movimiento angular más lento, lo convierte en alternativo vertical, que se refleja en el ascenso y descenso de la barra pulida. (**FIGURA 4**).

### **UNIDAD BALANCEADA POR AIRE**

Unidad con geometría basada en un sistema de palanca clase III, localizando el punto de apoyo en el extremo del balancín. Este sistema emplea empuje ascendente simétrico, el diseño compacto y liviano relativamente de la unidad la

---

<sup>8</sup> EQUIPO INTEGRADO ECOPELROL-OXY LCI. Proyecto La Cira Infantas; equipo de sistema de levantamiento artificial. 2010. P. 1

<sup>9</sup> LUFKIN. General catalog:Lufkin.Oilfield products group.2008/2009.2p.

hace conveniente para todo tipo de instalaciones, incluyendo instalaciones de plataforma y para unidades móviles de ensayos montadas sobre remolques. Un compresor de aire suministrado con la unidad, provee la presión de aire necesaria de contrabalanceo.<sup>10</sup> **(FIGURA 5)**.

### **UNIDAD ESPECIAL LUFKIN MARK II**

Unidad con geometría basada en un sistema de palanca clase II, localizando el punto de apoyo en el extremo del balancín.<sup>11</sup> Este sistema emplea empuje ascendente asimétrico y con contrapeso mecánico, estas unidades son las más utilizadas 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. **(FIGURA 6)**.

### **UNIDAD ESPECIAL MAXIMIZER II**

Unidad con geometría basada en un sistema de palanca en la parte trasera API Clase I y contrapeso de manivela en etapas que maximiza la producción y minimiza los costos.

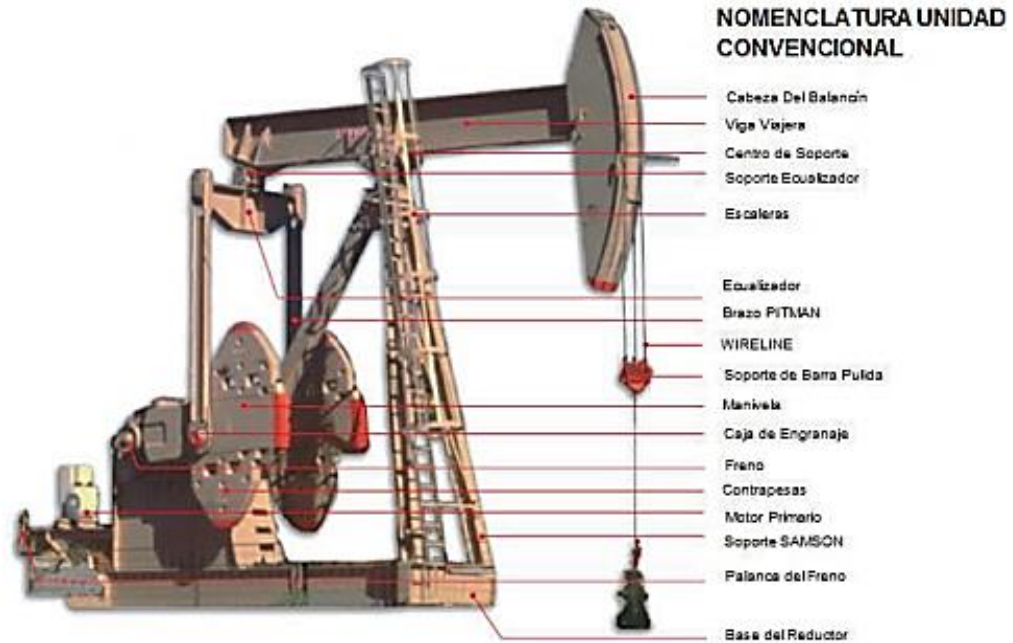
La geometría de la unidad reduce las cargas de torsión en la caja de engranajes, lo que permite utilizar una caja más pequeña. Además, el tiempo de carrera ascendente es mayor que el tiempo de carrera descendente **(FIGURA 7)**.

---

<sup>10</sup> *Ibíd.*, p.22.

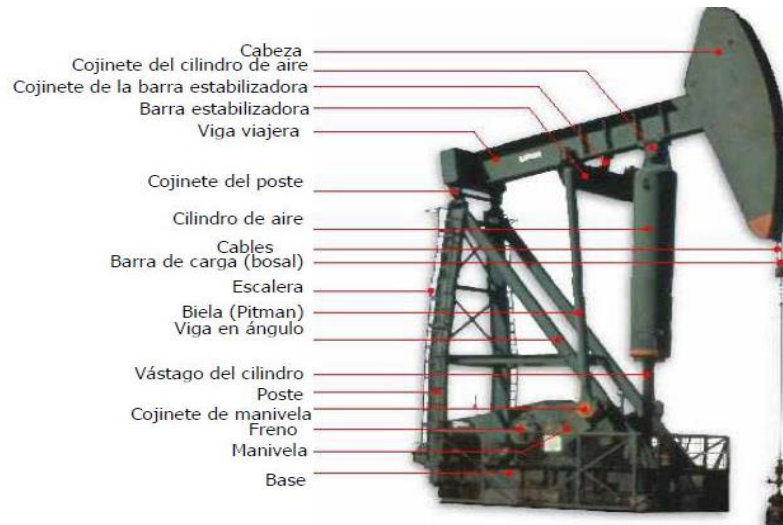
<sup>11</sup> *Ibíd.*, p.14.

**Figura 4. Esquema de la unidad Lufkin Convencional**



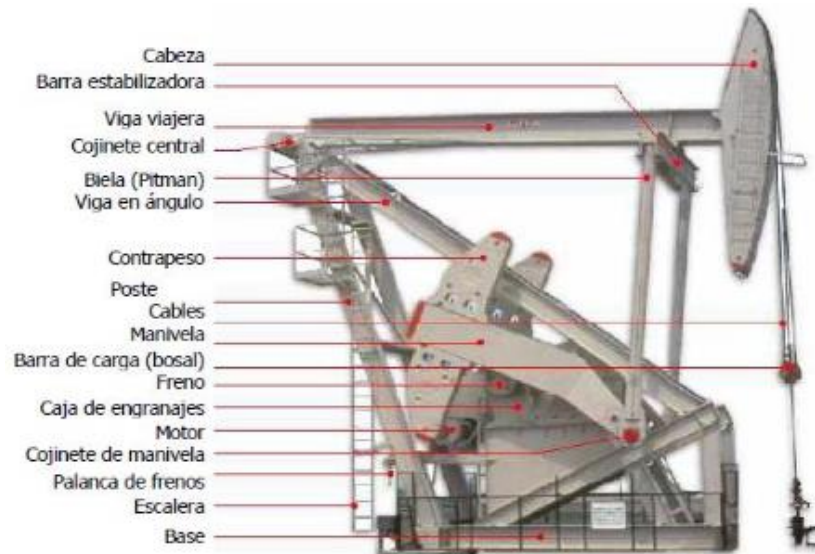
Fuente: PARTIDAS Héctor. Bombeo Mecánico Optimización, Diagnóstico y Operación. International Workshop, ESP Oil International Training Group. Venezuela, Noviembre 2003.

**Figura 5. Esquema de la unidad balanceada por aire**



Fuente: PARTIDAS Héctor. Bombeo Mecánico Optimización, Diagnóstico y Operación. International Workshop, ESP Oil International Training Group. Venezuela, Noviembre 2003.

**Figura 6. Esquema de la unidad especial Lufkin Mark II**



Fuente: PARTIDAS Héctor. Bombeo Mecánico Optimización, Diagnóstico y Operación. International Workshop, ESP Oil International Training Group. Venezuela, Noviembre 2003.

**Figura 7. Esquema de la unidad Maximizer II**



Fuente: WEATHERFORD.Pumping unit parts and services.2014

**2.2.1.2 Equipo de subsuelo** Conjunto de elementos que conectados entre sí se encarga de poner el crudo en superficie. A continuación, se enuncia los componentes del equipo de subsuelo.

### **Sarta de varillas**

Es el conjunto de elementos clave del sistema de bombeo mecánico ya que tiene como finalidad principal acoplar los mecanismos de superficie con los de subsuelo, generando el movimiento reciprocante. Su función es transmitir la fuerza motriz o potencia necesaria desde superficie hasta la bomba para extraer el fluido hacia la superficie, teniendo que soportar las cargas del sistema al accionar la bomba de subsuelo. El comportamiento de la sarta registra un impacto fundamental sobre la eficiencia del levantamiento del fluido ya que un buen diseño asegura buenas condiciones de operación y reduce los costos totales de producción.

La mayoría de las varillas son fabricadas 100% en acero sólido y ha sido estandarizada por el American Petroleum Institute.<sup>12</sup> Las varillas de succión vienen de 25 o 30 pies de largo con diámetros que varían desde ½ pulgada a 1 1/8 de pulgada con incrementos de 1/8 de pulgada.

### **Tubería de producción**

Son los ductos dentro del pozo por donde viaja el crudo desde el fondo hasta superficie conectados entre sí, encargada de contenerlo mientras la bomba en su ciclo descendente recoge otra carga.

Algunos problemas que pueden afectar el comportamiento del sistema:

- Restricción de fluido por presencia de parafinas.

---

<sup>12</sup> API Production Department, API Bulletin "Sucker rod pumping system design book" API Bulletin MC GHI, 1981.

- Hoyos desviados generando fricción entre varillas y tubería.
- Tubería pequeña para la tasa de producción.
- Se generan cuellos de botella cuando la bomba tiene diámetros mayores que el diámetro interno de la tubería.

### **Válvula viajera**

La válvula viajera es la encargada de arrastrar hasta la superficie el fluido contenido dentro de la bomba en la carrera ascendente. Cuando la sarta de varillas genera el movimiento ascendente, esta válvula permanece cerrada y la fija se abre permitiendo la entrada del fluido de la bomba al interior del barril.

### **Válvula fija**

Es la encargada de permitir el paso del fluido proveniente de la formación al interior de la bomba. Cuando la sarta de varillas realiza el movimiento ascendente, esta válvula se abre permitiendo la entrada del fluido del pozo al interior de la bomba.

La válvula está sujeta a la tubería por medio de un sistema de anclaje o zapato, generando un sello hermético lo cual evita que el fluido retenido en la bomba sea desplazado nuevamente el pozo.

#### **2.2.1.3 Ventajas**

- El diseño del sistema es relativamente simple.
- Eficiente, sencillo y fácil de operar para las personas de campo.
- Aplicable a los pozos con espacios reducidos y a completamientos múltiples.
- Puede bombear un pozo a una presión muy baja (depende de la profundidad y la velocidad).
- Puede levantar aceites viscosos y de alta temperatura.

- La capacidad de bombeo puede ser cambiada fácilmente para adaptarse a las variaciones del índice de productividad, IPR.
- Soporta presiones relativamente altas.

#### **2.2.1.4 Desventajas**

- Para pozos desviados, presenta problemas de fricción.
- La alta producción de sólidos es problemática.
- Pozos con alto GOR usualmente disminuyen la eficiencia volumétrica.
- La profundidad es limitada debido principalmente a la capacidad de la barra.
- Susceptible a problemas de parafina.

#### **2.2.1.5 Criterios para la selección**

##### **Productividad**

La unidad debe soportar las cargas por los fluidos y equipos de bombeo del pozo para manejar la producción disponible.

##### **Profundidad**

Juega un papel fundamental en los esfuerzos de tensión, elongación y del peso.

**Tabla 4. Criterios de selección bombeo mecánico Convencional**

CRITERIOS	RANGO TÍPICO	MÁXIMO
Profundidad de operación ft.	100-10000 TVD	16000 TVD
Volumen de operación	5-1500 BPD	5000 BPD
Temperatura de operación	100-350 F	550 F
Desviación del Wellbore	0-20° Landed Pump	0-90° Landed Pump
Manejo de corrosión	Buena a Excelente, con materiales mejorados.	
Manejo de caudal de gas	Aceptable-Bueno	
Manejo de sólidos	Aceptable-Bueno	
Gravedad del fluido	Fluidos con API mayor a 8°	
Servicios	Workover, Pulling Rig	
Tipo de motor	Gas o Eléctrico	
Aplicación offshore	Limitada	
Eficiencia del sistema	45%-60%	

Fuente: Presentación “Selección de sistemas de levantamiento artificial” Curso Métodos de producción.

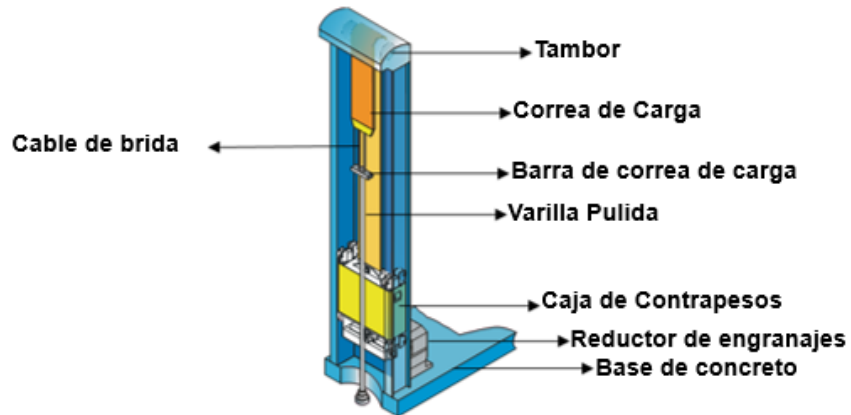
**2.2.2 Sistema de bombeo mecánico no convencional ROTAFLEX** La unidad de bombeo mecánico no Convencional ROTAFLEX es un sistema de levantamiento artificial creado por la compañía Weatherford y es diseñada para usarse con bombas de pistón.<sup>13</sup> Presenta gran avance tecnológico en su diseño y estructura, siendo empleado en pozos profundos complejos de alto caudal.

En este sistema se modifica la carrera de la barra lisa haciéndola más larga, y una velocidad de funcionamiento menor. Presenta una carga larga de hasta 9,3 metros (366 in) y la posibilidad de trabajar a ciclos muy bajos por minuto asegurando un mejor llenado y menor carga dinámica, las cuales reducen considerablemente las cargas por fricción y aceleración.

Los gráficos dinamométricos obtenidos son similares a los gráficos de carga ideal (modelo teórico), de esta manera al trabajar a velocidad constante y una menor cantidad de ciclos de bombeo alargan la vida útil de la unidad de bombeo, de la bomba de fondo y de la sarta de varillas.

<sup>13</sup> WEATHERFORD.Pumping unit parts and services.2014. 11p.

**Figura 8. Esquema del bombeo mecánico no Convencional Rotaflex**

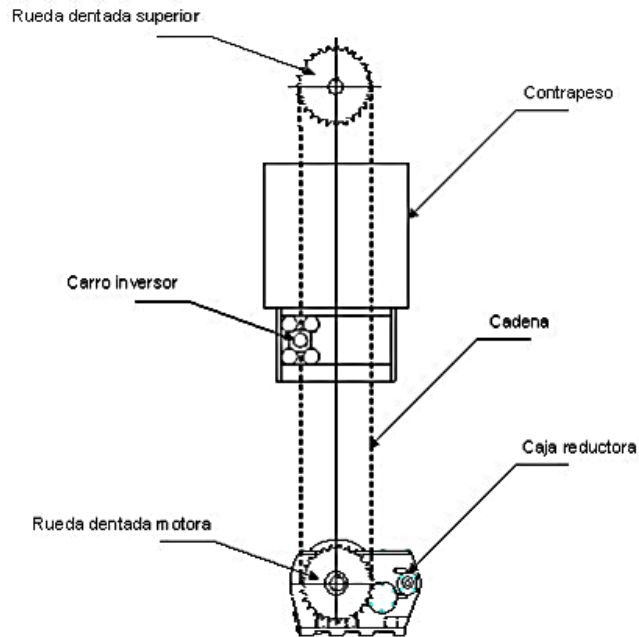


Fuente: WEATHERFORD. Pumping unit parts and services. 2014.

El motor se encuentra directamente conectado a la caja reductora, la cual se encarga de transmitir el movimiento rotacional a una rueda dentada motora que conduce una cadena a velocidades constantes (**FIGURA 9**).

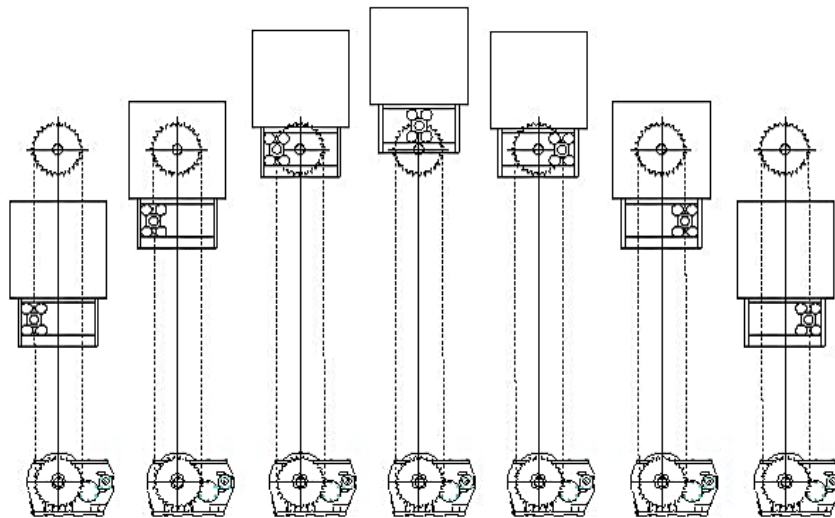
Durante la carrera ascendente y descendente, la caja de contrapeso de la unidad se encuentra fija en uno de los grilletes de la cadena. El contrapeso se encuentra conectado a una correa o banda de carga que se desliza sobre el tambor giratorio durante el ciclo de bombeo, transmitiendo la fuerza a la barra pulida por medio del cable de brida (**FIGURA 10**).

**Figura 9. Sistema de cadena y contrapeso**



Fuente: Takacs Gabor. Sucker-Rod pumping handbook:Production engineering fundamentals and long-stroke rod pumping.Mayo 2015.511p

**Figura 10. Accionamiento del contrapeso**



Fuente: Takacs Gabor. Sucker-Rod pumping handbook:Production engineering fundamentals and long-stroke rod pumping.Mayo 2015.512p

**2.2.2.1 Partes de la unidad de bombeo Rotaflex** Como se observa en la **Figura 8** esta unidad está conformada como una torre vertical que se ubica próxima a la cabeza del pozo, se conforma de:

- Tambor
- Cable de brida
- Correa de carga
- Varilla pulida
- Caja de contrapeso
- Caja de engranaje
- Sistema de frenado

#### **Tambor de la unidad**

El tambor se encuentra en la parte superior de la capota de la corona y es el que soporta el peso combinado de la caja de contrapesos y de la carga del pozo, por lo que es importante verificar periódicamente el estado del mismo (**FIGURA 11**).

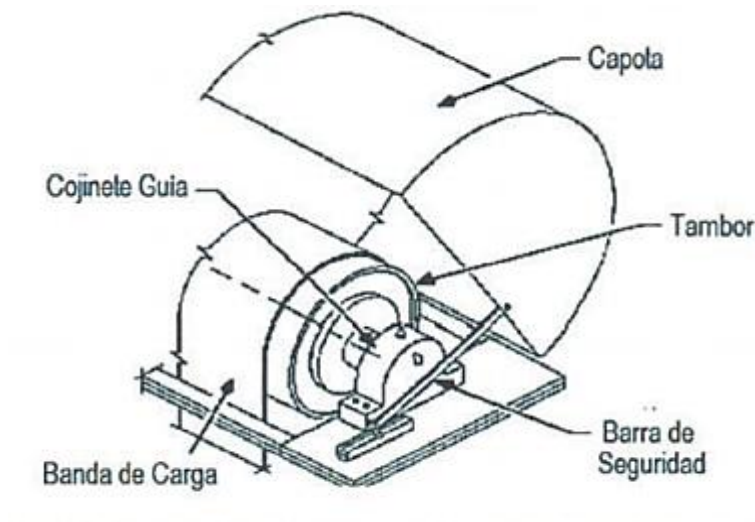
#### **Cable de brida**

Cable de acero trenzado que sirve de eslabón entre la correa de carga y la varilla pulida, transmitiendo el movimiento alternativo a la sarta de varillas de succión.

#### **Correa de carga**

Es una banda flexible de alta resistencia con capacidad de hasta 40,000 lbs, que absorbe los esfuerzos de tensión y compresión.

**Figura 11. Parte del tambor de la unidad**



Fuente: Takacs Gabor. Sucker-Rod pumping handbook: Production engineering fundamentals and long-stroke rod pumping. Mayo 2015. 514p

### **Varilla Pulida**

Sirve de unión directa entre la sarta de varillas de succión del fondo y el equipo de superficie. Su función principal es soportar el peso total de la sarta de varillas, junto con la bomba y los fluidos. Su superficie es pulida para lograr un perfecto sellamiento con la prensa estopa y evitar el desgaste constante de los sellos de éste.

### **Caja de Contrapeso**

Como el peso de la sarta de varillas, la bomba y la columna de fluidos desequilibran la fuerza necesaria para realizar el movimiento recíprocante, es necesario equilibrar el peso del aparejo con masas de acero (contrapeso) que permitan reducir el consumo de energía.

Esta caja presenta unas guías lo que permite alinear o mantener posicionada dentro de la torre, tanto de lado a lado como de atrás hacia adelante.

## Caja de engranaje

La función de la caja de engranaje es convertir la elevada velocidad rotacional del motor en una velocidad adecuada de bombeo. Los reductores de velocidad utilizan un engranaje doble o triple, (con tres ejes), donde el eje de entrada es de alta velocidad, un eje intermedio y el eje de baja velocidad.

## Sistema de frenado

Existen dos tipos de frenado en las unidades de bombeo Rotaflex, el automático y el manual. El primero actúa por medio de un motor eléctrico que impulsa el engranaje y es controlado por el panel de control. De esta forma se puede programar y monitorear la velocidad de la unidad, accionando automáticamente el sistema de freno una vez que la velocidad supere el rango de operación del equipo (**FIGURA 12**). Y el segundo se activa por medio de una palanca en donde el movimiento es transmitido por un tornillo-palanca (**FIGURA 13**).

**Figura 12. Sistema de frenado automático**



Fuente: Saavedra Luis. Bombeo MECÁNICO no Convencional rotaflex dynapumps. [En línea]. (Recuperado en 22 abril 2017.) Disponible en: <https://es.slideshare.net/saavedra2304/bombeo-MECÁNICO-no-Convencional-rotaflex-dynapumps>. 36p.

**Figura 13. Sistema de frenado manual**



Fuente: Saavedra Luis. Bombeo MECÁNICO no Convencional rotaflex dynapumps. [En línea]. (Recuperado en 22 abril 2017.) Disponible en: <https://es.slideshare.net/saavedra2304/bombeo-MECÁNICO-no-Convencional-rotaflex-dynapumps>. 34p.

### **Rieles**

Son necesarios en caso de una intervención o servicio a pozo, los rieles montados en la base de concreto facilitan el deslizamiento de la unidad hacia adelante y hacia su posición original.

### **Base de concreto**

Debe ser construida de suficiente tamaño y peso en sitio con el objetivo de soportar la unidad de bombeo de carrera larga. La base debe estar alineada y posicionada al lado del pozo.

#### **2.2.2.2 Aplicaciones**

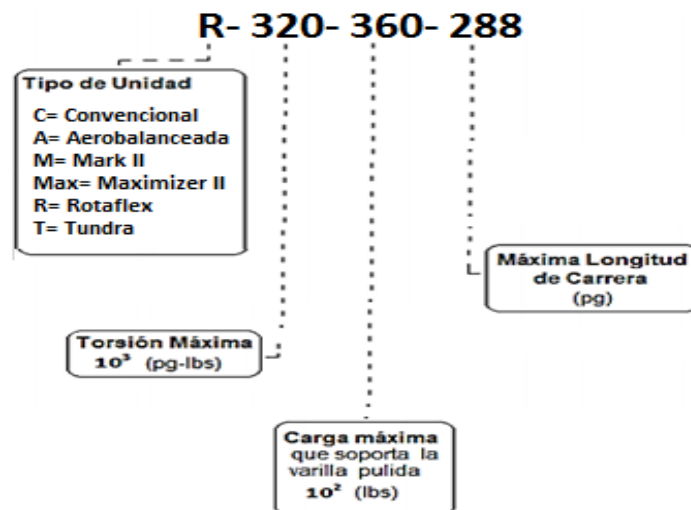
- Pozos de alto caudal y alta carga dinámica.
- Pozos desviados y horizontales.

- Operaciones que requieren ahorro de energía.
- Pozos con alta frecuencia de intervención por problemas de fondo.

**2.2.2.3 Denominación de la unidad de bombeo Rotaflex** Existen diversos tipos de unidades relacionadas con la torsión máxima en la caja de engranajes y la carga máxima que puede soportar la barra pulida.

Entre los modelos de unidades más usados se encuentran el 800DX, 900 y 1100.

**Esquema 2. Denominación unidad de bombeo de carrera larga**



Fuente: WEATHERFORD, Reciprocating Rod Lift, 2009.

**UNIDADES SEGÚN API**

Además de los diferentes tipos de unidades, se debe tener en cuenta que estas se identifican según especificaciones API.

En la **TABLA 5** se observa la denominación API según los modelos de unidad.

**Tabla 5. Unidades según denominación API**

MODELO	DESIGNACIÓN API
700	R-160-180-288
800DX	R-228-300-288
900	R-320-360-288
1100	R-320-500-306
1151	R-420-500-366

Fuente: WEATHERFORD, Reciprocating Rod Lift, 2009.

## **RANGO DE APLICACIÓN**

En la siguiente tabla (**TABLA 6**) se muestran las especificaciones principales de los diversos modelos de unidad más usados.

**Tabla 6. Rango de especificaciones de la unidad Rotaflex**

Modelo	900	1100	1150	1151
Torque del reductor (pulg/libra-pie, $N\cdot m$ )	320.000 36,16			420.000 47,45
Longitud de carrera (pulg/m)	288 7,3	306 7,8	366 9,3	
Capacidad máxima de tiro (lb/kg)	36.000 16.329	50.000 22.680		
Velocidad máxima* (ciclos por minuto)	4,50	4,30	3,64	3,75
Velocidad mínima (ciclos por minuto)	No hay mínimo absoluto			
Contrapeso mínimo (lb/kg)	9.400 4.264	9.800 4.445		
Contrapeso auxiliar adicional (lb/kg)	21.980 9.969	30.200 13.698		
Contrapeso total (lb/kg)	31.380 14.234	40.000 18.144		
Dimensiones de la unidad, profundidad x frente x alto (pie/m)	21,8 x 7,8 x 40,5 6,64 x 2,38 x 12,34	23,8 x 8,5 x 44,5 7,25 x 2,59 x 13,56	23,8 x 8,5 x 49,5 7,25 x 2,59 x 15,09	23,8 x 8,5 x 49,5 7,25 x 2,59 x 15,09
Dimensiones de la unidad embalada para despacho, profundidad x frente x alto (pie/m)	40,5 x 7,8 x 9,0 12,34 x 2,38 x 2,74	44,5 x 8,5 x 10,5 13,56 x 2,59 x 3,20	49,5 x 8,5 x 10,5 15,09 x 2,59 x 3,20	49,5 x 8,5 x 10,5 15,09 x 2,59 x 3,20
Peso de la unidad embalada para despacho (lb/kg)	42.900 19.459	52.300 23.723	53.880 24.440	55.000 24.948
Dimensiones de la base, profundidad x alto (pie/m)	24,0 x 8,5 7,32 x 2,62			
Peso de la base (lb/kg)	29.000 13.154			
Temperatura de funcionamiento ( $^{\circ}F/^{\circ}C$ )	-40 $^{\circ}$ a +140 $^{\circ}$ -40 $^{\circ}$ a +60 $^{\circ}$			
Dimensiones de la banda de carga, L x A (pulg/m)	390,0 x 42,0 9,91 x 1,07	406,0 x 50,0 10,3 x 1,27	466,0 x 50,0 11,84 x 1,27	466,0 x 50,0 11,84 x 1,27
Carga admisible de la banda, PIW (lb/kg)	10.000 4.536			
Sistema de frenado automático	Sí			

Fuente: WEATHERFORD. Completion and production systems-Rotaflex pumping units. September 2005.4p

#### 2.2.2.4 Ventajas

- Aumenta eficiencia del sistema por las bajas velocidades.
- Manejo eficiente de altos volúmenes, mayores cargas y desviación de pozos.
- Fácil de instalar y de servicio.
- Reducción de las cargas dinámicas, minimizando los costos operacionales.
- Facilidad para balancearlo.
- Trabajo a bajos ciclos lo que permite mayor llenado de la bomba y menor carga dinámica.

- Mayor coeficiente de compresión de la bomba optimizando problemas por bloqueo de gas.
- Reducción en las inversiones de varilla; mayor vida útil de la varilla.

#### **2.2.2.5 Desventajas**

- Rutina preventiva más costosa.
- Mantenimiento correctivo más frecuente, traduciéndose en costos más altos.
- Su instalación es riesgosa por ser compacta.
- La banda elástica es sensible a la ruptura.

#### **2.2.2.6 Criterios para selección**

- Maneja fluidos altamente viscosos (>6000 cp).
- Bajas temperaturas (40°C).
- Pozos con rangos de producción entre 100 y 2500 bpd.
- Pozos desviados y horizontales.
- Pozos con alto número de intervenciones por problemas de fondo.
- Alta carga dinámica.
- Altos caudales de producción debido a la respuesta de la recuperación secundaria.
- Altos niveles de sumergencia.
- Alto índice de fallas con sistema de bombeo mecánico (principalmente pesca de varillas), debido a la gran exigencia del sistema.
- Pozos con poco aporte- bajo nivel de fluido.
- Pozos someros de alta producción.
- Pozos con alta frecuencia de fallas por varilla y tubería.
- Crudos medianos, pesados y extra pesados. (<10°API)
- Aplicaciones con alta temperatura de fondo.

**2.2.3 Sistema de bombeo mecánico no convencional tundra** La unidad de bombeo mecánico no Convencional TUNDRA, es una unidad totalmente computarizada que está equipada con sensores electrónicos, equipamiento hidráulico y sistema de monitoreo, la cual ofrece obtener una mayor producción de la manera más eficiente posible en pozos someros y profundos. La unidad se comunica con un computador que permite monitorear el pozo, encender o apagar la unidad, controlar la longitud de la carrera y los cambios en las velocidades de subida y de bajada, además recibe indicadores de mantenimiento, estados de alerta e imprime cartas dinamométricas en tiempo real.

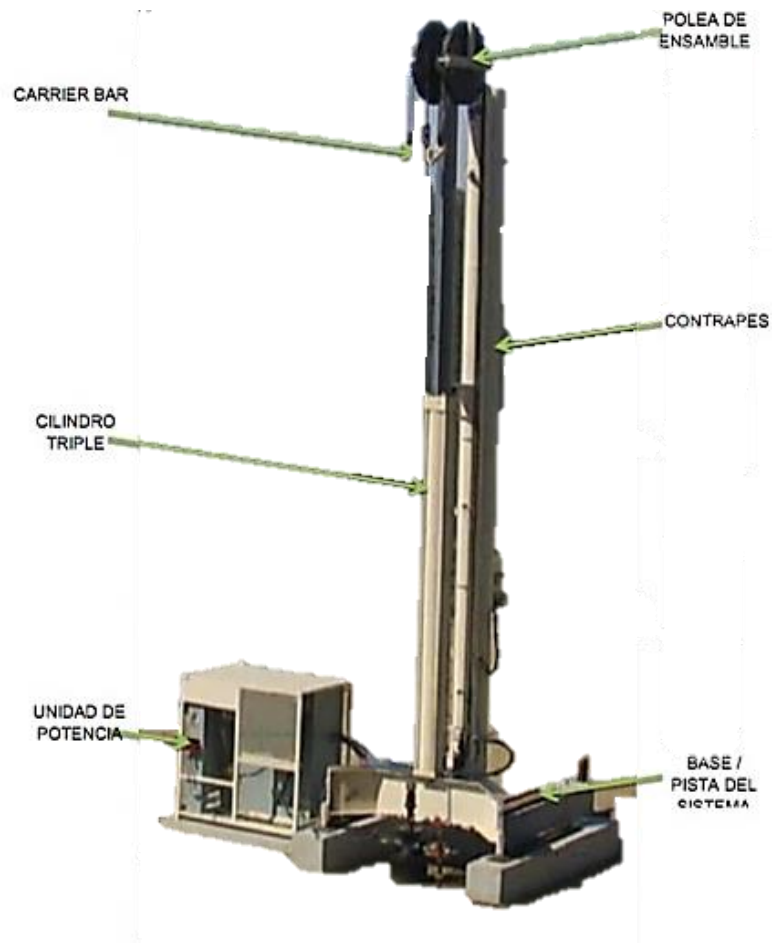
La unidad Tundra posee un temporizador el cual le indica al sistema bajar la velocidad por un tiempo que es determinado y ajustado automáticamente, de esta forma, le permite al pozo recuperar el nivel de fluido evitando problemas por golpe de fluido.

La unidad Tundra está compuesta por la unidad de bombeo y la unidad de potencia, la cual es el control central del sistema ya que maneja a la unidad de bombeo.

El aporte de esta unidad apunta en optimizar la eficiencia y productividad de los pozos al incorporar estos beneficios técnicos reduciendo costos operativos.

En la **FIGURA 14** se observa el esquema del bombeo mecánico no Convencional Tundra.

**Figura 14. Esquema del bombeo mecánico no Convencional Tundra**



Fuente: DYNAPUMP, INC. DynaPump 5-13 SP Operations manual. 9321 Melvin Avenue Northridge. 2006. 3 P.

**2.2.3.1 Partes de la unidad de bombeo tundra** Los componentes principales de la unidad Tundra son:

- Cilindro hidráulico
- Sistema de poleas
- Recipiente de gas
- Acumulador
- Cilindro actuador
- Motor

- Bomba Tundra
- Tanque de fluido hidráulico

### **Cilindro Hidráulico**

Es un mecanismo que constituye un cilindro dentro del cual genera movimiento a un émbolo o pistón, transformando la presión ejercida al aceite en fuerza de levantamiento, siendo de 1800 psi para la unidad Tundra como la máxima presión de diseño para su óptimo funcionamiento.

### **Sistema de Polea**

Sistema mecánico simple que funciona mediante tracción, el cual transmite la fuerza de levantamiento a la sarta de varillas por medio de una polea móvil por acción del cilindro hidráulico el cual cuenta con canales en su periferia en donde se ubica la guaya que permite generar el movimiento recíproco de la unidad.

### **Recipiente de gas**

Actúa como un contrapeso de la unidad cuando se programa una parada y/o intervención y no tiene inercia ya que este recipiente es fijo en el sistema.

### **Acumulador**

Es un cilindro con un pistón flotante en su interior en el cual actúan dos fluidos; aceite hidráulico y nitrógeno comprimido con el fin de auxiliar el circuito hidráulico el cual transferirá presión y caudal al circuito cuando este lo requiera. Este artefacto permite compensar pequeñas pérdidas en el sistema, evitar dilatación por pérdida de presión y cambios abruptos de temperatura, impedir golpes de ariete en el

sistema hidráulico, amortiguar pulsaciones anormales de la bomba y accidentes por corte de fluido inesperado del generador de potencia hidráulica.

### **Cilindro actuador**

Dispositivo mecánico que proporciona la fuerza proveniente de una presión hidráulica el cual está compuesto por dos pistones adheridos a una varilla pulida, que generan tres cámaras en las cuales actúa el aceite hidráulico necesaria para mover otro dispositivo.

### **Motor**

Elemento eléctrico que propicia la potencia necesaria a la bomba hidráulica para su funcionamiento en la unidad.

### **Bomba tundra**

Bomba de alta calidad y bajo costo, comparada con otras bombas, la cual cuenta con un detector de pérdida de energía, herramienta de análisis para el seguimiento del estado de la bomba y su configuración permite realizar un mantenimiento sencillo ante daños significativos de la máquina, además cuenta con alarma remota que alerta sobre desgastes poco comunes.

### **Tanque de fluido hidráulico**

Almacena el aceite hidráulico que requiere la unidad para su funcionamiento y cuenta con una reserva para surtir imprevistos que puedan deteriorar el buen funcionamiento de la unidad.

**2.2.3.2 Funcionamiento** Su principal funcionamiento está basado en dos partes; el sistema hidráulico y el de balanceo hidroneumático. Esta unidad utiliza la fuerza de la bomba de potencia para levantar todo el conjunto de sarta de varillas por medio de un cilindro hidráulico en la carrera ascendente.

El sistema hidráulico proporciona la energía que induce el movimiento generando la carrera ascendente y/o descendente requerida en la bomba para su funcionamiento. El sistema de balanceo hidroneumático presenta un cilindro hidráulico de efecto simple.

El sistema presenta un conjunto de paquetes que permiten la automatización de todas sus funciones, además permite mayores capacidades de flujo en cuanto a mejores retornos.

## **APLICACIONES**

- Producción de gas y petróleo.
- Producción de líquidos y condensados en pozos de gas.
- Crudo liviano o mediano.

## **RANGO DE APLICACIÓN**

En la siguiente tabla (**TABLA 7**) se puede observar algunas especificaciones principales de la unidad Tundra.

**Tabla 7. Especificaciones de la bomba tundra**

Modelo	5	7	9	11	13
Tamaño embolo, in	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0
Presión hidráulica máxima, psi	1800	1800	1800	1800	1800
Máximo contrapeso de presión de gas, psi	1000	1000	1000	1000	1000
Carga máxima de barra pulida, lb	15000	25000	40000	60000	80000
Longitud máxima de carrera, in	168	240	288	336	360
Máxima velocidad, SPM	6.8	4.8	5.0	3.4	3.0
Altura estructural, ft	23	28	34	39	41

Fuente: Saavedra Luis. Proyecto rotaflex dynapumps. [En línea]. (Recuperado en 22 abril 2017.) Disponible en: <https://www.slideshare.net/saavedra2304/proyecto-rotaflex-dynapumps>.

**2.2.3.3 Tipos de unidades de bombeo** En la **TABLA 8** se observan los modelos de la unidad de bombeo Tundra.

**Tabla 8. Tipos de unidades de bombeo Tundra**

UNIDAD	TAMAÑO In	LARGO In	CAPACIDAD Lbs
2	2,5	72	4000
3	3,5	120	7000
5	5	168	15000
7	7	240	25000
9	9	288	40000
11	11	336	60000
13	13	360	80000

Fuente: SAAVEDRA Luis. Proyecto rotaflex dynapumps. [En línea]. (Recuperado en 22 abril 2017.) Disponible en: <https://www.slideshare.net/saavedra2304/proyecto-rotaflex-dynapumps>. 51p.

#### **2.2.3.4 Ventajas**

- Largo recorrido: El sistema de levantamiento artificial Tundra ofrece recorridos más largos, disminuyendo la fatiga en la sarta de varillas, aumentando su tiempo de operación disminuyendo las intervenciones técnicas debido a la reducción de los strokes por minuto.

- Mayor capacidad de carga de la barra lisa: El tamaño de la bomba y la profundidad del pozo, determinan el diseño de una sarta de varillas y la barra lisa debe soportar el peso de la sarta.
- Variación de velocidad en subida y bajada: Esta unidad usa un variador de frecuencia integrado en el motor para obtener un control automatizado que permite al operador obtener una mejor producción.
- Controlador de bomba de vacío: permite producir lo máximo permitido por el pozo evitando el golpe de fluido o aumento del nivel de fluido.
- Aplicación para pozos horizontales y crudos pesados.
- Permite mayor capacidad de flujo.
- Permite un llenado óptimo de la bomba gracias a la velocidad variable de la carrera.

#### **2.2.3.5 Desventajas**

- El trabajo a bajas velocidades implica el uso de bombas de gran diámetro, pero el pozo limita esta condición.
- Requiere de atención especializada en la unidad para obtener un funcionamiento óptimo y también otra persona para su mantenimiento.
- Puede generar riesgos ambientales en caso tal que exista fuga del fluido del sistema hidráulico.

## 2.2.4 Comparativo entre unidad tundra 400 VS Rotaflex 900 VS unidad convencional

**Tabla 9. Comparativo técnico Unidades Convencional; Tundra y Rotaflex**

Parámetro	Unidad Tundra 400	Unidad Rotaflex 900	Unidad Convencional
Longitud de carrera	0-372", depende del modelo, totalmente variable.	288 ", 306", 366 "	Max 192"
Máx carga barra pulida	25000 lbs a 80000 lbs depende del modelo.	36000 lbs o 50000 lbs.	10000 lbs a 50000 lbs depende del modelo.
Velocidad de mvto	0-5 SPM, totalmente variable.	0,8-4,5 SPM	6-8 SPM
Cambios de velocidad	Mientras está en funcionamiento-Sin parar la producción.	Apagar, cambiar las poleas de la unidad o instalar VFD.	Instalar VFD
Inteligencia	Controlador de bomba y VFD integrados al sistema con alarmas y comunicación. Velocidad variable de subida y bajada, aceleración variable para minimizar el impacto en la sarta de varillas.	Controlador de bomba y velocidad variable disponible a un costo adicional.	Controlador de bomba y velocidad variable disponible a un costo adicional.
Sistema de manejo	Pistón hidráulico con pocas piezas móviles, poco desgaste.	Reductores, cadena de transmisión, correa transportadora.	Caja reductora, contrapesos.
Contrapeso	Equilibrio de presión con nitrógeno, es variable al cambiar la presión y se realiza sin parar la producción.	40000 libras de pesos de acero, requiere de recolectores y grúas para modificarlo, se precede al cierre de la producción durante el balanceo.	40000 libras de pesos de acero.
Base	Soportes de vigas por pila, aproximadamente 8'x10', 3000 lbs.	Plataforma de hormigón soportada sobre pilotes de 24'x8,5', 29000 lbs.	Plataforma de hormigón de 28,5'x9,5', 29000 lbs
Dimensión unidad más grande	8' de largo, 5' de ancho, 41,25' de alto, más patín hidráulico de 6'x8'x8'	23,6'de largo, 8,5' de ancho, 49,3 'de alto.	32,2' de largo, 9,5' de ancho, 45,8'de alto.
Peso de envío unidad más grande, incluido contrapeso	22810 lbs para la unidad de bombeo, 8400 lbs para la unidad de accionamiento hidráulico.	53880 lbs por la unidad, más 40000 lbs por contrapesos, más base.	61900 lbs por unidad más grande, más 40000 lbs por contrapesos, más base.
Envío y configuración	Un camión remolque, recogedor, 4 horas en el sitio.	Más de un camión, recogedor, grúa.	Más de un camión, grúa.
Interferencia por Gas	Espaciamiento dinámico digital de la carrera descendente reduciendo espacios nocivos en las válvulas fijas y viajeras.	Espaciamiento operacional intrusivo de la carrera descendente reduciendo espacios nocivos en las válvulas fijas y viajeras.	Espaciamiento operacional intrusivo de la carrera descendente reduciendo espacios nocivos en las válvulas fijas y viajeras.
Bomba de Subsuelo	Mayor eficiencia de la bomba, menor velocidad de descenso lo cual genera mejor llenado de la bomba.	Menor velocidad de descenso lo cual genera un óptimo llenado de la bomba.	Velocidades relativamente altas comprometiendo el llenado de la bomba.

Fuente: Beck, Susan. WEATHERFORD, Rotaflex® Long stroke pumping units. June 2004. 6p.

**Tabla 10. Comparativo de unidades Convencional; Tundra y Rotaflex de acuerdo a carga, recorrido y peso.**

CONVENCIONAL				TUNDRA				ROTAFLEX			
Tipo	Carga (lb)	Rec (in)	Peso (lb)	Tipo	Carga (lb)	Rec (in)	Peso (lb)	Tipo	Carga (lb)	Rec (in)	Peso (lb)
160	20,000	74	17,300	5	15,000	168	3,900				
228	21,300	120	26,800	7	25,000	240	7,400				
320	25,600	144	36,500								
456	36,500	120	40,000								
640	36,500	120	42,500	9	40,000	288	18,600	900	36000	288	42,900
912	36,500	192	53,900					1100	50000	306	52,300
1280	36,500	192	61,900	11	60,000	336	24,900	1150	50000	366	53,900
1824	36,500	192	65,000	13	80,000	360	28,000				

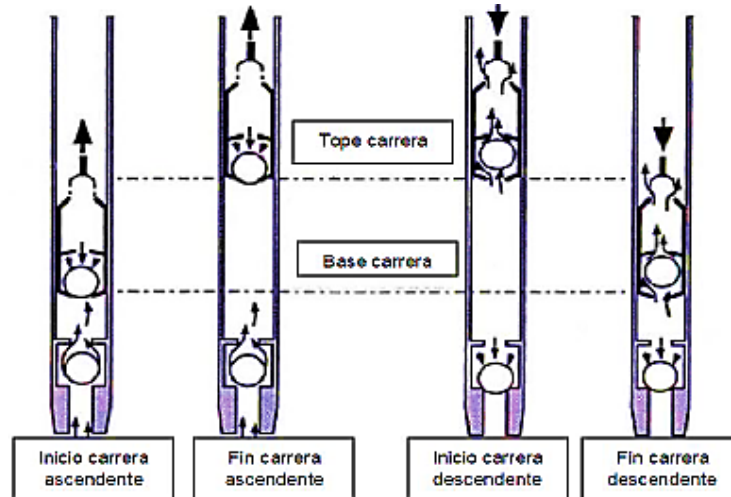
Fuente: Beck, Susan. WEATHERFORD, Rotaflex® Long stroke pumping units. June 2004.

**2.2.5 Ciclo de la bomba de subsuelo** El ciclo de bombeo presenta 4 momentos en la carrera del émbolo.

- **Movimiento descendente del embolo en el fondo:** El fluido se desplaza hacia arriba a través de la válvula viajera abierta mientras que la válvula fija soporta el peso de la columna del fluido en la tubería de producción y se encuentra cerrada.
- **Movimiento ascendente del embolo en el fondo:** La válvula viajera se cierra por la carga que proporciona la columna de fluido transferida de la tubería de producción a la sarta de varillas y la válvula fija se abre debido a que la presión abajo es inferior a la presión que soporta la válvula viajera.
- **Movimiento descendente del embolo en la parte superior:** La válvula fija se encuentra cerrada por el aumento de presión y la válvula viajera está abierta, pero depende del porcentaje de gas libre en los fluidos atrapados puesto que la presión debajo de la válvula debe exceder a la presión de arriba antes de que la válvula viajera se abra.
- **Movimiento ascendente del embolo en la parte superior:** La válvula fija está abierta si en el pozo hay producción obtenida con bombeo, lo cual permite

entregar producción por parte de la formación a la tubería de producción mientras que la válvula viajera está cerrada.

**Figura 15. Ciclo de la bomba de subsuelo**



Fuente: SVINOS, John. Rod pumping optimization. Artificial lift training, Theta Enterprise inc. USA. 2005.

**2.2.5.1 Clasificación de las bombas de subsuelo** Las bombas de subsuelo se dividen en dos grupos y son clasificadas por la norma API 11AX.<sup>14</sup>

### **BOMBAS INSERTABLES (R)**

Este tipo de bombas realizan desplazamientos descendentes y ascendentes con la sarta de varillas. Se ubican dentro de la tubería de producción lo cual indica que poseen menor diámetro al de la tubería. Además, es necesario fijar la bomba con ayuda de un anclaje denominado niple de asiento. A partir de esto, se dividen las bombas dependiendo del tipo de anclaje.

<sup>14</sup> API Production Department, API Bulletin "Sucker rod pumping system design book" API Bulletin MC GHI, 1981.

- **Bombas insertables con anclaje superior:** Son usadas cuando hay gran presencia de arena puesto que la cantidad acumulada de esta en el niple de asentamiento es mínima evitando posibles atascamientos. No se recomienda para pozos que estén a grandes profundidades puesto que la presión interior en la carrera descendente es mayor a la exterior generando riesgo de estallido del barril, y a pozos que presenten golpe de fluido.
- **Bombas insertables con anclaje inferior:** Son usadas para pozos con bajo nivel dinámico puesto que favorecen el tener el intake de la bomba cerca a la válvula fija.<sup>15</sup> A diferencia de las de anclaje superior, estas no presentan problemas a grandes profundidades ya que las presiones internas y externas en la carrera descendente del barril son iguales.

No son usadas en pozos con presencia elevada de arena ya que genera problemas de atascamiento siendo necesario extraer la sarta de tubería o el uso de un equipo de Workover.

## **BOMBAS TIPO TUBULAR (TH)**

Este tipo de bombas son usadas para caudales altos,<sup>16</sup> usa un niple de asiento para la válvula fija que se baja con ayuda del pistón y por lo general el barril en este tipo de bombas es de pared gruesa (TH).

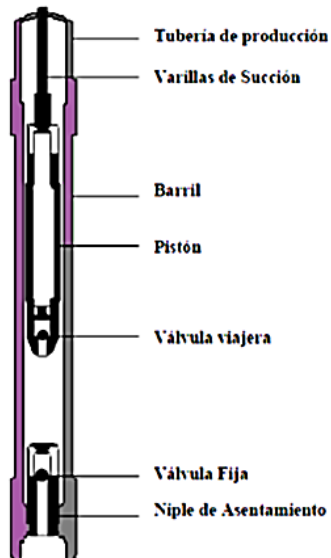
Estas bombas hacen parte integral de la tubería de producción ofreciendo una mayor capacidad de bombeo gracias a su mayor diámetro. Aunque en caso de una falla en la bomba es necesario retirar toda la tubería de producción incrementando los costos por intervenciones al pozo.

---

<sup>15</sup> *Ibíd.*, p.17.

<sup>16</sup> BOLLAND Y CIA. S. A. Bombas mecánicas de profundidad. Buenos Aires: Bolland Y Cía. S.A, 2009, versión 2.0.

**Figura 16. Sección transversal de bomba de tubería TH**



Fuente: MONCADA DELGADO, Davian Augusto. Caracterización del sistema de levantamiento artificial bombeo mecánico en pozos de crudo pesado. [En línea]. (Recuperado en 13 abril 2016.) Disponible en <https://bombeoycrudospesados.wordpress.com/2016/04/13/3caracterizacion-del-sistemas-de-levantamiento-artificial-bombeo-MECÁNICO-en-pozos-de-crudo-pesado/>

## **A. SARTA DE VARILLAS**

Conecta la bomba del subsuelo con la unidad de superficie por medio de la barra lisa transmitiendo movimiento al pistón para desplazar el fluido. Debido a las fuerzas axiales que interactúan sobre ella esta sarta debe ser resistente a dichas fuerzas, además de la corrosión, fricción y desgaste.

En el campo La Cira Infantas las varillas más empleadas son las API-D y las N-97 por su gran desempeño óptimo en pozos corrosivos, sus dimensiones oscilan entre 5/8" y 1 1/2", con prolongaciones de 25 o 30 pies.

A continuación, se presentan los diferentes tipos de varillas en los pozos.

## Varillas Convencionales

Son varillas de acero las cuales se unen entre sí para formar la sarta de varillas. La cantidad de estas dependen de la profundidad a la que se desee llegar y por lo general son de 25 ft de longitud.<sup>17</sup>

El trabajo a la hora de diseñar una sarta de varillas consiste en determinar la disminución de peso, sobrecostos y calidad que pueda usarse sin llegar a exceder el esfuerzo máximo permisible de las varillas, lo cual depende de la composición de cada una de las varillas y el fluido sumergido. En la **TABLA 11** se muestran los tipos de grado de las varillas y el acero presente en ellas.

**Tabla 11. Varillas según su grado y acero**

GRADO API	C	K	D Carbono	D Aleado	D Especial	KD
Aplicación	Pozos con cargas reducidas o medianas para pozos no corrosivos o con inhibición eficaz.	Cargas reducidas o medianas en pozos corrosivos, se recomienda inhibición.	Cargas moderadas, para pozos no corrosivos o con inhibición.	Cargas moderadas a elevadas, para pozos no corrosivos o con inhibición efectiva.	Cargas elevadas y moderadas, para pozos corrosivos donde se recomienda inhibición.	Cargas moderadas, para pozos corrosivos donde se recomienda inhibición.
Acero	1530 Mod	AISI 4621 Mod	Microaleado 1530 Mod	AISI 4142	AISI 4330 Mod	AISI 420 Mod

Fuente: MONCADA DELGADO, Davian Augusto. Caracterización del sistema de levantamiento artificial bombeo mecánico en pozos de crudo pesado. [En línea]. (Recuperado en 13 abril 2016.) Disponible en <https://bombeoycrudospesados.wordpress.com/2016/04/13/3caracterizacion-del-sistemas-de-levantamiento-artificial-bombeo-MECÁNICO-en-pozos-de-crudo-pesado/>

## Varillas continuas

Sarta continua de varillas diseñadas para pozos con altos caudales, ambientes ligeramente corrosivos y aún más corrosivos que estén efectivamente inhibidos.<sup>18</sup> Se transportan en grandes carretes especiales como se observa en la **FIGURA 17**.

<sup>17</sup> HERMANSON, Dean. Sucker Rods. En: BRADLEY, Howard B. Petroleum Engineering. 3 ed. Richardson: SPE, 1987.

<sup>18</sup> WEATHERFORD. COROD Continuous rod and Flushbys.2011. 1p.

Estas varillas reducen las posibilidades de fallas puesto que presentan pocas conexiones, además la sarta es más liviana respecto a las Convencionales reduciendo así el peso sobre la unidad de bombeo y existe una significativa reducción por desgaste de la varilla y de la tubería de producción<sup>19</sup> al no tener uniones o acoples como la varilla convencional. En la **TABLA 12** se muestran los tipos de varillas con los diferentes diámetros y torques máximos.

**Figura 17. Varilla continua**



Fuente: Weatherford. COROD Continuous rod and Flushbys.

---

<sup>19</sup> *Ibíd.*, p.2.

**Tabla 12. Diámetros y Torque Máximo para cada Tipo de Varilla Continua**

TIPO DE VARILLA	13/16"	7/8"	1"	1 1/8"
COROD DR	500	640	955	1.490
COROD DER	-	640	955	1.490
COROD DWR	-	-	955	1.490
COROD SER	700	900	1.300	2.000
COROD SWR	700	900	1.300	2.000
PROROD 620C	540	680	1.015	1.445
PROROD 780M	565	735	1.100	1.535
PROROD 750N	580	750	1.110	1.550
PROROD 960M	725	900	1.350	1.900
PROROD 970N	725	900	1.350	1.900

Fuente: MONTES Páez, Erik Giovany, Notas de Clase: BOMBEO MECÁNICO, Universidad Industrial de Santander. 2013.

## **1. EFECTO DE PANDEO O ESFUERZO BUCKLING**

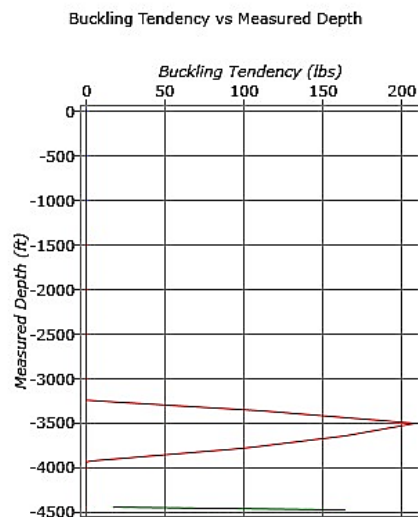
Es una inestabilidad elástica que genera flexión en las varillas al estar sometidas a la acción de esfuerzos axiales. Es directamente proporcional al módulo de elasticidad y al diámetro.

La tendencia al pandeo es una consideración seria en el diseño de bombeo de varilla, especialmente para pozos desviados. Se pueden tomar medidas para reducir la tendencia al pandeo al mantener un buen llenado de la bomba, una bomba más pequeña, una velocidad más lenta y la selección de la geometría de la unidad adecuada.

De esta manera, el pandeo de la varilla puede ser causado por las fricciones de la varilla en el fondo del pozo y en efecto de un bombeo más rápido. Algunas selecciones de la geometría de la unidad con una más rápida carrera descendente que la carrera ascendente pueden agravar la tendencia al pandeo.

Todas las varillas de bombeo, independientemente del diseño o material, experimentan pandeo en la parte inferior de la varilla. Se recomienda utilizar secciones de diámetro grande para minimizar el esfuerzo de buckling, además es de gran importancia conocer la ubicación y profundidad donde se espera que la varilla este en contacto con la tubería ya que esto indica un potencial de mayor fricción y zonas de desgaste.

**Figura 18. Buckling en unidad Convencional a condiciones de operación**

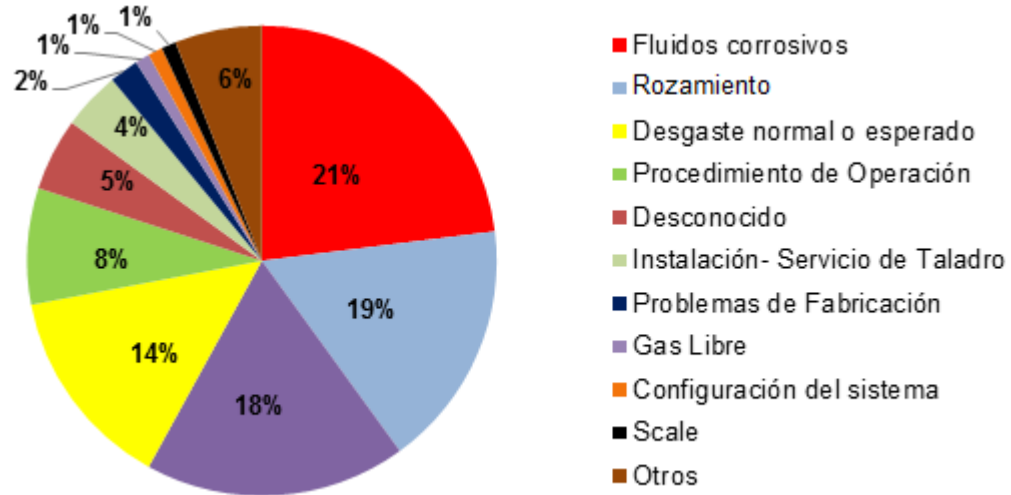


Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Este efecto se da, debido a que la sarta de varillas se encuentra en una compresión tan fuerte que hace que esta se pandee o que tenga desplazamientos transversales generando más desgastes en la varilla y disminución de la vida útil en estas.

## 2.2.6 Fallas presentes en el sistema de bombeo mecánico

Figura 19. Fallas comunes en el campo La Cira Infantas



Fuente: ECOPETROL S. A., Archivo Cierre de fallas 2016, Oficina producción, Bloque 3 Operaciones y Producción de subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Las fallas en los sistemas de bombeo mecánico se definen como el estado en el cual un artefacto es incapaz de cumplir una función asignada en un tiempo determinado. Aunque es algo controlable desde que se realiza el diseño, se considera una falla cuando el sistema es incapaz de cumplir la función para lo cual fue diseñada aun estando en condiciones de operación.

Las fallas presentes se pueden generar por diversos motivos; y en el caso del campo La Cira infantas y del presente proyecto las fallas por rozamiento se enmarcan en el segundo lugar<sup>20</sup> de las responsables del mayor número de fallas hasta la fecha, puesto que el daño que se presenta en los componentes del

<sup>20</sup> ECOPETROL S. A. Cierre de fallas 2016. Oficina producción, Bloque 3 Operaciones y Producción de subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

subsuelo acarrear problemas operativos incrementando el número de intervenciones en el pozo.

Cuando se presentan las fallas por rozamiento, es necesario investigar para caracterizar su origen de manera inmediata especialmente si son consistentes; arrojando como resultado la aplicación de nuevas tecnologías o tipos de unidades diseñadas con el fin de controlar, contrarrestar y retardar su efecto.

Dentro de los componentes que hacen parte del sistema de bombeo mecánico, las tuberías y varillas presentan más exposición al rozamiento generando mayores fallas por esta razón. Dependiendo del grado de desviación y a la composición, hace que estas sean características primordiales a la hora de evaluar la instalación y funcionamiento de un sistema. (Ver **FIGURA 19**)

De esta manera, comprender las condiciones en las cuales se encuentran los mecanismos del sistema de levantamiento permitirá tomar las medidas necesarias para prevenir y reducir las fallas. Así, se logra aumentar la vida útil de los componentes y disminuir los costos operacionales relacionados por intervenciones a falla. Es importante conocer los efectos que ocasionan las condiciones de inoperatividad por más mínimo que sea.

En el campo La Cira Infantas las unidades que imperan trabajan bajo cierto pandeo y los componentes presentes del subsuelo suelen ser afectados en gran medida. Es de gran importancia contrarrestar dicho esfuerzo que genera rozamiento de los componentes debido a la desviación o survey que presenta el pozo. A partir de esto, se toman las medidas necesarias con el objetivo de disminuir de manera pertinente dicho desgaste que genera el movimiento en las carreras ascendentes y descendentes.

Las fallas generales que más se presentan en el campo La Cira Infantas en mayor proporción son: fluidos corrosivos, fricción, arena, desgaste normal o esperado; en menor proporción se encuentran las fallas por: instalación- servicio de taladro, problemas de fábrica, configuración propia del sistema, procedimientos de operación entre otras con un porcentaje relativamente muy bajo. Cabe destacar que por inferior que sea el porcentaje de la falla se debe tener presente el efecto que podría ocasionar generando una condición de parada o de inoperatividad.

De esta manera, el presente proyecto se enfoca principalmente en las fallas que genera la fricción buscando su origen y el respectivo control de disminución de fallas que redundan en las intervenciones que impactan de manera favorable la producción diferida y los costos operacionales.

**2.2.6.1 Tipos de fallas** Las fallas como ya se mencionó, se pueden presentar debido a una opción de mejora debido al diseño del sistema, este debe ser acorde a las condiciones en las que se opera. Las fallas y problemas en el sistema de bombeo mecánico más presentes en el campo La Cira Infantas y que se estudiarán en este proyecto se enuncian a continuación.

### **Fallas por Rozamiento**

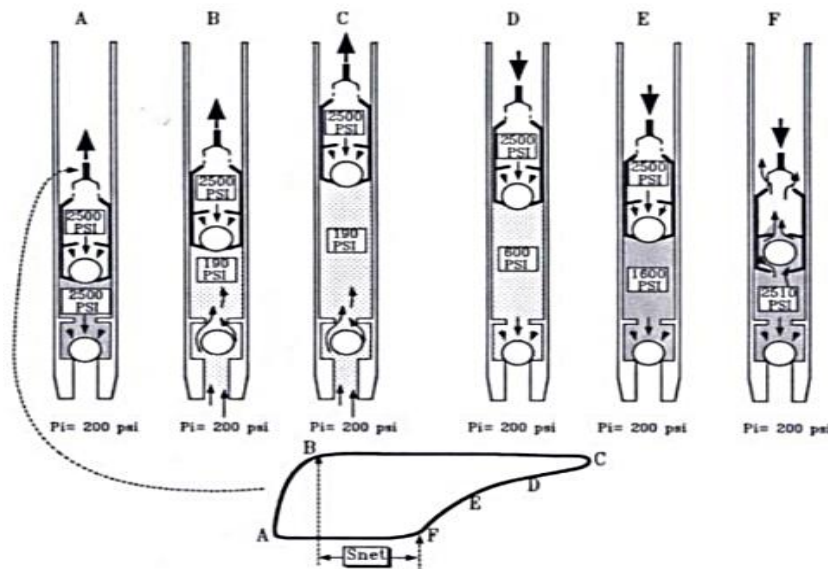
Estas fallas se presentan debido a la fricción entre las varillas y tubería de producción reduciendo así la carrera de la bomba y aumentando la carga de compresión sobre las varillas. Este tipo de falla es ocasionada por la severidad de la desviación(dog-leg) es ahí la motivación en buscar la solución más óptima posible.

## 2.2.6.2 Problemas comunes en el sistema de bombeo mecánico

### Interferencia de gas

Muchos pozos producen gas junto con los fluidos del pozo. La presencia de gases libres o de escape en la bomba pueden interferir en la eficiencia reduciendo la cantidad de fluido producido.<sup>21</sup> Esta interferencia en casos extremos podría resultar en una bomba totalmente bloqueada por gases. Durante la carrera ascendente de la unidad de bombeo, el barril se llena con fluidos y gases libres. Durante la carrera descendente, las cargas de la barra y de los fluidos sobre el embolo deben comprimir este gas para permitir que la válvula viajera se abra y descargue tanto el gas como el fluido en la tubería de producción.

Figura 20. Ciclo por interferencia de gas



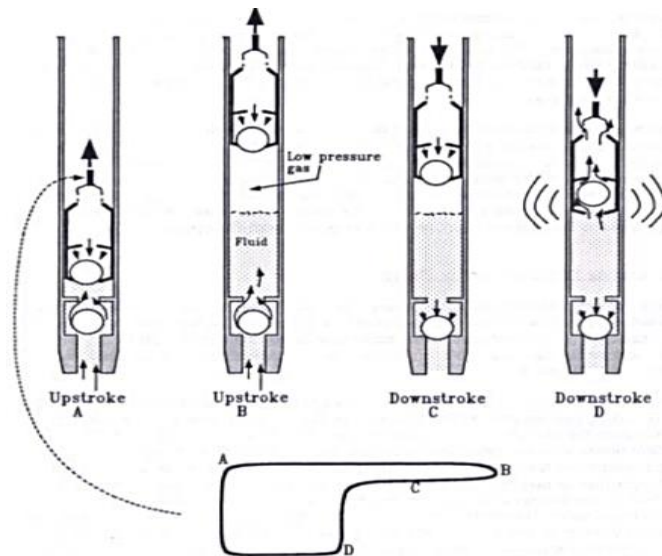
Fuente: SVINOS, John. Rod pumping optimization. Artificial lift training, Theta Enterprise inc. USA. 2005. 226p.

<sup>21</sup> Ospino R, Emiro J & Badillo H, Diana C. (2010). Estudio técnico- económico de la aplicación del sistema de levantamiento artificial dynapump en un campo de producción de petróleo (Tesis de Pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 54p.

## Golpe de fluido

Es causado debido a que la bomba no se llena totalmente de fluido durante la carrera ascendente del embolo. La válvula viajera se abre, transfiriendo la carga a la tubería de producción, disminuyendo la carga, lo cual transmite una onda de choque a través del sistema de bombeo a base de varillas.<sup>22</sup> Siempre es indeseable un golpe de fluido y se debe emplear los controles del sistema para monitorear y detectar dicha condición.

Figura 21. Ciclo por golpe de fluido



Fuente: SVINOS, John. Rod pumping optimization. Artificial lift training, Theta Enterprise inc. USA. 2005. 227p.

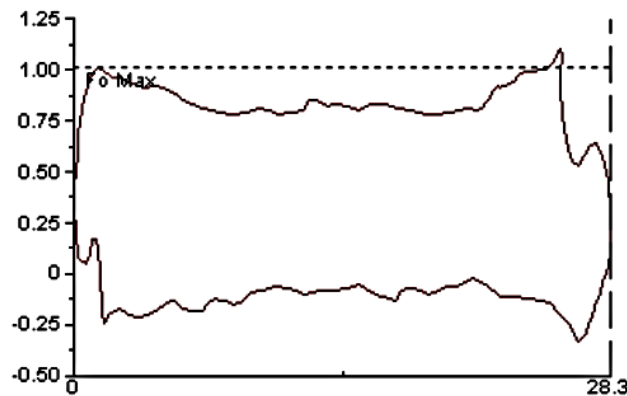
## Bomba arenada

Incremento progresivo de las cargas, este efecto se genera debido a la deposición de arena en la bomba creando una fricción y estiramiento de las varillas. En el caso del bombeo mecánico, la arena afecta primordialmente la función de la bomba de subsuelo provocando erosión del pistón durante el proceso de cada carrera por

<sup>22</sup> Ibíd. 54p.

acción de la fricción. De la misma manera la arena afecta también la acción que realizan las válvulas que se ubican en la bomba de subsuelo; al alojarse la arena por debajo y alrededor de estas, por encima y dentro del asiento impide que el fluido que va subiendo se retenga ocasionando una pérdida del fluido que entra en la bomba.

**Figura 22. Ciclo con bomba arenada**



Fuente: QUIROGA M, Luis E. Evaluación del desempeño de las sartas de bombeo mecánico del área la cira-infantas utilizando el software TWM (Tesis de Pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2008 157p.

### **2.3 CONTROL DE PRODUCCIÓN**

Un adecuado control de la producción empieza por un completo registro diario del comportamiento en cada uno de los pozos. A partir de los resultados en estos registros es posible realizar los ajustes pertinentes para mejorar las condiciones de operación. Este control es posible realizarlo mediante el uso de deferentes tecnologías entre ellos los registros en tiempo real como lo es la dinamometría (ANEXO C).

## **DINAMOMETRÍA**

Es un diagrama de carga y desplazamiento vs tiempo resultante del registro de todas las fuerzas que actúan sobre la varilla pulida con respecto a su posición en cualquier instante durante el ciclo de bombeo.

El instrumento utilizado para registrar este tipo de cartas es conocido como dinamómetro, el cual toma un registro en tiempo real de la carga que soporta la barra lisa durante el ciclo completo de bombeo, siendo una guía confiable para prácticas de bombeo más eficientes y económicas. Gracias al correcto uso e interpretación de los datos, se simplifican la evaluación de las nuevas instalaciones de bombeo como la identificación de los problemas en las unidades presentes.

De acuerdo al registro obtenido de la carga en la barra lisa se obtiene información de las cargas estructurales máxima y mínima de la unidad, cargas torsionales sobre el motor y el reductor de velocidad, potencia real transmitida de la sarta de varillas a la barra lisa, trabajo que realiza la barra lisa contra la elevación del fluido y contra la fricción y para el cálculo de torque máximo y contrabalance real en la barra lisa.

### **2.4 SELECCIÓN DE LOS POZOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO CONVENCIONAL, TUNDRA Y ROTAFLEX**

En la selección de los pozos candidatos como piloto, se debe realizar un estudio de las condiciones de los pozos, capacidad de los equipos, costos asociados en la implementación de uno u otro sistema de levantamiento; con lo que posteriormente se llegará a elegir el más eficiente y rentable para la empresa.

**2.4.1 Criterios para la selección** La Cira-infantas no cuenta con pozos que produzcan por flujo natural debido a la caída de presión que ha sufrido al transcurrir

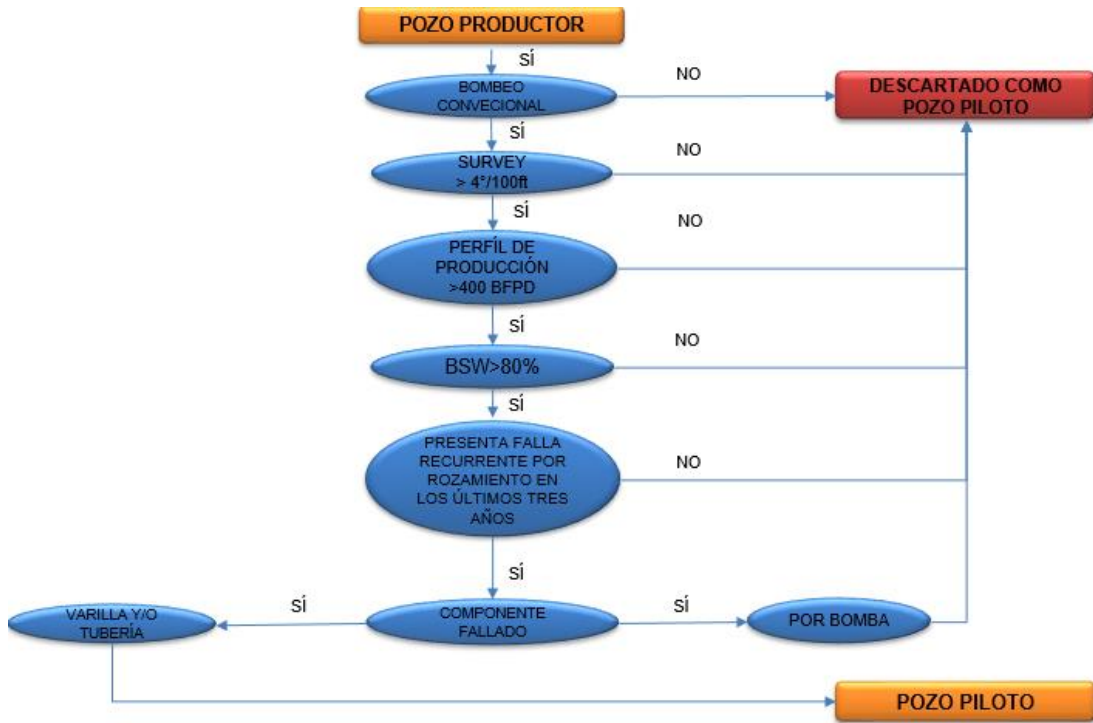
los años, por lo tanto, le impide al fluido llegar a la superficie por su cuenta propia o de forma natural. Es por esto que, es necesario la implementación de sistemas de levantamiento artificial. El sistema de levantamiento usado en mayor porcentaje es el bombeo mecánico.

El sistema de bombeo mecánico presenta ciertas limitaciones que le impide llegar a ciertas profundidades que afecta su capacidad volumétrica de extracción, con algunos problemas en presencia de sólidos. Es por esto que, se generan múltiples intervenciones por fallas en equipos de superficie y del subsuelo, generando así, un elevado costo de mantenimiento al intervenir en el cambio de las partes a reemplazar.

Teniendo en cuenta que, para el campo La Cira Infantas las unidades que presentan problemas asociados por fricción en mayor proporción son las Unidades Convencionales, siendo la motivación del presente proyecto de selección de los pozos piloto los cuales presentan en superficie una unidad Convencional con el fin de evaluar y analizar el posible cambio a unidades de largo recorrido como la unidad Tundra y/o Rotaflex.

Con lo anteriormente mencionado, los criterios fundamentales utilizados para el estudio son los siguientes: **(ESQUEMA 3)**

### Esquema 3. Metodología para la selección de pozos representativos



- Geometría: Survey ó dogleg mayor a 4.
- Perfil de producción
- Unidades Convencionales.
- Estado mecánico del pozo: Fallas generadas por fricción en los pozos desviados.
- Últimos tres años de fallas (2018,2017 y 2016).
- Componente del pozo fallado.
- Propiedades del fluido: Porcentaje (%) de BSW

## 2.4.2 Selección de los pozos piloto para la implementación de las unidades de bombeo mecánico convencional, tundra y rotaflex

**Tabla 13. Matriz para selección de pozos candidatos.**

POZO	UNIDAD	SURVEY	# FALLAS POR ROZAMIENTO	BFPD	BPPD	% BSW	RUNLIFE AVG (MESES)	COMPONENTE FALLADO
1	M II-912-427-192	5,16	3	837,54	37	95,592	4	3 VARILLA
2	MAX II 912-427-192	5,31	3	869	30	96,512	6	1 VARILLA Y 2 TUBERIA
3	MAX II 1280-427-192	4,22	2	1050	116	88,989	4	2 VARILLA
4	MAX II 1280-427-192	5,01	2	459	57	87,67	4	1 VARILLA Y 1 TUBERIA
5	M II-912-427-192	5,74	1	807,8	101	87,478	2	1 VARILLA
6	M II-912-427-192	4,23	2	1310	77	94,118	8	2 VARILLA
7	M II-912-427-192	4,02	4	611,2	29	95,27	11	2 VARILLA Y 2 TUBERIA
8	MAX II 912-427-192	4,09	3	1141	111	90,26	9	1 BOMBA Y 2 VARILLA
9	MAX II 912-427-192	4,39	3	918,42	24	97,436	9	3 VARILLA
10	M II-912-427-192	4,02	2	926,6	35	96,19	7	2 VARILLA
11	MAX II 1280-427-192	4,48	3	798,6	54	93,23	11	3 VARILLA
12	M II-912-427-192	5,34	2	1211	81	93,333	8	1 VARILLA Y 1 TUBERIA
13	MAX II 1280-427-192	5,17	1	895,1	72	92	4	1 VARILLA
14	MAX II 912-427-192	4,29	1	749,6	62	91,667	4	1 BOMBA
15	MAX II 912-427-192	4,06	2	885	29	96,721	10	2 VARILLA
16	M II-912-427-192	4,69	2	674	57	91,473	15	2 VARILLA
17	M II-912-427-192	4,43	1	597,1	19	96,842	8	1 VARILLA
18	MAX II 912-427-192	4,21	2	582,23	39	93,333	18	2 VARILLA
19	MAX II 912-427-192	5,12	1	653,7	78	88	9	1 VARILLA
20	MAX II 912-427-192	4,47	1	482,61	13	97,297	9	1 VARILLA
21	M II-912-427-192	5,98	1	1369	124	90,909	11	1 VARILLA
22	MAX II 1280-427-192	4,23	1	687,63	31	95,455	12	1 VARILLA
23	MAX II 1280-427-192	4,58	1	864,5	31	96,429	12	1 VARILLA
24	M II-912-427-192	4,97	1	1265	90	92,857	13	1 BOMBA
25	M II-912-427-192	4,47	1	931	85	90,909	13	1 VARILLA
26	M II-912-427-192	5,38	1	416,48	29	93,038	15	1 VARILLA
27	MAX II 1280-427-192	4,94	1	235	47	80,2	16	1 VARILLA
28	MAX II 1280-427-192	5,37	1	1239	212	82,895	17	1 VARILLA
29	MAX II 912-427-192	5,62	1	1312	102	92,199	20	1 VARILLA
30	MAX II 912-427-192	5,33	1	1278	98	92,308	21	1 VARILLA

Teniendo en cuenta los caudales, estado actual de los pozos y criterios de selección ya mencionados, el trabajo de soporta con la base de datos del campo La Cira Infantas para la selección de los pozos candidatos pilotos. Seleccionando inicialmente los pozos que registraran bombeo mecánico Convencional filtrando aquellos que cumplían con dicho parámetro y descartando los demás sistemas de levantamiento artificial ya que para el presente proyecto las unidades con mayor cantidad de problemas operacionales son las que tienen instalado bombeo mecánico Convencional.

El objetivo principal pretende disminuir el número de intervenciones que se presentan en los pozos, buscando aumentar el tiempo de falla, de esta manera al hacer el cambio de una unidad de recorrido corto a una de largo recorrido se espera recibir beneficios al mejorar la eficiencia en pozos desviados.

Seguido a esto, se seleccionaron pozos de acuerdo a los años de fallas que según los miembros de la empresa eran claves para determinar el runlife durante dichos años de estudio que en este caso son: 2018, 2017 y 2016.

Un parámetro importante en el período de la fase de selección es la geometría del pozo, la experiencia de campo ha demostrado que los problemas críticos más comunes se presentan cuando estos registran un **survey mayor a 4** grados por cada 100 pies registrados en la estadística de fallas del campo. Los análisis de falla arrojaron que el presente survey genera cargas laterales adicionales al rozamiento normal de la desviación de un pozo.

El dog-leg no afecta las unidades, es una condición del pozo que solo afecta a la tubería y a la varilla. La unidad de bombeo representa la velocidad con la que puede trabajar el pozo, con la unidad convencional se trabaja a alta velocidad y con las unidades de largo recorrido se trabaja a bajas velocidades favoreciendo así a que la varilla y la tubería estén sometidas a menos ciclos y por lo tanto menos afectaciones por rozamiento que redundan en una prolongación de la vida útil de la varilla y de la tubería que es donde se generan la mayor cantidad de fallas por fricción o rozamiento.

Teniendo claro que para optimizar la producción del pozo es preciso conocer el BSW que genera el campo, debido a que se registra el total de BPPD a partir de la cantidad de BFPD obteniendo de esta manera mayor rentabilidad a la hora de realizar el análisis económico.

Luego de haber seleccionado los pozos, conforme a las intervenciones originadas por fricción o rozamiento de los componentes del pozo por ser la falla más recurrente.

Siendo necesario realizar una matriz con los pozos resultantes posteriores a la selección con el fin de observar y analizar el o los componentes que más fallan en el subsuelo y el tipo de varilla utilizada ya sea continua o convencional, nueva o reutilizada con su respectivo tiempo de falla en días.

Dado a que la base de datos suministrada, los componentes que mayor porcentaje de fallas presentan son las varillas y tuberías, orientó, que el análisis se centrara en estos dos elementos para realizar la respectiva selección final. Se detalló pozo por pozo registrando información del componente que presentaba falla, razón de la falla y la causa específica de la falla obteniendo así el insumo que enriqueció los parámetros de selección.

Analizado la matriz de pozos se determina estudiar en el presente proyecto los que presenten la condición actual del campo, por ser los más representativos se escogieron los pozos con las condiciones suficientemente críticas para poder llegar a decir que dicho pozo necesita un cambio. Las condiciones críticas son: Dog-leg superior a 4, fallas repetitivas por rozamiento, producción y/o alto caudal, es decir; que el pozo va a requerir una bomba grande, alta carga y gran cantidad de ciclos ya que trabajará a la máxima velocidad permitida. Con esas condiciones estos pozos vuelven a presentar fallas como lo registra el historial de estas, determinando así que el pozo es crítico, de esta manera se considera un candidato representativo puesto que ha presentado y sigue presentando fallas. Ya que sus parámetros concuerdan con las fallas teniendo un dog-leg superior a 4 y trabajo a condiciones máximas haciendo incapaz la mejora del pozo por encontrarse en las máximas condiciones exigidas. A partir de lo mencionado se recomienda al cambio de unidad por una de alto recorrido a 3 pozos candidatos. (**Tabla 14**).

**Tabla 14. Relación de pozos piloto seleccionados**

POZO	UNIDAD	SURVEY	# FALLAS POR ROZAMIENTO	BFPD	BPPD	% BSW	RUNLIFE AVG (MESES)	COMPONENTE FALLADO
3	MAX II 1280-427-192	4,22	2	1050	116	88,989	4	2 VARILLA
4	MAX II 1280-427-192	5,01	2	459	57	87,67	4	1 VARILLA Y 1 TUBERIA
6	M II-912-427-192	4,23	2	1310	77	94,118	8	2 VARILLA

**2.4.3 Estudio técnico de los pozos candidatos seleccionados** Para realizar el estudio técnico de los pozos se tendrá en cuenta; el estado mecánico de los pozos, el historial de trabajos o intervenciones realizados a los pozos.

#### **Estado mecánico de completación**

Para el diseño de las unidades de bombeo es preciso conocer el estado mecánico de los pozos considerando el dog-leg o los grados de inclinación por cada 100 ft de profundidad. (ANEXO A)

#### **Historial de intervenciones**

Proporciona la cantidad de intervenciones realizadas al pozo de las fallas existentes a los equipos de cada sistema. Analizando los motivos que ocasionaron la intervención en aras de entender, analizar y viabilizar alternativas de solución.

### **3. DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS**

Para el respectivo diseño de los equipos de bombeo mecánico se utiliza la norma API RP 11L<sup>23</sup>. Este método abarca correlaciones adimensionales para la optimización de los parámetros de diseño, es por esto que, gracias al avance tecnológico se crearon softwares que permiten dicho diseño con métodos más exactos. En esta ocasión, se utilizó el programa SROD v8.1.1000.

El propósito del software SROD es predecir tasas de producción, cargas de equipos, requisitos de energía para diversos tipos de unidades a diferentes condiciones de operación. Con las versiones recientes, el software permite realizar diseños para pozos verticales o desviados, para calcular la potencia del motor, velocidades de bombeo y sobre todo para recomendar tamaños óptimos para las unidades de bombeo.

#### **3.1 SECUENCIA DEL SOFTWARE SROD E INGRESO DE LA INFORMACIÓN**

Para el diseño con ayuda del software SROD se realizó la siguiente metodología,

Se introducen los datos que el programa SROD<sup>24</sup> de la siguiente manera.

---

<sup>23</sup> AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API RP 11L-Design calculation for sucker rod pumping system. 1988, fourth edition.

<sup>24</sup> SOFTWARE SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Secuencia de ingreso de datos.

## Info Pozo

Figura 23. Información general SROD

Información general	
Compañía	Oil Company
Nombre del pozo	SAMPLE WELL
Analista	Demo
Comentarios	CLASS DEMO

Tipo de pozo	
<input checked="" type="radio"/> Pozo Vertical	
<input type="radio"/> Pozo Desviado	
<input type="radio"/> Pozo somero/Bba grande	

Fecha	
06/12/2007	

Información Adicional	
Tiempo de opercion (h/d)	24

Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En el momento de la puesta en marcha el simulador y se haya generado o recuperado un caso histórico aparece la pantalla superior.

En el cuadro “Información general” se cargan los datos enunciativos y de referencia del pozo.

El recuadro “Tipo de Pozo” admite escoger las siguientes opciones.

- Pozo Vertical: Que sirve para realizar simulaciones de pozos en donde su geometría sea vertical o para aquellos pozos donde no se posean los datos del survey.
- Pozo Desviado: Se usa para ejecutar simulaciones de pozos en donde su geometría sea desviada o dirigida. Se necesitarán los datos del desvío también conocido como survey del pozo. Esta iniciativa es muy recomendada para conseguir un análisis con mayor exactitud en este tipo de pozos.
- Pozo Somero/ Bomba Grande: Se utiliza para elaborar simulaciones de pozos en donde la profundidad es menor a 2000 ft o donde se tengan bombas con diámetros mayores a 3 pulgadas de diámetro, con alta velocidad de bombeo (>8 SPM) y sin presencia de gas.

En tiempo de operación se debe poner el runtime a condiciones estándar del funcionamiento del pozo el cual se consulta en el archivo CONTROL P&I.

## Bomba/Tubing

Figura 24. Bomba/Tubing SROD

Bomba	
Profundidad Bomba (ft)	7717
Diámetro Bomba (in)	1.25
Eficacia Bomba (%)	80
Llenado de la bomba	COMPLETO
Llenado Incompleto (in)	0
% llenado bomba	100
Presión entrada bomba (psi)	100

Tubería	
Diámetro Tubería	2 7/8 in
Prof. Ancla de Tubería (ft)	7700
Presión boca pozo (psi)	0
Gradiente en Tubería (psi/ft)	0.36

Información De la Fricción	
Factor fricción carrera asc.	0.4
Factor fricción carrera dsc.	0.4
Fric. prensaestopa (lbs)	100
Fricción en la bomba (lbs)	200

Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En el recuadro “Bomba” se ingresan los siguientes datos.

- En profundidad de la bomba es obligatorio colocar la profundidad de la ubicación de la bomba el cual este valor debe coincidir con la longitud total de la sarta de varillas siempre y cuando sea un pozo vertical.
- Diámetro de la bomba: El diámetro nominal del pistón de la bomba debe ser el mismo valor que se tiene en el estado mecánico del pozo.
- Eficacia de la bomba (%): Es el porcentaje de eficiencia que brinda la bomba de subsuelo, en donde se contemplan las pérdidas de producción por escurrimiento y liberación de gas, en este valor no se tienen en cuenta la merma volumétrica de la producción por efecto del movimiento de la tubería ni por causa de un golpe

de fluido o compresión de gas, en el campo La Cira Infantas se trabaja con un valor del 80%.

- Llenado de bomba: Si se selecciona la opción “COMPLETE”, esto hace referencia a que el pistón accionara su válvula viajera al iniciar la carrera descendente, esto significa que se usara toda la carrera de la bomba para el llenado de la misma. Si se activa la opción “Llenado Incompleto (in)” se debe ingresar la distancia que no cumple con el llenado de la bomba y si se escoge el tópicico “% llenado de bomba” se ingresa el porcentaje de llenado de la bomba.
- Presión de entrada en la bomba: Hace referencia al valor del PIP el cual se encuentra en el DINASON<sup>25</sup>, caso tal de que no se encuentre el valor en el archivo, se selecciona la opción “Deje SROD calcular pres, entrada bba” y se despliega el menú de la parte inferior, en donde se ingresara los °API del crudo que para el campo La Cira Infantas es de 24° en promedio , en la sección “Prof. Fluida Verdadera de la superficie” que corresponde la profundidad del nivel de fluido y por último en el literal “ Presión Principal De la Cubierta” hace referencia a la CHP que también se encuentra el valor en el DINASON.



Nivel Fluido (Petroleo Muerto)	
Gravedad específica del petróleo (API)	18
Prof. Fluida Verdadera De la Superficie (ft)	5420
Presión Principal De la Cubierta (psi)	32

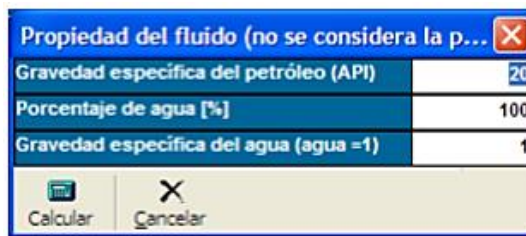
Calcular Cancelar

Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

<sup>25</sup> Archivo DINASON.xlsx, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En el recuadro “Tubería” se ingresan los siguientes datos.

- Diámetro de la tubería: Hace referencia al diámetro de la tubería de producción que se consulta en el DINASON, en caso de que la configuración en el tubing sea telescópico, se seleccionara el diámetro de la tubería más próximo a la superficie.
- Profundidad del ancla de la tubería: Es la profundidad en la que se encuentra fijada el ancla de la tubería de producción, este valor se encuentra en el estado mecánico del pozo.
- Presión de boca de pozo: Hace alusión a la presión de la tubería de producción que es lo mismo a la THP por sus siglas en inglés, el cual se localiza en el DINASON.
- Gradiente de la tubería: Indica la alteración de presión respecto a la profundidad inmerso en el fluido que está contenido en la tubería de producción. Si no se tiene este valor, se puede calcular haciendo uso de la opción “Deje SROD Calcular Gradiente Tubería” y aparecerá la siguiente ventana:



Propiedad del fluido (no se considera la p...)	
Gravedad específica del petróleo (API)	20
Porcentaje de agua [%]	100
Gravedad específica del agua (agua =1)	1

Calcular    Cancelar

Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En donde se ingresara los °API del crudo que para el campo La Cira Infantas es de 24° en promedio , en la sección “Porcentaje de agua(%) ” que corresponde al valor del BSW que se halla en el archivo CONTROL P&I<sup>26</sup> y por último en el literal “

<sup>26</sup> Archivo CONTROL P&I.xlsx, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Gravedad específica del agua (agua=1)” se introduce la gravedad específica del agua de producción que en el campo La Cira Infantas en promedio es de 1.08.

Los datos en la sección de “Información De la Fricción” son de una categoría de diseño más avanzado, solo es recomendable usar esta sección para realizar arreglos muy específicos en el diseño

Al pulsar el botón “Avanzado” se tiene un acercamiento a valores de mayor complejidad que esta designado para expertos en diseños.

## Varillas

**Figura 25. Varilla SROD**

	Tipo Varillas	Diámetro (in)	Longitud (ft)	Módulo (MM psi)	Tensión (psi)	Peso (lbs/ft)	Guía De Barra
1	API D	0.875	3091.99	30.5	115000	2.224	
2	API D	0.75	4175	30.5	115000	1.634	
3	API D	0.875	450	30.5	115000	2.224	
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Total: 7716.99  
 Profundidad Bomba : 7716.99  
 Factor Servicio: 0.89

Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

- En diámetro se selecciona el diámetro de varilla que se vaya a utilizar, teniendo en cuenta que un diseño con mejores características cuenta con una distribución de diámetros telescópicos, mayor diámetro cerca de la superficie y menor diámetro en el fondo del pozo el cual permite tener una sarta de varilla más liviana en donde sus cargas se distribuirán de mejor manera y el esfuerzo en la unidad de bombeo disminuiría.
- La varilla a seleccionar debe tener un máximo OD de tal forma que se pueda utilizar en la tubería seleccionada como se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 15. Diámetro de varilla admisible por tipo de bomba**

Tamaño Casing	Máximo tamaño de tubería.	Máximo tamaño de varilla.	RW Máximo tamaño de bomba inserta.	RH Máximo tamaño de bomba inserta.	TH Máximo tamaño de bomba de tubería.	Oversize Máximo tamaño de bomba de tubería.
5 in 11.5 to 20.3 lb/ft	2-7/8 in.	1 in., Slim-hole Cplgs.	2 in.	1-3/4 in.	2-1/4 in.	2-3/4 in.
5-1/2 in. 14 to 20 lb/ft	3-1/2 in.	1-1/8 in.	2-1/2 in.	2-1/4 in.	2-3/4 in.	3-3/4 in.
6-5/8 in. 20 to 28 lb/ft						
7 in 17 to 29 lb/ft	4-1/2 in.	1-1/8 in.	3-1/4 in.	2-3/4 in.	3-3/4 in.	4-3/4 in.

Fuente: Archivo Premisas de Diseño BP-LCI, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

- En longitud se ingresa la longitud de cada tramo. Esta puede ser informada como Actual (en pies), fracción de la longitud total de la sarta de varillas, o Count como número de barras (por defecto 25 pies longitud de varillas en acero, a no ser que el ingeniero encargado de diseño personalice otra opción).

- El Módulo (MM psi) es el módulo elástico del material. Para el acero el valor por defecto es 30.5. Este valor se ingresa automáticamente al seleccionar el grado de la varilla
- En Tensión se ingresa la tensión máxima admisible de la varilla. Este valor aparece automáticamente al seleccionar el grado de la varilla
- En Peso se da a conocer el peso de la varilla (en libras por pie). Este valor se ingresa de manera automática al seleccionar el grado de la varilla y diámetro. Para varillas huecas o especiales (con centralizadores, longitudes diferentes a la estándar, o con pines fuera de norma) podría ser digitado este valor para que sea el valor real.
- En Guía de barras se detallará el tipo de centralizadores o guías a utilizar para ese tramo de varillas. Esto es solo de aplicación a pozos Desviados con el fin de disminuir el rozamiento entre la varilla y la tubería de producción
- El cuadro “Agregar autom varillas de peso” permite que el simulador de manera instintiva seleccione las varillas de peso. Esto es solo de aplicación a pozos Desviados para reducir la fricción entre la sarta de varilla y el tubing.
- El Factor de servicio es muy importante al momento de diseñar, pues el software tiene datos de catálogos que admite calcular el estrés que la sarta de varilla estará experimentando. Es necesario conocer que la vida útil de la varilla va a obedecer a su condición de nueva o usada y de criterios adicionales tales como corrosión por lo cual el factor de servicio puede oscilar entre 1.0 y 0.5. Si la varilla es nueva se usa un factor de 0.9, si es usada de 0.8 y si la varilla usada adicionalmente estuvo sometida a ambientes corrosivos se recomienda usar un factor de 0.7

- La opción “Agregar automáticamente varillas de peso” solo está disponible en pozos desviados, y su selección permite que el SROD considere que se agregan pesos a las guías de las barras (Rod guide weights), conforme a la tabla informada en la Ayuda (Help) del SROD, bajo la sección “Weight per Guide”
- Las otras opciones de ingreso del diseño de sarta de varillas son las siguientes:



Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Al seleccionar la opción “API STEEL ROD DESIGN” permite ingresar la configuración de varillas acorde a la normal API. Es esencial escoger el tipo de varillas y el diámetro de la bomba. Es importante considerar que estos diseños probablemente no sean los más convenientes para pozos desviados o para aminorar el efecto de pandeo (Buckling) ya que no se tienen en cuenta el uso de las barras de peso.

Es probable tomar un diseño API que se mostrara en la imagen inferior y posteriormente escoger la opción “SPECIFY ROD DESIGN” para modificar el diseño acorde a las condiciones del pozo.

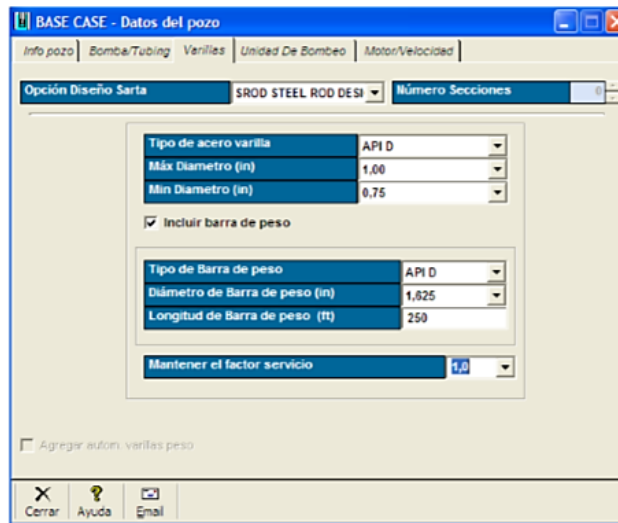
Rod Number	Pump Diameter (in)	Rod Diameter (in)	Percent of Rod Length (%)
44	ALL	1/2	100.00%
54	1.0625	5/8	44.60%
		1/2	55.40%
54	1.25	5/8	49.50%
		1/2	50.50%
54	1.5	5/8	56.40%
		1/2	43.60%
54	1.75	5/8	64.60%
		1/2	35.40%
54	2.0	5/8	73.70%
		1/2	26.30%
54	2.25	5/8	83.40%
		1/2	16.60%
55	ALL	5/8	100.00%

Hacer doble click para seleccionar la varilla for Diámetro Bomba =1.25in

Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Las otras opciones como lo son FIBERFLEX ROD DESING, MMFG ROD DESING y PETRO-ROD DESING, permite seleccionar diseños en las sartas de varillas con secciones de fibra de vidrio de acuerdo a los estándares de los fabricantes

Y por último si se selecciona la opción SROD STELL ROD DESING delega al simulador de manera automática que seleccione de manera óptima la configuración de las varillas de tal manera que el factor de servicio sea igual en todos los tramos de varilla, en donde es indispensable seleccionar el diámetro mayor y menor para el diseño para que escoja diámetros entre los límites estipulados, dado el caso se active la opción de "incluir barra de peso" el interesado debe indicar el diámetro y longitud de este tramo, no se debe olvidar que es necesario indicar el factor de servicio en donde es posible que el software pese que se le haya indicado, evite algún diámetro porque afecta el diseño y por último se mostrara la pantalla de ingreso para esta opción.



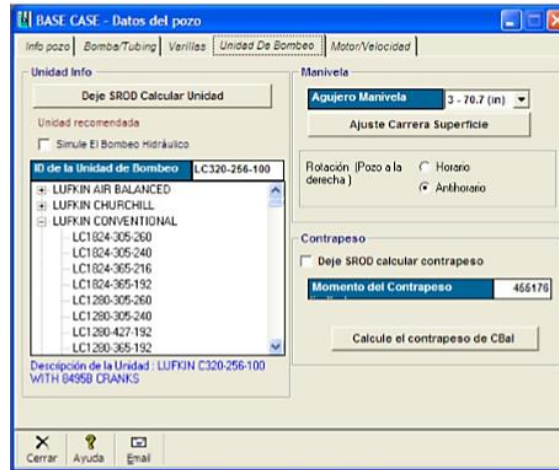
Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En necesario aclarar que en el campo La Cira Infantas se han empleado varillas convencionales, de alta resistencia, varillas continuas y huecas para los diseños de los distintos pozos situados en el campo, estas últimas son utilizadas en pozos desviados con una severidad de dogleg mayor a  $4^{\circ}/100\text{ft}$  y que presenten continuas fallas por fricción ya que este tipo de varillas favorecen a la disminución de cargas en su configuración y también en la unidad viéndose reflejado en el aumento de su runlife.

## Unidad De Bombeo

En esta sección se podrán seleccionar las unidades de bombeo mecánico que el software puede simular y se encuentra en la lista.

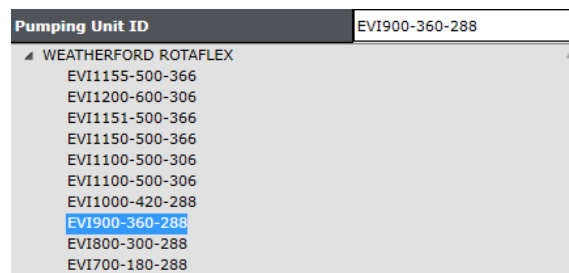
**Figura 26. Unidad Convencional SROD**



Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Para la simulación de las unidades Rotaflex, en la parte inferior de la lista se encuentra la pestaña WEATHERFORD ROTAFLEX y despliega la pestaña todos los modelos de esta unidad comerciales, pero para el campo La Cira Infantas solo se tiene disponible la unidad EVI900-360-288 o también conocida como Model 900.

**Figura 27. Unidad Rotaflex SROD**



Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Para la simulación de la unidad Tundra, se debe activar la opción “Simule El Bombeo Hidráulico” e instantáneamente aparecerá el siguiente recuadro.

**Figura 28. Unidad Tundra SROD**

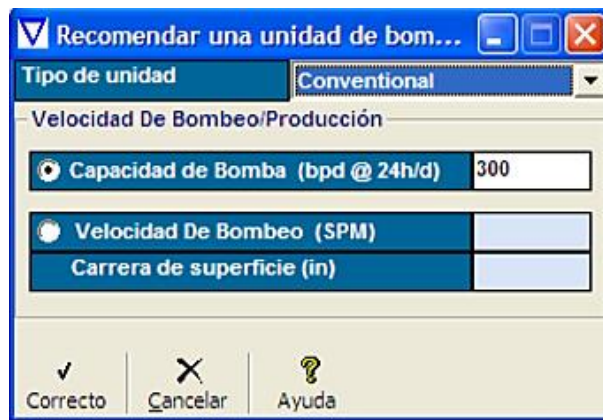
Unidad recomendada	
<input checked="" type="checkbox"/>	Simule El Bombeo Hidráulico
ID de la Unidad de Bombeo	
Grado De la Estructura (lbs)	
Movimiento Superficial (in)	
<input type="checkbox"/>	Velocidad Variable Dual
Tiempo ascend Del Pren %	
Tiempo descend Del Pren %	

Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En la sección “ID de la unidad de bombeo” se pone el nombre de la unidad para su posterior identificación que para el caso del proyecto se pondrá “Tundra 400/288” en el recuadro “Grado de la Estructura (lbs)” se introduce el valor de la carga nominal para la que está diseñada la unidad que es de 40.000 lbs y por último en el movimiento superficial es el recorrido máximo en el que trabaja la unidad que para esta situación es de 288 in. En caso de activar la opción se admitirá ingresar una velocidad diferente de ascenso y de descenso, en el recuadro “Tiempo ascendente del pren %” que hace referencia a la fracción del tiempo que utiliza la unidad en la carrera ascendente del total del ciclo de bombeo en superficie y para la sección y se utilizara el 33% y “Tiempo descendente del pren %” que hace referencia en lo anteriormente para la carrera descendente y para este caso es del 66% ya que demora el doble en la carrera descendente comparado con el tiempo ascendente.

Si se selecciona la opción “Deje SROD Calcular Unidad” permite estimar la unidad de bombeo, esto solo funciona para las unidades convencionales o Rotaflex y los datos a ingresar son los siguientes.

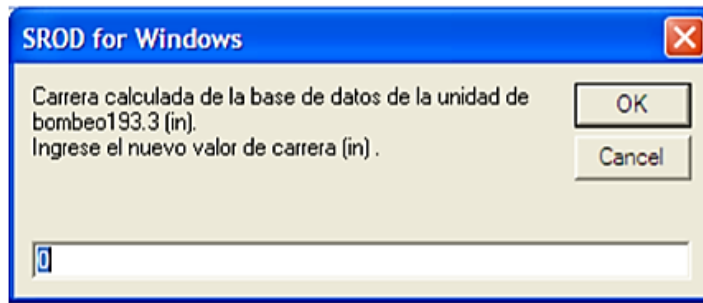
En esta sección se realiza el mismo procedimiento en las demás unidades con el fin de verificar que el motor seleccionado para la simulación suple el correcto funcionamiento de la unidad.



Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En donde se indicará la capacidad de la bomba en BFPD o se seleccionará la opción de “Velocidad de Bombeo (SPM) y carrera de superficie” y se pondrá la velocidad de bombeo a la que se pondrá a trabajar la unidad y el respectivo recorrido de la unidad en superficie.

En la opción “Manivela” se indica el agujero de la manivela seleccionado y la carrera de superficie que se adopta de la unidad de bombeo para la posición requerida. En las unidades de bombeo de geometría Clase I, se habilita la opción “ajuste de carrera en superficie” que se muestra a continuación

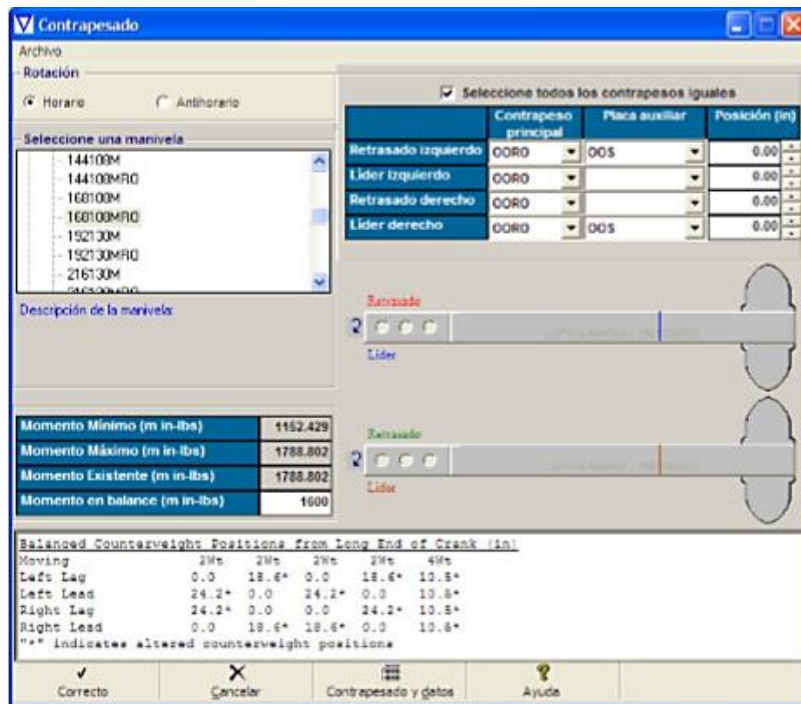


Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Esta opción abre la posibilidad de ajustar la carrera de superficie que corresponda con lo medido en la realidad que se halla ejecutado en el montaje de la unidad de bombeo, después se debe indicar en la primera imagen de la sección Varillas el sentido de rotación de las manivelas indicando si es en sentido horario o anti horario. Por ultimo debe ingresarse el torque que genera el contrapeso, el SROD da la opción permite que automáticamente determine el contrapeso indicado al seleccionar la opción “Deje SROD calcular contrapeso”, para el caso de agregar el dato manualmente se recomienda usar el módulo del software CBAL<sup>27</sup> que se activa al darle clic a la opción “Calcule el contrapeso de CBAL” que se mostraran a continuación.

---

<sup>27</sup> Módulo CBAL, Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.



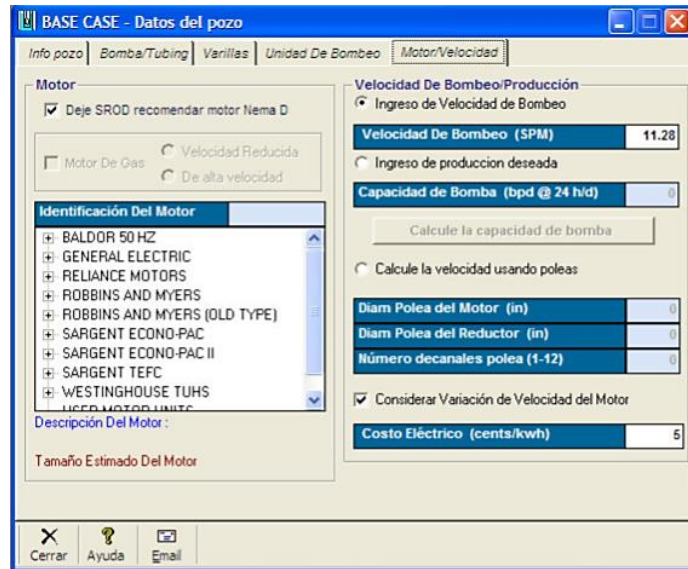
Fuente: Módulo CBAL, Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En donde se agregaran datos como lo es el sentido de rotación de las manivelas, modelo de la manivela que dependerá del fabricante de la unidad de bombeo, el diseño de la manivela manualmente y si se activa la opción “Seleccione todos los contrapesos iguales” el sistema fijara los 4 contrapesos idénticos, una vez agregado la configuración manual de las manivelas o activar la opción anteriormente nombrada, al activar el comando “CORRECTO” automáticamente el software indicara el momento actual al que está expuesto la manivela, caso tal de que sea necesario determinar el reposicionamiento de los contrapesos partiendo de un momento indicado, se debe ingresar al recuadro “Momento Balance” y automáticamente el módulo CBAL mostrara las diversas configuraciones más probables en el recuadro de abajo.

## Motor / Velocidad

En esta sección se podrán seleccionar manualmente el modelo del motor que se encuentra en la lista y la velocidad de bombeo que se desea tener.

**Figura 29. Motor/Velocidad SROD**



Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Caso tal de que se active la opción “Deje SROD recomendar motor Nema D” el software automáticamente determinara el motor apropiado basándose en las curvas de desempeño Nema D.

El software permite agregar la velocidad a la que funcionara la unidad de bombeo, o la tasa de producción, en este último caso el software calcula a qué velocidad se obtiene la producción deseada. La velocidad ingresada o calculada no debe superar la velocidad de la barra lisa recomendada según la longitud de carrera (SL) y la velocidad de la unidad (SPM), de tal manera que se pueda aplicar la fórmula:  $(SPM \times SL \times 2) / 12$ . (ft/min) y que su resultado no sea mayor a 240 ft/min.

Si se activa la opción “Calcule la capacidad de la bomba” aparecerá el siguiente menú, el cual funciona para calcular la capacidad volumétrica de desplazamiento de la bomba.

Datos de entrada		Cantidades predecidas		Representación grafica	
Eficiencia venteo gas (%)	80				
Presión entrada bomba (psi)	100				
Promedio de la prod. de petróleo (bopd)	2				
Promedio de la prod. de agua (bwpd)	7				
Producción GOR (cu ft/bbl)	1000				
Temperatura de la bomba (deg F)	137.17				
Gravedad específica del petróleo (API)	20				
Gravedad específica del agua( pura = 1 )	1.04				
Gravedad específica del gas (aire = 1 )	0.9				
Presión de punto de burbuja (psi)	1980				
Profundidad Bomba (ft)	7716.99				

<input checked="" type="radio"/> Eficiencia mecánica bomba (%)	80
<input type="radio"/> Calcular por escurrimiento	
Presión tubería (psi)	30
Viscosidad del fluido (centistokes)	
Diámetro Bomba (in)	1.25
Longitud del pistón (in)	
Luz del pistón (in)	

Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Los datos por ingresar son:

- Eficiencia de venteo de gas (%): Muestra cuánto del gas libre que se genera en el pozo se libera por el casing, considerando que el resto circulará por la bomba que se encuentra en el DINASON.
- Producción de petróleo: Producción diaria neta de petróleo medida en el tanque o ensayo de producción que se encuentra en el CONTROL P&I.
- Producción de agua: Se halla teniendo en cuenta la producción neta y el %BSW que se encuentra en el CONTROL P&I.
- Producción GOR: Es la relación media diaria de producción Gas/Petróleo medido en el tanque. Contempla el gas total, incluyendo el que se produce por la bomba como el que se capta por el casing que se encuentra en el CONTROL P&I.

- Temperatura de la bomba.
- Gravedad específica del petróleo (API): Grado API del petróleo que el promedio para el campo La Cira Infantas es de 24°API.
- Gravedad específica del agua.
- Gravedad específica del gas.
- Presión del punto de burbuja: Es la presión en la que el gas en solución en el fluido se convierte en gas libre.
- Eficiencia mecánica de la bomba: Se refiere a qué fracción de fluido desplazado por la bomba en su funcionamiento que para el campo La Cira Infantas se toma de 80%. Las ineficiencias en este caso solo deben tomarse como pérdidas por escurrimiento. Cualquier otra ineficiencia volumétrica como ser interferencia de gas o encogimiento por venteo de gas en tanque no deben ser tener en cuenta en este factor. Si se desconoce o no puede estimarse este parámetro, puede procederse con el cálculo en el recuadro “Calcular por escurrimiento” ingresando los datos que se indican a continuación.
- Viscosidad del fluido (para el agua dulce el valor es 1 centristokes) y para el crudo dependerá de la zona, el cual está especificado en el marco teórico.
- Longitud del pistón: Se refiere a la longitud del pistón. Cuanto mayor sea la longitud del pistón menor será el escurrimiento.
- Luz del pistón: Es la relación que existe entre el pistón y el barril de la bomba. Cuanto mayor sea este espacio mayor será el escurrimiento. Un valor normal ronda 0,003 pulgadas.

Con la información ingresada y activando la opción “calcular” que se encuentra en la parte inferior izquierda de la imagen anteriormente se tendrán los siguientes resultados:

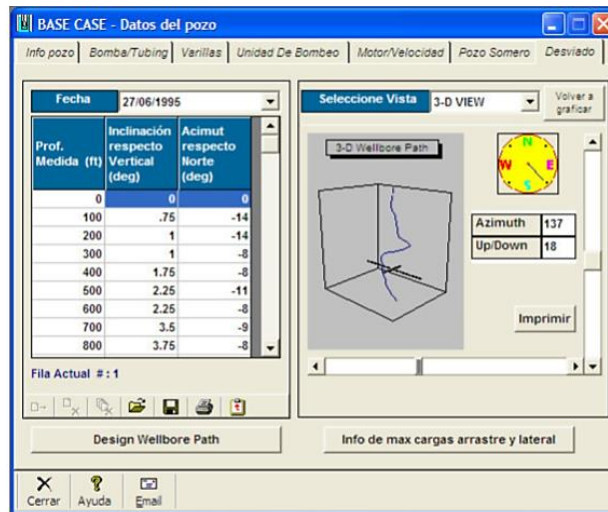
- Producción promedio diaria de fluidos que transita por la bomba.
- Pérdidas promedio diarias por escurrimiento (debido a ineficiencias mecánicas de la bomba).

- Capacidad total diaria requerida en la bomba (se refiere al desplazamiento bruto que la bomba deberá desplazar para conseguir elevar la producción deseada, considerando las ineficiencias de la bomba). Este es el valor más importante y el que se empleará en el SROD para estimar la velocidad de bombeo.
- Volumen equivalente en tanque (se refiere a la producción que se obtiene en pruebas de producción luego de generados los escurrimientos y pérdidas volumétricas).
- Eficiencia aparente de la bomba (resultante de contrastar los dos valores antes enunciados).
- Volumen de gas libre venteado (que se produce por el casing).

## Desviado

En esta sección se podrán seleccionar manualmente el modelo del motor que se encuentra en la lista y la velocidad de bombeo que se desea tener.

**Figura 30. Desviación SROD**



Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Se ingresará el dato detallado del survey del pozo el cual se encuentra plasmado en el estado mecánico del pozo que tiene los datos requeridos por el software como lo es profundidad medida, inclinación respecto vertical e inclinación respecto norte.

Al momento de ingresar estos valores puede seleccionarse la manera que se visualiza el grafico de desviación que resulta del survey del pozo, una vez escogida el tipo de vista se da clic en “volver a graficar para que se realicen los cambios respectivos como lo indica la siguiente imagen.



Fuente: Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Al terminar todo el proceso de ingreso de la información que requiera el software dependiendo de los datos que se tienen a mano se procede a simular el caso y se obtienen los resultados que se explicaran teniendo en cuenta las recomendaciones básicas de diseño<sup>28</sup>.

Teniendo los resultados se procede a observar en la sección **\*\*PRIME MOVER\*\*** que es el poder mínimo requerido que debe tener el motor para que la unidad funcione correctamente, si el valor en el literal “ Power Required (hp)” es mayor a la capacidad nominal de la potencia del motor, se procederá a simular con un motor

---

<sup>28</sup> Archivo Premisas de Diseño BP-LCI.docx, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

de mayor potencia que supla las necesidades de la unidad, por el contrario si dicho valor es menor, indica que el motor seleccionado suple las necesidades para el correcto funcionamiento de la unidad y se tendría en cuenta este motor para el diseño.

## UNIDAD CONVENCIONAL

### \*\* PRIME MOVER \*\*

Mfgr and Type	G.E. 100 HP KOF		
Max Speed (rpm)	1202	Speed Variation (%)	: 15.2
Min Speed (rpm)	1020	Cyclic Load Factor	: 1.202
<b>Power Required (hp)</b>	<b>95.04</b>	Peak Regenerative Power (hp)	: -2.79
Motor Load (% of Rating)	95	Prime Mover Output (hp)	: 79.1
Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover)	5.054		

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

## UNIDAD ROTAFLEX

### \*\* PRIME MOVER \*\*

Mfgr and Type	ROBBINS & MYERS 125 HP NEMA D (OLD TYPE)		
Max Speed (rpm)	1201	Speed Variation (%)	: 4.9
Min Speed (rpm)	1143	Cyclic Load Factor	: 1.082
<b>Power Required (hp)</b>	<b>74.48</b>	Peak Regenerative Power (hp)	: -3.32
Motor Load (% of Rating)	59.6	Prime Mover Output (hp)	: 67.47
Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover)	1.523		

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

## UNIDAD TUNDRA

Mfgr and Type : ROBBINS & MYERS 125 HP NEMA D (OLD TYPE)  
Power Required (hp) : 74.48  
Motor Load (% of Rating) : 59.6

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Siguiendo con los resultados, se observa en la sección **\*\*PUMPING UNIT\*\*** en donde observara el literal "Max Load (% of load)", caso tal de que la unidad simulada muestre un valor superior a 100%, este se mostrara en color rojo y se procede a cambiar la unidad por una de mayor capacidad con el fin de suplir las condiciones del pozo para realizar un correcto diseño, pero se debe aclarar que en ninguna simulación este valor supero el 100%, entonces cada unidad es apta para realizar el diseño.

Conjuntamente en esta sección se debe confirmar la potencia requerida en la barra lisa "Polished Rod Power (hp)", de tal manera que la capacidad del motor que se vaya a instalar sea de al menos del doble de este valor para ser seleccionado, si no se dispone de un motor que supla el doble de lo requerido se trabaja con el motor que se seleccionó inicialmente para la simulación.

## UNIDAD CONVENCIONAL

### **\*\* PUMPING UNIT \*\***

Mfgr and Type : MAXIMIZER II 1280-427-192 P13-122-55 CRANKS (C'WISE)  
Actual Max Load (lbs) : 35926      Actual Min Load (lbs) : 3208  
Average Pumping Speed (spm) : 7.93      Max Load (% of Rating) : 84.1

**Polished Rod Power (hp) : 71.19**      Unit and Drive Train Loss : 7.91 (hp)

Computed Surface Stroke : 192.4 (in)

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

## UNIDAD ROTAFLEX

### \*\* PUMPING UNIT \*\*

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
Actual Max Load (lbs) : 33284      Actual Min Load (lbs) : 5403  
Average Pumping Speed : 4.46      **Max Load (% of Rating) : 92.5**  
(spm)  
**Polished Rod Power (hp) : 60.73**      Unit and Drive Train Loss : 6.75 (hp)

Computed Surface Stroke : 291.5 (in)

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

## UNIDAD TUNDRA

### \*\* PUMPING UNIT \*\*

Mfgr and Type : Hydraulic unit  
Actual Max Load (lbs) : 34254      Actual Min Load (lbs) : 5309  
Average Pumping Speed : 4.51      **Max Load (% of Rating) : 85.6**  
(spm)  
**Polished Rod Power (hp) : 60.8**      Computed Surface Stroke (in) : 288

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Se visualiza en los resultados que el criterio de que el motor sea al menos del doble de la potencia en la barra lisa se cumple para la unidad Tundra y para la unidad Rotaflex.

Siguiendo con los resultados, se visualiza en la sección **\*\*SUMMARY OF REDUCER LOADING\*\*** es de gran ayuda para el diseño ya que brinda información del torque máximo y mínimo que experimenta la caja reductora en su funcionamiento, además muestra el porcentaje de uso de la caja reductora, si este valor supera el 100% se denotara en color rojo y es necesario realizar un cambio de unidad por una con mayor capacidad de torque nominal porque puede estar peligrando la estructura, también se debe observar el valor del efecto del contrabalance “Counterbalance Effect (x100 lbs)” que revela el peso que se le deben instalar, que con ayuda de la inspección del manual de la unidad se revisa cuánto pesa la manivela sin pesas, si el valor no supe la información suministrada en la simulación se procede a adicionar las pesas requeridas y por último la información del peso de las contrapesas se encuentra en el manual de la unidad.

Para las unidades Rotaflex se emplea el mismo proceso, se inspecciona el valor de peso requerido en la simulación y se revisa el manual para mirar el peso de la caja de contrapesas que para el modelo 900, el cual está presente en el campo La Cira Infantas, es de 9400lbs, si este peso no es idóneo se deben adicionar contrapesas para completar el valor requerido.

Además, cabe aclarar que estos resultados solo están presentes en las simulaciones con unidades convencionales y Rotaflex, las cuales cuenta con caja reductora en su estructura, la unidad Tundra al ser hidráulica no cuenta con caja reductora.

## UNIDAD CONVENCIONAL

### \*\* SUMMARY OF REDUCER LOADING \*\*

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	1368.1
Min Torque (m in-lbs)	-27.3
Counterbalance Moment (m in-lbs)	1925.2
Counterbalance Effect (X100 lbs)	223.88
Percent of Reducer Rating	106.9

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

## UNIDAD ROTAFLEX

### \*\* SUMMARY OF REDUCER LOADING \*\*

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	247.9
Min Torque (m in-lbs)	-6.8
Counterbalance Moment (lbs)	19374
Percent of Reducer Rating	77.5

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

## UNIDAD TUNDRA.

### \*\* SUMMARY OF REDUCER LOADING \*\*

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Observando la sección **\*\*ROD LOADING\*\*** para el diseño es de gran interés, ya que muestra primero las cargas a las que está expuesto cada tramo de varillas que se tiene para cada pozo, este valor indica que tanto estrés está soportando cada tramo de varilla y es importante que este valor no supere el 100%, ya que estaría en riesgo la integridad de la sarta de varilla, no obstante, en La Cira Infantas se busca lo posible que las cargas sean menores al 80%.

En el literal “ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING” muestra para la varilla convencional tipo C, K y D la carga porcentual a la que está expuesta y el de la varilla con la que fue simulado el pozo con el fin de comparar.

Además, las varillas continuas no presentan acoples en su cuerpo, son más resistentes a la corrosión y la carga en este tipo de varilla se distribuye de mejor manera por su estructura continua, es por esto que se observa una gran disminución en su carga comparada con las varillas convencionales.

#### UNIDAD CONVENCIONAL

##### **\*\* ROD LOADING \*\***

	<b>Diameter (in)</b>	<b>Length (ft)</b>	<b>Modulus (MM psi)</b>	<b>Fr Coeff</b>	<b>Guides (Counts/rod)</b>	<b>Loading</b>
1)	1.156	1400	29	0.2	N (0)	70
2)	1	3050	29	0.2	N (0)	69
3)	1.625	50	30.5	0.2	N (0)	20
Max Stress (surf.) (psi) : 34135			Min Stress (surf.) (psi) : 3151			

##### **ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING**

<b>Service Factor</b>	<b>Class C,K</b>	<b>Class D</b>	<b>PROROD 970N</b>
1	147	113	62
0.9	166	127	70
0.8	190	146	79
0.7	224	179	91

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Asimismo, cabe aclarar que la simulación de la unidad convencional se escogieron varillas continuas ya que comparadas con las varillas convencionales tienen una disminución considerable de carga, con la clase D muestra una disminución de carga del 44.88% y para las clases C y K una disminución de carga de un 57.83%.

#### UNIDAD ROTAFLEX

#### \*\* ROD LOADING \*\*

	<b>Diameter (in)</b>	<b>Length (ft)</b>	<b>Modulus (MM psi)</b>	<b>Fr Coeff</b>	<b>Guides (Counts/rod)</b>	<b>Loading</b>
1)	1.156	1676	29	0.2	N (0)	61
2)	1	2774	29	0.2	N (0)	60
3)	1.625	50	30.5	0.2	N (0)	20

Max Stress (surf.) (psi) : 31617      Min Stress (surf.) (psi) : 5244

#### **ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING**

<b>Service Factor</b>	<b>Class C,K</b>	<b>Class D</b>	<b>COROD SWR</b>
1	131	100	54
0.9	149	113	61
0.8	174	131	70
0.7	210	156	81

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Igualmente, cabe resaltar que la simulación de la unidad Rotaflex se eligieron varillas continuas ya que confrontadas con las varillas convencionales tienen una merma notable de carga, que comparada con la clase D muestra una disminución de carga de un 46.02% y para las clases C y K una disminución de carga del 59.06%.

UNIDAD TUNDRA

**\*\* ROD LOADING \*\***

	<b>Diameter (in)</b>	<b>Length (ft)</b>	<b>Modulus (MM psi)</b>	<b>Fr Coeff</b>	<b>Guides (Counts/rod)</b>	<b>Loading</b>
1)	1.156	1533	29	0.2	N (0)	63
2)	1	2917	29	0.2	N (0)	63
3)	1.625	50	30.5	0.2	N (0)	20

Max Stress (surf.) (psi) : 32541      Min Stress (surf.) (psi):5153 : 5153

**ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING**

<b>Service Factor</b>	<b>Class C,K</b>	<b>Class D</b>	<b>COROD SWR</b>
1	135	103	56
0.9	155	117	63
0.8	181	136	72
0.7	217	161	84

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

Por último, cabe explicar que la simulación de la unidad Tundra se seleccionaron varillas continuas ya que contrastadas con las varillas convencionales tienen una reducción importante de carga, que comparada con la clase D muestra una disminución de carga de un 46.2% y para las clases C y K una disminución de carga del 59.4%.

Para finalizar el proceso del diseño con apoyo del software SROD se observa en la parte de resultados el literal **\*\* AXIAL LOAD – BUCKLING TENDENCY\*\*** en donde se analizarán la tendencia de buckling y las cargas laterales en la varilla.

En las cargas laterales “SIDE LOAD” de la varilla se analiza la máxima carga que la sarta de varilla experimenta, para cargas superiores a 100 lbs/varilla se recomienda usar centralizadores, si la carga es mayor a 400 lbs/varilla se recomienda cambiar la unidad convencional a una Rotaflex o Tundra ya que por su largo recorrido y baja

velocidad prolonga considerablemente la vida útil de la varilla, pero si este valor supera las 600 lbs/varilla ya es recomendable cambiar a un sistema de bombeo electrosumergible (BES), siempre y cuando la severidad del dogleg del pozo sea mayor a 6 °/100 ft, ya que se considera que con esta condición el funcionamiento de la sarta de varilla estaría trabajando exageradamente sobrecargada y sus fallas serían recurrentes.

En la tendencia de pandeo “Buckling Tendency” se detalla el máximo valor de pandeo y la profundidad donde se alcanzará este efecto, en teoría este valor no debe exceder 200 lbs pero, para La Cira Infantas se han tenido valores mayores a 200 lbs las cuales han generado fallas en la sarta de varilla por efecto de la compresión, es por este motivo que se usan barra de peso en el fondo para evitar la falla anteriormente nombrada.

### **3.2 RESULTADOS OBTENIDOS SIMULADOS EN EL POZO 4**

El software arroja los siguientes resultados:

Tipo de motor (hp), SPM, carga del motor, carga sobre las unidades, diámetro de las varillas, longitud de las varillas y carga sobre las varillas que son evidenciados en el ANEXO B.

Después de simulados los casos, los reportes de los resultados se crean en **Quick View Pane** en la pestaña de **Reports**.

### **RESULTADOS DE SIMULACIÓN CON UNIDAD CONVENCIONAL**

El software arroja los siguientes resultados:

En el encabezado se registran los datos ingresados en la pestaña **Well Info**.



BHGE  
Lufkin Industries LLC  
T + 1 281 495 1100 (Automation)  
www.bhge.com

### SROD v8.1.1000 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL : CIRA4 DATE/TIME : 7/2/2018 7:54:00 AM  
NAME  
ANALYST : JAP  
DATA FILE : 4 DEC 2017.inp6e (BASE WELL : Deviated  
CASE) TYPE  
COMMENTS : FALLA TUBERIA

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En la sección **\*\*PRIME MOVER\*\***, menciona el desempeño del motor, en esta parte, como en las otras, todo resultado que se registre en rojo corresponde a valores que ponen en riesgo la operación ya que los excede, los datos en esta sección son los siguientes: **Mfgr and Type**: Indica el modelo del motor con el que se realizó la simulación, **Speed Variation (%)**: Indica la máxima variación que produce el motor en el ciclo de bombeo, **Cyclic Load Factor**: Resultado de la división entre la media cuadrática y la media aritmética de la carga del torque en el ciclo de bombeo, a mayor sea este valor, de más potencia será el motor, además este valor se puede optimizar con un adecuado balanceo de la unidad, **Power Required**: Es la potencia requerida en el motor y es de gran ayuda para seleccionar el motor, **Shave Ratio (Unit / Prime Mover)**: Es la relación de transmisión entre la polea del motor y la polea de la caja reductora de la unidad, el cual se calcula teniendo en cuenta el motor ingresado, normalmente los motores calculados son de 60 Hz, **Motor Load (% of Rating)**: indica el nivel de carga porcentual que se le aplicara, comparando la potencia requerida con la potencia nominal del motor.

En esta sección, la potencia mínima necesitada por el motor “**Power Required (HP)**” es de 95.04 HP, lo cual satisface el criterio de selección del tamaño del motor escogido para la unidad de 100 HP marca G.E.

**\*\* PRIME MOVER \*\***

Mfgr and Type	: G.E. 100 HP KOF		
Max Speed (rpm)	: 1202	Speed Variation (%)	: 15.2
Min Speed (rpm)	: 1020	Cyclic Load Factor	: 1.202
Power Required (hp)	: 95.04	Peak Regenerative Power (hp)	: -2.79
Motor Load (% of Rating)	: 95	Prime Mover Output (hp)	: 79.1
Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover)	: 5.054		

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En la sección **\*\*PUMPING UNIT\*\***, indica el desempeño de la unidad de bombeo, excluyendo la caja reductora y los datos en el reporte son los siguientes: **Mfgr and Type**: indica la unidad de bombeo utilizada, incluyendo las observaciones, **Actual Max Load**: es la carga máxima en superficie, se obtiene del dinagrama de superficie, **Min Load**: es la carga mínima en superficie, se obtiene del dinagrama de superficie, **Pumping Speed**: es la velocidad de bombeo en Strokes Por Minuto (SPM), **Max Load (% Of Rating)**: se obtiene de comparar la carga máxima calculada con la nominal del diseño API de la unidad. Se indica como el porcentaje acorde a la carga nominal de la unidad (---00 libras por tratarse de una unidad ---), **Polish Rod Power**: es la potencia calculada en la barra lisa, esto es en función del área del dinagrama en superficie y la velocidad de bombeo y por último **Computed Surface Stroke**: es la carrera actual en superficie.

En esta sección se visualiza que el porcentaje que experimenta la unidad en términos de carga porcentual para la cual fue diseñada y se tiene que la máxima carga “**Max Load (% of Rating)**” que experimentara en su funcionamiento es del

84.1%, lo cual indica que la unidad de bombeo mecánico convencional se encuentra estable dado que este porcentaje no supera el 100%.

**\*\* PUMPING UNIT \*\***

Mfgr and Type	: MAXIMIZER II 1280-427-192 P13-122-55 CRANKS (C'WISE)		
Actual Max Load (lbs)	: 35926	Actual Min Load (lbs)	: 3208
Average Pumping Speed (spm)	: 7.93	Max Load (% of Rating)	: 84.1
Polished Rod Power (hp)	: 71.19	Unit and Drive Train Loss (hp)	: 7.91
Computed Surface Stroke (in)	: 192.4		

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En la sección **\*\*SUMMARY OF REDUCER LOADING\*\***, indica el desempeño de la caja reductora de la unidad de bombeo. Los datos que arroja son: **Max Torque**: es el torque máximo neto que recibirá el reductor durante el ciclo de bombeo, **Min Torque**: es el torque mínimo que recibirá el reductor durante el ciclo de bombeo, caso tal que indique un valor negativo tendrá efectos de regeneración que es cuando se transmite potencia desde la caja reductora al motor, **Counterbalance Moment**: es el momento del contrabalanceo, se calcula partiendo del torque máximo de las manivelas y los contrapesos, este valor es el que se usa en el software CBAL para la adecuada ubicación de los contrapesos o se requieren de las tablas del fabricante, **Counterbalance Effect**: es el efecto de contrapeso, el cual se mide como carga en la barra lisa cuando las contrapesas están en posición donde más experimenten torque y por ultimo esta **Percent Of Reducer Rating**: el cual parte de comparar el torque máximo con el nominal de la unidad (en este caso 1280000 Libras/pulgadas), el cual se muestra como porcentaje del torque nominal.

En esta sección se evidencia que el máximo porcentaje de carga que está experimentando la caja reductora “**Percent of Reducer Rating**” es del 106.9%, lo cual muestra que la unidad se encuentra sobrecargada ya que el valor excede el 100%.

**\*\* SUMMARY OF REDUCER LOADING \*\***

	<u><b>IN BALANCE</b></u>
Max Torque (m in-lbs)	1368.1
Min Torque (m in-lbs)	-27.3
Counterbalance Moment (m in-lbs)	1925.2
Counterbalance Effect (X100 lbs)	223.88
Percent of Reducer Rating	<b>106.9</b>

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

La sección **\*\*ROD LOADING\*\*** analiza el tramo de varillas con diferentes factores de servicio dependiendo de la utilidad que se ha tenido en esta, es decir, si es nueva su factor de servicio es igual a uno o si es usada su factor de servicio menor a uno y si es propensa a presentar problemas por daño o rompimiento de la varilla debido a una sobrecarga cuando dichos valores exceden el 100%.

En esta sección se muestra que los factores de servicio igual a 1, 0.9, 0.8 y 0.7 de la varilla COROD SWR presentan una carga de 62%, 70%, 79% y 91% respectivamente, la cual muestra que dicho tipo de varilla con esos factores de servicio no presenta sobrecarga, dado que no supera el 100%.

**\*\* ROD LOADING \*\***

	<u>Diameter</u> <u>(in)</u>	<u>Length</u> <u>(ft)</u>	<u>Modulus</u> <u>(MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides</u> <u>(Counts/rod)</u>	<u>Loading</u>
1)	1.156	1400	29	0.2	N (0)	70
2)	1	3050	29	0.2	N (0)	69
3)	1.625	50	30.5	0.2	N (0)	20

Max Stress (surf.) (psi) : 34135      Min Stress (surf.) (psi) : 3151

**ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING**

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>PROROD 970N</u>
1	147	113	62
0.9	166	127	70
0.8	190	146	79
0.7	224	179	91

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

La sección **\*\*DOWNHOLE PERFORMANCE\*\*** nos da un estimado de la producción bruta y neta, comparando una eficiencia de la bomba del 100% y la eficiencia introducida en el recuadro **Pump Efficiency (%)** de la pestaña **Pump/Tubing**, que indicará: **Lost Displacement**: registra las perdidas por escurrimiento en las horas que funciona la unidad al día, **Loss Along Rod String**: el cual corresponde a la disminución de potencia por fricción en la varilla de bombeo, **Pump Power**: es la potencia desarrollada en la bomba, es función del área del dinagrama de la bomba y la velocidad de bombeo.

**\*\* DOWNHOLE PERFORMANCE \*\***

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross :	172.9	1213 (24h/d)	970 (24h/d)
Net :	167.6	1177 (24h/d)	942 (24h/d)
Tubing Stretch (in) :	5.3	Lost Displacement (bpd) :	37
Loss Along Rod String (hp) :	24.22	Pump Power (hp) :	32.65

Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 100

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

La sección **\*\*Non-Dimensional Variables\*\*** se observan dos variables adimensionales, **Fo/S/Kr** correspondiente a la elongación adimensional de las varillas causada por la aplicación de cargas de fluido estáticas como un porcentaje del recorrido de la barra pulida. Y **N/No'** que es la relación de la velocidad de bombeo a la frecuencia natural de la sarta de varillas de diferentes diámetros. Para el caso en donde la relación que existe entre esas variables sea igual a 1, significa que el recorrido o embolada de la bomba es igual a la de superficie para esta unidad y para el caso donde la relación que existe entre estas variables es menor a 1, significa que existe un viaje menor en la bomba debido a la elongación de las varillas.

En esta sección se evidencia que la relación de las dos variables **Fo/S/Kr y N/No'** es menor a 1, lo que representa que existe un viaje menor en la bomba por acción de la elongación de la sarta de varillas.

**\*\* Non-Dimensional Variables \*\***

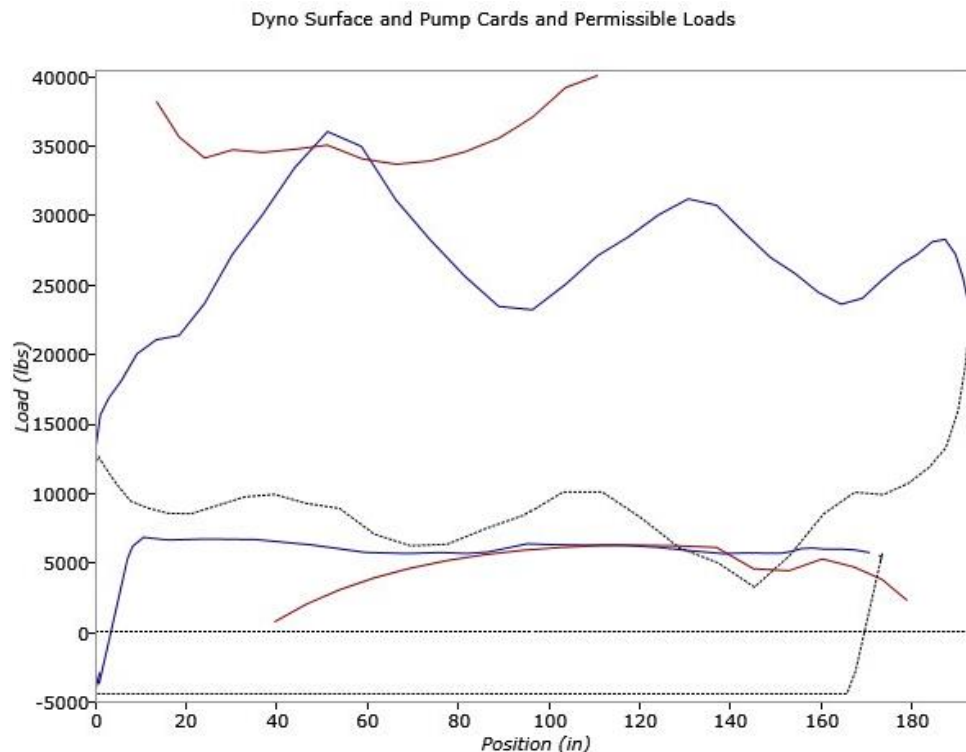
Fo/S/Kr	: 0.11	N/No'	: 0.14
---------	--------	-------	--------

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

La sección **\*\*DYNO GRAPH\*\*** muestra la carta dinamométrica del pozo que pertenece a las condiciones de operación de la unidad y permite detectar problemas en el pozo.

En la **Figura 31** muestra un dinagrama de fondo normal, con llenado de bomba normal con líquido, sin presencia de gas y no presenta ancla en la tubería, por esta última razón el dinagrama de fondo presenta una leve inclinación hacia la derecha.

**Figura 31. Carta dinamométrica de la unidad Maximizer II.**



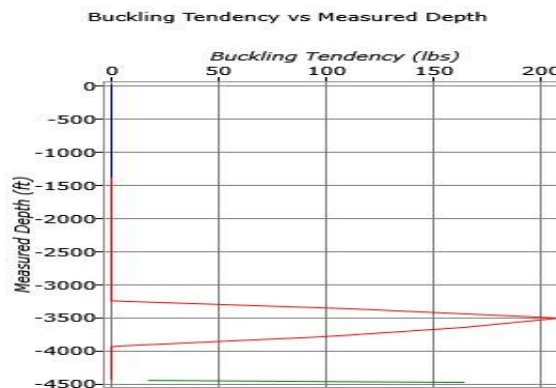
Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

La sección **\*\*AXIAL LOAD- BUCKLING TENDENCY\*\*** se observa que la tendencia a formarse del efecto buckling con respecto a la profundidad, el cual indica en qué

punto del pozo este efecto es más fuerte y es ahí donde la posibilidad de que se presenten fallas por pandeo aumenta considerablemente.

En la **Figura 32** se observa que el efecto buckling está presente desde 3263 ft hasta 3518 ft de profundidad del pozo con un esfuerzo máximo de 208 Lbs y retorna nuevamente a cero en casi 4000 ft el cual no genera un impacto considerable en EL procedimiento.

**Figura 32. Tendencia de efecto Buckling en unidad Maximizer II.**

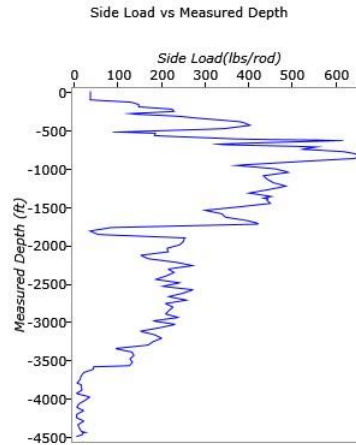


Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

La sección **\*\*SIDE/DRAG LOAD\*\*** muestra la carga lateral a la que está expuesta la sarta de varilla a lo largo de la profundidad.

Esta sección en la **Figura 33** muestra que entre 500 ft y casi 2000 ft de profundidad las cargas laterales que experimenta la varilla aumentan considerablemente mostrando su máxima carga de 658 Lbs/Rod ya que en este punto es donde la severidad del dogleg es de 5.01°/100ft en 832 ft de profundidad.

**Figura 33.Cargas laterales Unidad Maximizer II.**



Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

**RESULTADOS DE SIMULACIÓN CON UNIDAD ROTAFLEX.**

En esta sección, la potencia mínima necesitada por el motor **“Power Required (HP)”** es de 74.48 HP, lo cual satisface el criterio de selección del tamaño del motor escogido para la unidad de 125 HP marca ROBBINS & MYERS.

**\*\* PRIME MOVER \*\***

Mfgr and Type	: ROBBINS & MYERS 125 HP NEMA D (OLD TYPE)
Max Speed (rpm)	: 1201      Speed Variation (%) : 4.9
Min Speed (rpm)	: 1143      Cyclic Load Factor : 1.082
Power Required (hp)	: 74.48      Peak Regenerative Power : -3.32 (hp)
Motor Load (% of Rating)	: 59.6      Prime Mover Output (hp) : 67.47
Sheave Ratio (Unit/Prime Mover)	: 1.523

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia

En esta sección se visualiza que el porcentaje que experimenta la unidad en términos de carga porcentual para la cual fue diseñada y se tiene que la máxima carga “**Max Load (% of Rating)**” que experimentara en su funcionamiento es del 84.1%, lo cual indica que la unidad de bombeo mecánico convencional se encuentra estable dado que este porcentaje no supera el 100%.

**\*\* PUMPING UNIT \*\***

<b>Mfgr and Type</b>	:		<b>ROTAFLEX RH900-360-288</b>
Actual Max Load (lbs)	:	33284	Actual Min Load (lbs) : 5403
Average Pumping Speed (spm)	:	4.46	Max Load (% of Rating) : 92.5
Polished Rod Power (hp)	:	60.73	Unit and Drive Train Loss : 6.75 (hp)
Computed Surface Stroke (in)	:	291.5	

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En esta sección se evidencia que el máximo porcentaje de carga que está experimentando la caja reductora “**Percent of Reducer Rating**” es del 77.5%, lo cual muestra que la unidad no se encuentra sobrecargada ya que el valor no excede el 100% e indica un buen funcionamiento de la caja reductora.

**\*\* SUMMARY OF REDUCER LOADING \*\***

	<b><u>IN BALANCE</u></b>
Max Torque (m in-lbs)	247.9
Min Torque (m in-lbs)	-6.8
Counterbalance Moment (lbs)	19374
Percent of Reducer Rating	77.5

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En esta sección se muestra que los factores de servicio igual a 1, 0.9, 0.8 y 0.7 de la varilla COROD SWR presentan una carga de 54%, 61%, 70% y 81% respectivamente, la cual muestra que dicho tipo de varilla con esos factores de servicio no presenta sobrecarga, dado que no supera el 100

**\*\* ROD LOADING \*\***

	<u>Diameter</u> <u>(in)</u>	<u>Length</u> <u>(ft)</u>	<u>Modulus</u> <u>(MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides</u> <u>(Counts/rod)</u>	<u>Loading</u>
1)	1.156	1676	29	0.2	N (0)	61
2)	1	2774	29	0.2	N (0)	60
3)	1.625	50	30.5	0.2	N (0)	20

Max Stress (surf.) (psi) : 31617      Min Stress (surf.) (psi) : 5244

***ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING***

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>COROD SWR</u>
1	131	100	54
0.9	149	113	61
0.8	174	131	70
0.7	210	156	81

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

**\*\* DOWNHOLE PERFORMANCE \*\***

	<u>Stroke</u> <u>(in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross :	271.3	882 (24h/d)	706 (24h/d)
Net :	264.7	860 (24h/d)	688 (24h/d)
Tubing Stretch (in) :	7	Lost Displacement (bpd)	: 23
Loss Along Rod String (hp) :	29.71	Pump Power (hp)	: 31.02
Tubing Size (in) :	3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in) :	N/A	Pump Fillage (%)	: 100

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En esta sección se evidencia que la relación de las dos variables **Fo/S/Kr** y **N/No'** es casi 1, lo que representa que existe un viaje de la bomba en fondo es casi igual que el recorrido en superficie.

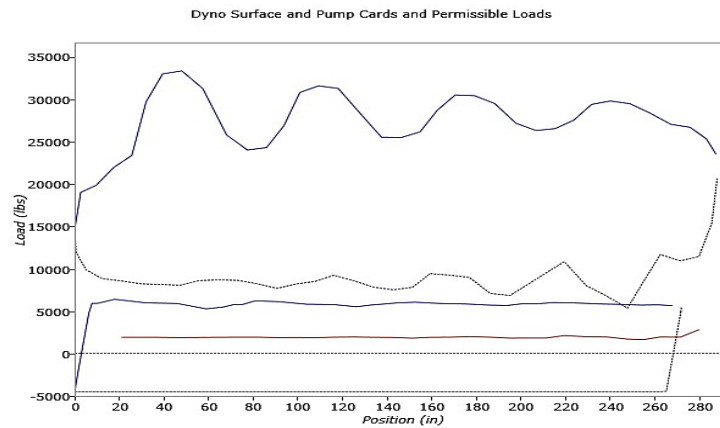
**\*\* Non-Dimensional Variables \*\***

Fo/S/Kr : 0.07 N/No' : 0.08

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En la **Figura 34** muestra un dinagrama de fondo normal, con llenado de bomba normal con líquido, sin presencia de gas y no presenta ancla en la tubería, por esta última razón el dinagrama de fondo presenta una leve inclinación hacia la derecha.

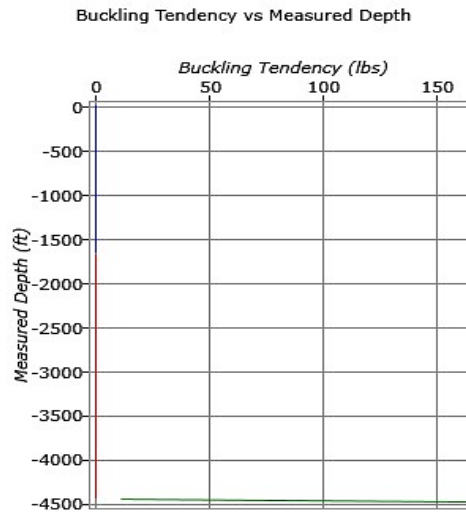
**Figura 34. Carta dinamométrica de la unidad Rotaflex 900.**



Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En la **Figura 35** se observa que el efecto buckling no está presente en la estructura del pozo

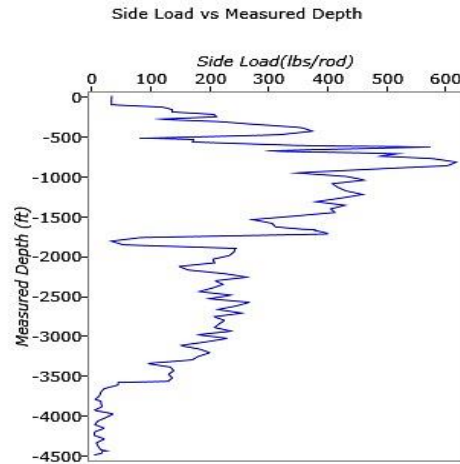
**Figura 35. Tendencia de efecto Buckling en unidad Rotaflex 900.**



Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En la **Figura 36** muestra que entre 250 ft y casi 2000 ft de profundidad las cargas laterales que experimenta la varilla aumentan considerablemente mostrando su máxima carga de 617 Lbs/Rod ya que en este punto es donde la severidad del dogleg es de  $5.01^\circ/100\text{ft}$  en 832 ft de profundidad.

**Figura 36. Cargas laterales Unidad Rotaflex 900.**



Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

## **RESULTADOS DE SIMULACIÓN CON UNIDAD TUNDRA.**

En esta sección, la potencia mínima necesitada por el motor “**Power Required (HP)**” es de 74.48 HP, lo cual satisface el criterio de selección del tamaño del motor escogido para la unidad de 125 HP marca ROBBINS & MYERS.

### **\*\* PRIME MOVER \*\***

Mfgr and Type : ROBBINS & MYERS 125 HP NEMA D (OLD TYPE)  
Power Required (hp) : 74.48  
Motor Load (% of Rating) : 59.6

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En esta sección se visualiza que el porcentaje que experimenta la unidad en términos de carga porcentual para la cual fue diseñada y se tiene que la máxima carga “**Max Load (% of Rating)**” que experimentara en su funcionamiento es del

85.6%, lo cual indica que la unidad de bombeo mecánico convencional se encuentra estable dado que este porcentaje no supera el 100%.

**\*\* PUMPING UNIT \*\***

Mfgr and Type	: Hydraulic unit		
Actual Max Load (lbs)	: 34254	Actual Min Load (lbs)	: 5309
Average Pumping Speed (spm)	: 4.51	Max Load (% of Rating)	: 85.6
Polished Rod Power (hp)	: 60.8	Computed Surface Stroke (in)	: 288

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En esta sección se evidencia que no hay ningún dato ya que la unidad TUNDRA no tiene caja reductora.

**\*\* SUMMARY OF REDUCER LOADING \*\***

-----

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En esta sección se muestra que los factores de servicio igual a 1, 0.9, 0.8 y 0.7 de la varilla COROD SWR presentan una carga de 56%, 63%, 70% y 81% respectivamente, la cual muestra que dicho tipo de varilla con esos factores de servicio no presenta sobrecarga, dado que no supera el 100%.

**\*\* ROD LOADING \*\***

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides (Counts/rod)</u>	<u>Loading</u>
1)	1.156	1533	29	0.2	N (0)	63
2)	1	2917	29	0.2	N (0)	63
3)	1.625	50	30.5	0.2	N (0)	20

Max Stress (surf.) (psi) : 32541      Min Stress (surf.) (psi):5153      : 5153

***ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING***

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>COROD SWR</u>
1	135	103	56
0.9	155	117	63
0.8	181	136	72
0.7	217	161	84

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

**\*\* DOWNHOLE PERFORMANCE \*\***

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross :	271.3	882 (24h/d)	706 (24h/d)
Net :	264.7	860 (24h/d)	688 (24h/d)
Tubing Stretch (in) : 7		Lost Displacement (bpd)	: 23
Loss Along Rod String (hp) : 29.71		Pump Power (hp)	: 31.02
Tubing Size (in) : 3.5		Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in) : N/A		Pump Fillage (%)	: 100

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En esta sección se evidencia que la relación de las dos variables **Fo/S/Kr** y **N/No'** es 1, lo que representa que existe un viaje de la bomba en fondo es igual que el recorrido en superficie.

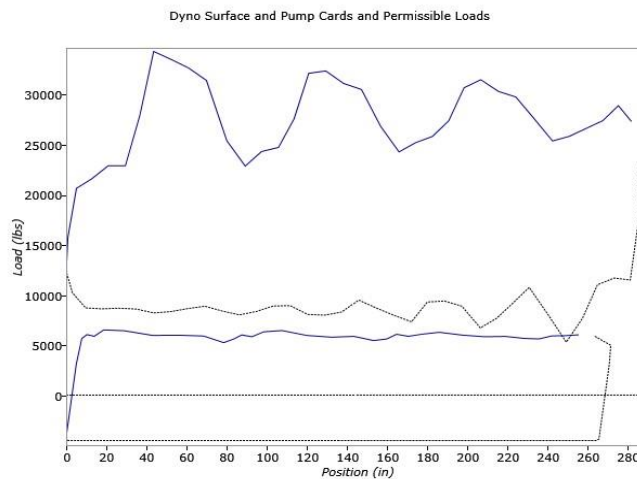
**\*\* Non-Dimensional Variables \*\***

Fo/S/Kr : 0.08                      N/No' : 0.08

Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En la **Figura 37** muestra un dinagrama de fondo normal, con llenado de bomba normal con líquido, sin presencia de gas y no presenta ancla en la tubería, por esta última razón el dinagrama de fondo presenta una leve inclinación hacia la derecha.

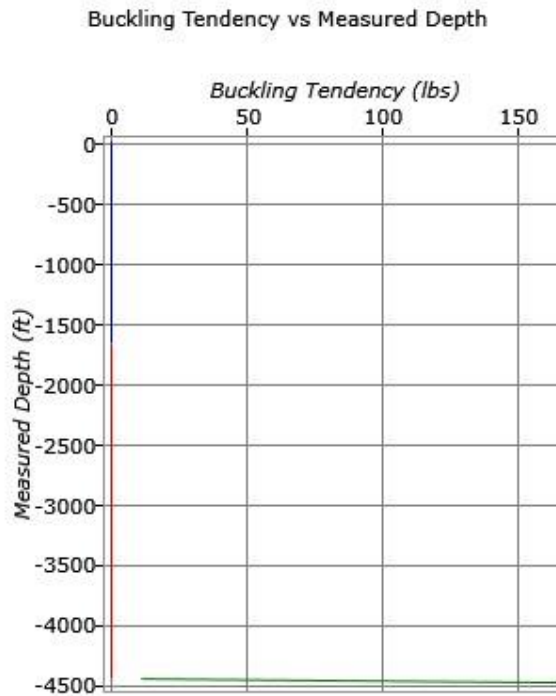
**Figura 37. Carta dinamométrica de la unidad Tundra 400.**



Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En la **Figura 38** se observa que el efecto buckling no se genera en la estructura del pozo.

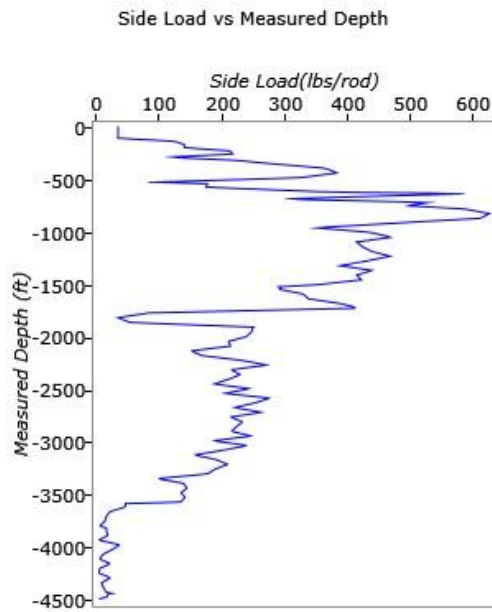
**Figura 38. Tendencia de efecto Buckling en unidad Tundra 400.**



Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

En la **Figura 39** muestra que entre 250 ft y casi 2000 ft de profundidad las cargas laterales que experimenta la varilla aumentan considerablemente mostrando su máxima carga de 625 Lbs/Rod ya que en este punto es donde la severidad del dogleg es de 5.01°/100ft en 832 ft de profundidad.

**Figura 39. Cargas laterales Unidad Tundra 400.**



Fuente: Resultados Simulación Software SROD, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

## 4. ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

### 4.1 ANÁLISIS TÉCNICO

En el campo La Cira Infantas se utilizan en gran proporción los sistemas de bombeo mecánico Convencionales como se ha venido mencionando. Para realizar este análisis se tendrán en cuenta los pozos piloto representativos en los que se realizó cambio de unidad para controlar las fallas por rozamiento.

**4.1.1 Cambio de la unidad de bombeo mecánico convencional a unidad de bombeo mecánico no convencional** Las fallas por rozamiento se presentan considerablemente en el campo La Cira Infantas es por ello que se deben tomar las medidas necesarias para contrarrestar esta problemática.

Se debe considerar que las unidades Convencionales operan hasta 8 SPM, generando velocidades considerables en la sarta de varillas que accionan la bomba, acelerando así el desgaste por rozamiento en el trabajo de extracción máxima de cada pozo. Las unidades de largo recorrido como la Rotaflex y la Tundra ofrecen 4,5 SPM junto a recorridos mayores y velocidades inferiores comparada con las unidades Convencionales.

En las Tablas 16, 17 y 18 registran la carga porcentual que experimenta cada sarta de varilla acorde a su diámetro simulado en cada unidad de bombeo objeto de estudio, indicando de esta manera la carga porcentual de la sarta de varilla expuesta. Dicho porcentaje significa la fracción de utilidad expuesta de la varilla, es decir: Si la varilla está propensa a presentar problemas por daño o rompimiento cuando el porcentaje supera el 100% o que se encuentre muy cerca a este valor

asumiendo así, que si la sarta se encuentra trabajando sin un factor de seguridad por lo menos que pueda garantizar el buen funcionamiento del sistema.

En la Tabla 20 se registra las variables consideradas que se presentan en operación para las tres unidades, con ello se visualiza variaciones como disminución de Strokes anuales, que podría llevar a un aumento significativo del runlife de cada pozo al realizar el cambio a una unidad de bombeo mecánico de largo recorrido a fin de visualizar que estas unidades ofrecen un mejor escenario de protección a la integridad de la sarta de varillas.

Los resultados obtenidos por medio de la simulación de las unidades de superficie se encuentran documentados en las Tablas 16, 17 y 18 registrando datos de:

- **Potencia requerida de motor:** Es la potencia mínima que requiere el motor para el correcto funcionamiento de la unidad de bombeo mecánico.
- **Carga de la unidad:** Se denota como el porcentaje que se está usando de la carga total para la que se encuentra diseñada la unidad, si este porcentaje está muy cerca o por encima del 100%, está peligrando el correcto uso de la unidad.
- **Carga de la caja:** Hace referencia al porcentaje al que está siendo sometida la caja reductora para la cual fue diseñada, si este porcentaje se encuentra cercano al 100% o lo sobrepasa, corre el peligro de que la caja reductora presente daños en su estructura.
- **Velocidad (SPM):** Hace referencia los Strokes por minuto con el que se realizaron las simulaciones de cada unidad.
- **BFPD:** Se refiere a la cantidad de barriles de fluido producido al día que se esperan para cada simulación con distinta unidad.

- **Buckling o Esfuerzo de pandeo:** Fuerza con la que la varilla hace fricción con la tubería de producción y produce desgaste de los elementos anteriormente nombrados.
- **Cargas Laterales:** También conocidas como cargas axiales, la cual muestra la fuerza que está experimentando a lo largo del eje de la sarta de varilla, que se expresa como un esfuerzo de tensión o compresión, el cual puede resultar del estado mecánico del pozo o por operaciones que se realicen al pozo.
- **Pozo CIRA 4**

Pozo perforado y completado con bombeo mecánico.

Presento una falla asociada a fluidos corrosivos en el mes de abril del año 2017 con presencia de varilla continua PROROD 960M, genera un runlife de 77 días. Hacia el mes de octubre del mismo año presentó falla considerada por desviación, lo cual generó ausencia de flujo en superficie, por esta razón se procede a realizar un cambio de la varilla por PROROD 970N aumentando el runlife de 77 a 174 días. Luego en el mes diciembre del mismo año el pozo volvió a presentar falla por desviación afectando la integridad de la tubería por lo que se decide cambiar la varilla por COROD SWR sin embargo esta acción tomada afectó el runlife de 174 a 81 días con una producción de 56,6 BPPD.

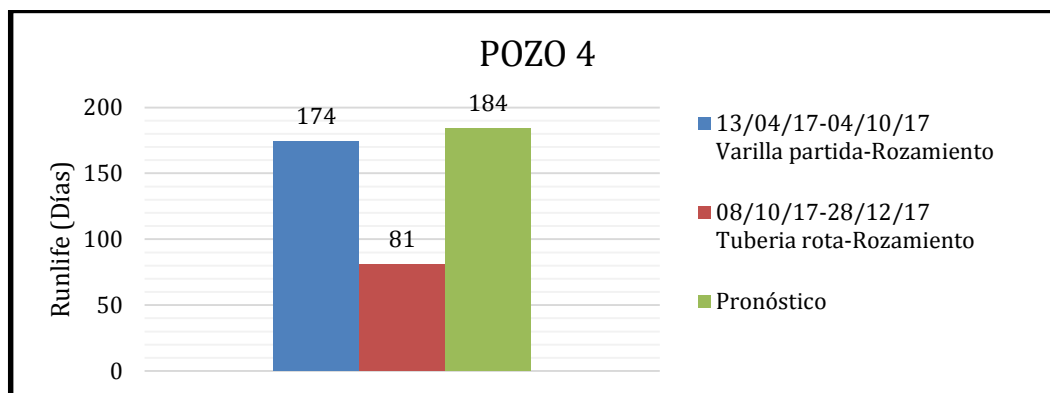
Las recurrencias enunciadas motivan a realizar el cambio del sistema de bombeo mecánico actual por una unidad Rotaflex o por una unidad Tundra, con la expectativa de un aumento del runlife de 184 días reflejada en la disminución de la carga en la varilla registrada en la tabla (**TABLA 16**). Además, registra disminución de 8 a 4,5 SPM en las dos unidades de bombeo mecánico lo cual genera un mejor llenado de la bomba.

Partiendo del supuesto que las unidades trabajan los 365 días del año, se estima que el sistema de bombeo Convencional con 8 SPM acumulará 4.204.800 SPA (Strokes por año), el sistema Rotaflex y Tundra con 4,5 SPM acumularán 2.365.200 SPA, de esta forma se registra una disminución de Strokes de las unidades del 44% extendiendo la vida útil de la tubería y/o varilla. (Ver **TABLA 20**)

**Tabla 16. Resultados simulados de las unidades de superficie a condiciones de operación en el simulador Srod**

UNIDAD	Potencia requerida motor (hp)	Carga de la unidad (%)	Carga de la caja (%)	Velocidad (SPM)	BFPD	Buckling (lbs)	Carga de la varilla (%)	Cargas Laterales (lbs)	Diámetro varilla		
									1,156	1	2
MAX II 1280-427-192	95,04	84,1	106,9	8	459	208	70	658	70	69	20
ROTAFLEX RH900 320-360-288	74,48	92,5	77,5	4,5	459	200	61	617	61	60	20
TUNDRA 400-125-288	121,6	85,6	-	4,5	459	200	63	625	63	63	20

#### Esquema 4. Runlife pozo 4



Fuente: Archivo Reporte General 2018, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

- **POZO 6**

Pozo perforado y completado con bombeo mecánico.

Presento una falla por desviación en el cuerpo de la varilla en el mes de junio del año 2016 con presencia de varilla continua PROROD 960M, genera un runlife de 293 días. Hacia el mes de junio del siguiente año presento la misma falla, con pérdida de producción, por esta razón se procede a realizar un cambio de la varilla por N97 aumentando el runlife de 293 a 347 días. Luego en el mes octubre del mismo año el pozo falla de nuevo considerada por la desviación afectando la integridad de la tubería, se continúa empleando la varilla N97 sin embargo, esta acción tomada afectó el runlife de 347 a 117 días con una producción de 77,05 BPPD.

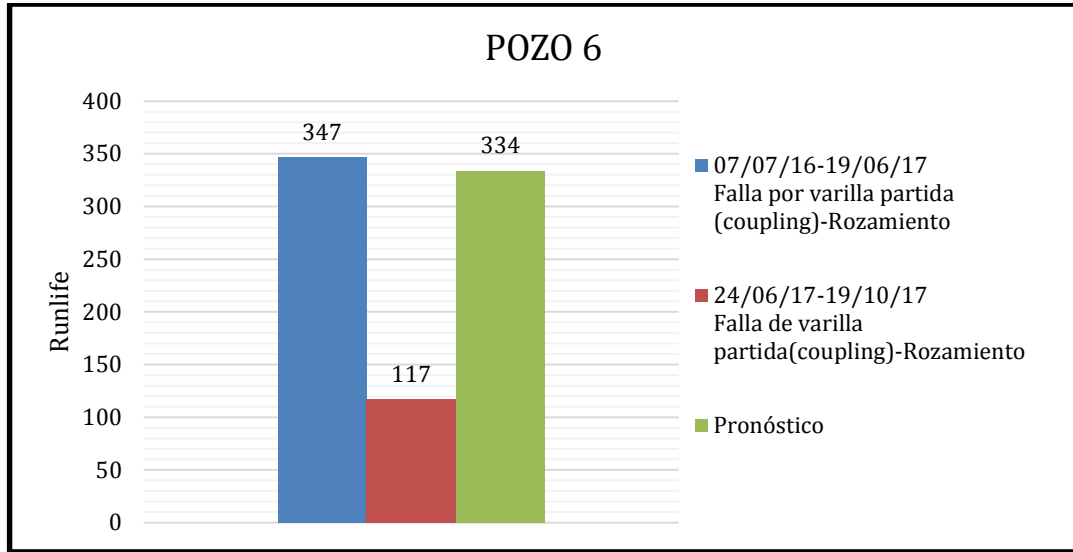
Las recurrencias enunciadas motivan a realizar el cambio del sistema de bombeo mecánico actual por una unidad Rotaflex o por una unidad Tundra, con la expectativa de un aumento del runlife de 334 días reflejada en la disminución de la carga en la varilla registrada en la tabla (**TABLA 17**). Además, registra disminución de 8 a 4,5 SPM en las dos unidades de bombeo mecánico lo cual genera un mejor llenado de la bomba.

Partiendo del supuesto que las unidades trabajan los 365 días del año, se estima que el sistema de bombeo Convencional con 8 SPM acumulará 4.204.800 SPA (Strokes por año), el sistema Rotaflex y Tundra con 4,5 SPM acumularán 2.365.200 SPA, de esta forma se registra una disminución de Strokes de las unidades del 44% extendiendo la vida útil de la tubería y/o varilla. (Ver **TABLA 20**)

**Tabla 17. Resultados simulación de unidades de superficie a condiciones de operación en simulador Srod**

UNIDAD	Potencia requerida motor (hp)	Carga de la unidad (%)	Carga de la caja (%)	Velocidad (SPM)	BFPD	Buckling (lbs)	Carga de la varilla (%)	Cargas Laterales (lbs)	Diámetro varilla	
									1	2
M II 912-427-192	70,76	60	91,8	8	1310	204	69	402	69	12
ROTAFLEX RH900 320-360-288	57,49	68,1	56,4	4,5	1310	200	60	384	60	12
TUNDRA 400-125-288	89,87	61,7	-	4,5	1310	200	61	387	61	12

### Esquema 5. Runlife pozo 6



Fuente: Archivo Reporte General 2018, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

- **POZO 3**

Pozo perforado y completado con bombeo mecánico.

Presento una falla por desviación en el cuerpo de la varilla en el mes de enero del año 2018 con presencia de varilla Convencional N97, genera un runlife de 156 días. Hacia el mes de abril del mismo año se presenta otra falla por la misma causa generando perdida de producción, motivando a realizar el cambio de varilla Convencional a varilla continua PROROD 970N no obstante, esta acción afectó el runlife de 156 a 86 días con una producción de 115,62 BPPD.

Las recurrencias enunciadas motivan a realizar el cambio del sistema de bombeo mecánico actual por una unidad Rotaflex o por una unidad Tundra, con la expectativa de un aumento del runlife de 174 días reflejada en la disminución de la carga en la varilla registrada en la tabla (**TABLA 18**). Además, registra

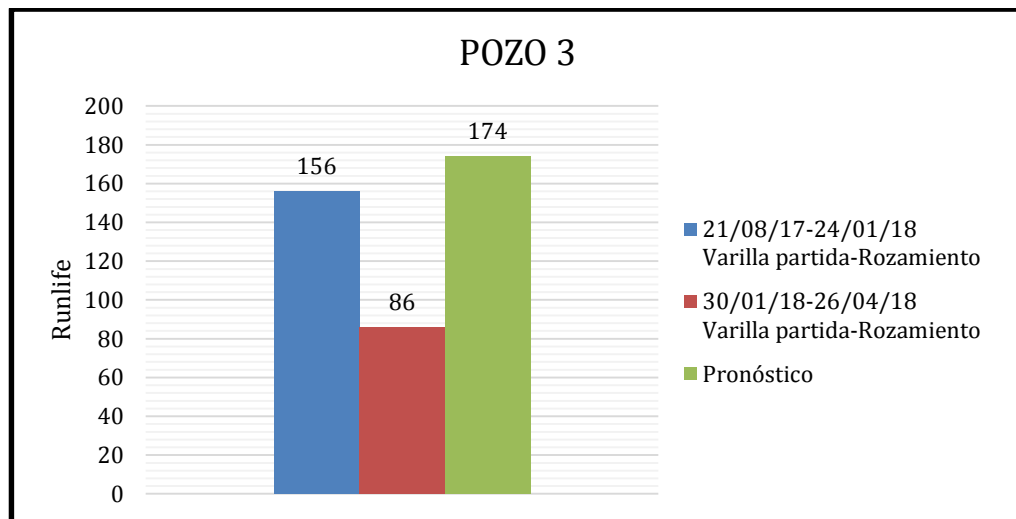
disminución de 8 a 4,5 SPM en las dos unidades de bombeo mecánico lo cual genera un mejor llenado de la bomba.

Partiendo del supuesto que las unidades trabajan los 365 días del año, se estima que el sistema de bombeo Convencional con 8 SPM acumulará 4.204.800 SPA (Strokes por año), el sistema Rotaflex y Tundra con 4,5 SPM acumularán 2.365.200 SPA, de esta forma se registra una disminución de Strokes de las unidades del 44% extendiendo la vida útil de la tubería y/o varilla. (Ver **TABLA 20**)

**Tabla 18. Resultados simulación de unidades de superficie a condiciones de operación en simulador Srod**

UNIDAD	Potencia requerida motor (hp)	Carga de la unidad (%)	Carga de la caja (%)	Velocidad (SPM)	BFPD	Buckling (lbs)	Carga de la varilla (%)	Cargas Laterales (lbs)	Diámetro varilla	
									1	1,625
MAX II 1280-427-192	76,44	67	96,5	8	1050	199	78	482	78	19
ROTAFLEX RH900 320-360-288	61,67	72,7	59,3	4,5	1050	200	67	442	67	19
TUNDRA 400-125-288	96,51	66,3	-	4,5	1050	200	68	446	68	18

### Esquema 6. Runlife pozo 3



Fuente: Archivo Reporte General 2018, Ingeniero Encargado de Sistemas de Levantamiento Artificial, Oficina de Gerencia Cira - Teca, Bloque 3 Operaciones y Producción de Subsuelo, Bloque de oficinas, Zona de oficinas generales, Corregimiento el Centro Ecopetrol, Barrancabermeja, Santander, Colombia.

## VIDA ÚTIL DE LA VARILLA

En la **Tabla 19** se muestra el tiempo de duración de la varilla de cada unidad de superficie con respecto a la velocidad de la bomba en SPM, teniendo en cuenta que el tiempo útil de la varilla es de 10 millones de ciclos teóricamente y la vida útil de la varilla en años se calcula de la siguiente manera:

$$Vida\ útil\ varilla(años) = \frac{10.000.000\ strokes}{Strokes/año}$$

**Tabla 19. Tiempo de duración de la varilla según el tipo de unidad de superficie**

Unidad de superficie	Velocidad de la bomba (SPM)	1 año (minutos)	Strokes/año	Vida útil varilla teóricamente (Strokes)	Vida útil varilla(años)
<b>Convencional</b>	8	525.600	4.204.800	10.000.000	2,4
<b>Rotaflex</b>	4,5		2.365.200		4,2
<b>Tundra</b>	4,5				4,2

Con las unidades de alto recorrido y baja velocidad la vida útil de la varilla o el Runlife tiende a ser mayor con respecto a las unidades de bombeo mecánico Convencional.

La tabla siguiente refleja en resumen las consideraciones del ejercicio.

**Tabla 20. Relación de strokes y velocidad de bombeo unidad Convencional; Tundra y Rotaflex**

UNIDAD	Relación de Stokes						Velocidad de bombeo					
	REC	SPM	SPD	SPA	#CICLOS	%	1 CICLO x	tseg	V=x/t	Asc	Veloc.	Unidades
										Desc		
MAX II 1280-427-192	192	8	11.520	4.204.800	0	-	384 in	7,5	51,2	4	25,6	in/seg
										4	25,6	
ROTAFLEX RH900 320-360-288	288	4,5	6.480	2.365.200	1.839.600	44%	576 in	13,3	43,2	2,25	21,6	in/seg
										2,25	21,6	
TUNDRA 400-125-288	288	4,5	6.480	2.365.200	1.839.600	44%	576 in	13,3	43,2	1,5	14,4	in/seg
										3	28,8	

En la **Tabla 21 y 22** se indica la configuración de la unidad actual y simulada de los pozos seleccionados.

**Tabla 21. Configuración actual para cada pozo**

POZO	UNIDAD ORIGINAL	VARILLA ORIGINAL	BOMBA ORIGINAL Rec max (in)	PRODUCCIÓN ORIGINAL (BFPD)	BSW (%)	PRODUCCIÓN NETA ORIGINAL BPPD	RUNLIFE ORIGINAL (MESES)
4	MAX II 1280-427-192	COROD SWR	30-200-RXAC-24-4	459	87,67	55,5947	4
			Rec max: 218				
6	M II 912-427-192	N97	30-275-THC-24-3-2	1310	94,118	77,0542	8
			Rec max: 249				
3	MAX II 1280-427-192	PROROD 970N	30-275-THC-24-3-2	1050	88,989	115,6165	4
			Rec max: 249				

**Tabla 22. Configuración a seleccionar simulada para cada pozo**

POZO	UNIDAD SIMULADA	VARILLA SIMULADA	BOMBA SIMULADA Rec max (in)	PRODUCCIÓN SIMULADA (BFPD)	BSW (%)	PRODUCCIÓN NETA SIMULADA BPPD	RUNLIFE SIMULADO (MESES)
4	TUNDRA 400-125-288	COROD SWR	30-200-RXAC-34-4	459	87,67	55,5947	6
			Rec max: 338				
6	TUNDRA 400-125-288	COROD SWR	30-275-THC-30-3-2	1310	94,118	77,0542	11
			Rec max: 321				
3	TUNDRA 400-125-288	PROROD 970N	30-275-THC-30-3-2	1050	88,989	115,6165	6
			Rec max: 321				

En la secuencia de los componentes utilizados, se registra cambio del tipo de varilla convencional a varilla continua para las tres unidades, ofreciendo un mejor desempeño frente a problemas de corrosión y Runlife. Además, el uso de la varilla continua aporta a que la unidad funcione con menos carga suprimiendo el peso

agregado por las juntas de acople de la varilla, aportando en un mejor funcionamiento de la unidad como sistema.

Conjuntamente se realiza cambio de la bomba en todas las unidades con un barril de longitud más larga apto para el correcto funcionamiento de las unidades de bombeo mecánico no Convencional, al ser una unidad de largo recorrido y bajas velocidades de descenso favorece a una mayor eficiencia de la bomba lo que le confiere un mejor llenado del barril garantizando la producción que tiene cada pozo con la unidad de bombeo mecánico Convencional actual.

## **4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO**

El objetivo del presente proyecto es evaluar la factibilidad de la implementación de los sistemas de bombeo mecánico Convencional, Tundra y Rotaflex en el campo la Cira-Infantas para los pozos pilotos seleccionados anteriormente y de esta manera determinar el beneficio económico que se obtendrá en caso de ser instalado.

El presente proyecto está enfocado en una evaluación de los costos derivados por la reducción de fallas generadas por rozamiento, presentando ahorros operacionales por disminución en el número de intervenciones en el campo La Cira Infantas.

### **COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX)**

Según el área de ingeniería de OXY<sup>29</sup>, las actividades no sujetas a ser capitalizables son consideradas como OPEX siendo este el gasto operacional que indica el capital utilizado para mantener o mejorar los activos físicos de una compañía determinada

---

<sup>29</sup> Equipo integrado Ecopetrol-Oxy LCI. Proyecto La Cira Infantas; criterios sobre Inversiones de capital y costos de operación. 2010. P. 1.

incluyendo tanto los gastos de consumibles y otros gastos necesarios, así como otros gastos a los que la empresa debe hacer frente al margen de su producción, como pueden ser las nóminas o los impuestos. Es por esto que, en esta parte es cuando más fallas se producen, por lo que se considera que gran parte de los costes denominados OPEX se encuentran en esta fase. Este hecho es un inconveniente ya que las fallas se producen de manera aleatoria, por lo que resulta difícil poder estimar con exactitud una previsión de dichos gastos.

Para el análisis económico del proyecto se consideraron los siguientes criterios:

### **PERÍODO DE ANÁLISIS**

Se considera la realización del presente proyecto en un periodo de análisis económico de 12 meses.

### **INVERSIÓN**

Corresponde al costo de transporte de las unidades para su respectivo cambio y la adecuación de la losa base donde se instalará la unidad, este proceso contempla un costo de \$6700 USD.

### **NÚMERO DE INTERVENCIONES POR ROZAMIENTO**

Hace referencia a la proyección de fallas críticas más recientes con un promedio de runlife durante un año.

### **COSTO POR INTERVENCIÓN**

Corresponde al valor de la intervención cuando se retoma la producción del pozo después de la falla, el costo de cada intervención es de \$80000 USD en donde

engloba costos de tiempo del equipo encargado de la intervención, costos de los componentes de fondo correspondiente al tramo de varilla y tubería donde se está presentando la falla y costos de los servicios periféricos.

### **COSTO TOTAL POR NÚMERO DE INTERVENCIONES**

Hace referencia al producto de intervenciones por rozamiento por el costo de cada intervención.

### **CONSUMO Y COSTO DE ENERGÍA**

Corresponde a los kW consumidos en un tiempo determinado de producción en cada una de las unidades Convencionales; Tundra y Rotaflex obtenida por información suministrada donde se registra el consumo de kWh, proyectando este consumo a kW/año. El consumo energético resulta de la siguiente formula: kW/año por 0,17 USD (valor del kW).

### **MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS**

La unidad Convencional requiere de dos mantenimientos preventivos por año además de los costos de instalación que son: subestación, conexiones eléctricas, materiales y mano de obra. La unidad Rotaflex 900 requiere 4 mantenimientos preventivos por año además de los costos de instalación que son los mismos de la unidad Convencional. Y la unidad Tundra 400 requiere 2 mantenimientos preventivos como la unidad Convencional por año además de los costos de instalación que son: subestación (incluyendo materiales) y conexiones eléctricas (El proveedor suministra la mano de obra para la instalación).

## **COSTO DE CADA MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Hace referencia al costo de cada mantenimiento por unidad de bombeo, los cuales son: Unidad convencional \$2000 USD, unidad Rotaflex \$1750 USD y Tundra \$1750 USD.

## **COSTO TOTAL MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR AÑO**

Es el producto de cada mantenimiento preventivo requerido que se le realiza a cada unidad por el costo unitario.

## **DÍAS DE OPERACIÓN POR FALLA**

Corresponde a los días inactivos del pozo desde el momento en que el equipo encargado realiza el procedimiento al pozo hasta que entra nuevamente a producción.

## **DÍAS DE PROYECCIÓN DE FALLAS**

Corresponde al producto de los días de corrección de la falla por el número de intervenciones por rozamiento realizadas al pozo en el año.

## **PRODUCCIÓN DEL POZO**

Concierne al caudal de producción en BPPD que tiene el pozo actualmente, si el pozo está en operación y desea ser intervenido, debe contemplarse la producción actual para efectos de estimar el costo de la producción diferida a causa del servicio; si en su defecto el pozo fue objeto de una falla operacional que lo dejó fuera de línea no debe asociarse la producción.

## PRECIO DEL BARRIL DE CRUDO

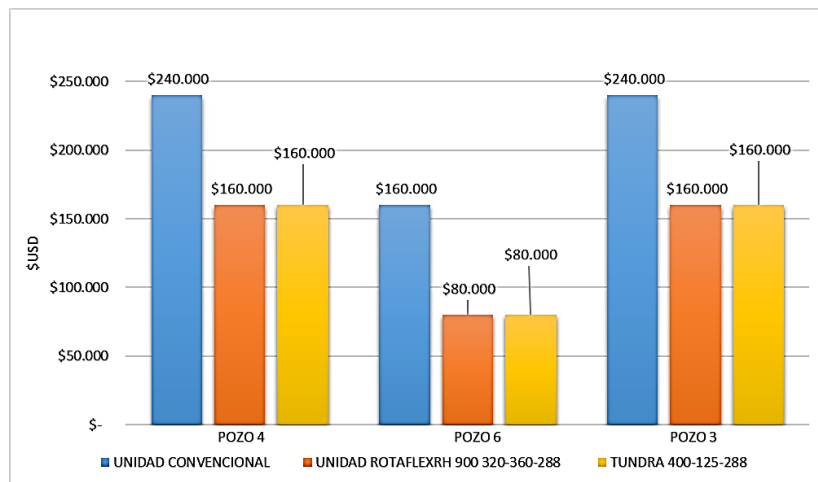
Actualmente el crudo producido en el campo La Cira Infantas se vende en promedio de un 80% del valor base del BRENT alrededor de los 80 USD/Barril debido a sus características en comparación con el crudo de referencia. Para el año 2019 proyecta un precio cercano a los 100 USD/barril.

## DIFERIDA

Hace referencia a los días inactivos que ocasionan las fallas por el producto entre: los días inactivos, la producción neta del pozo y el precio del crudo del barril.

### 4.2.1 Valor acumulado por número de intervenciones-ahorro

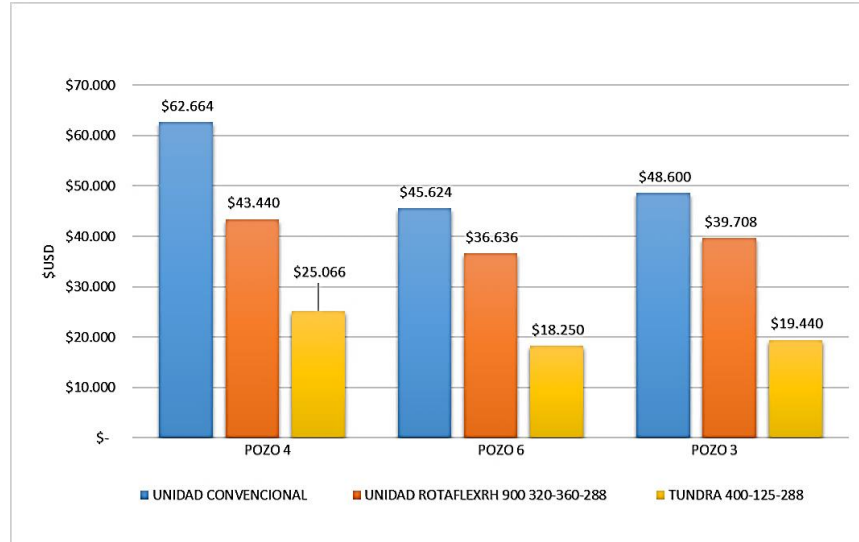
**Figura 40. Valor por número de intervenciones entre unidades Convencionales; Tundra y Rotaflex**



La **Figura 40** ilustra el comparativo de intervenciones, registrando una disminución de intervención por año representada en menos ciclos de trabajo por rozamiento aplicado por las unidades Tundra y Rotaflex en cada pozo.

## 4.2.2 Consumo energético de las tres unidades-ahorro

Figura 41. Consumo de energía unidades Convencional; Tundra y Rotaflex



## 4.2.3 Valores resultantes generales del análisis económico

Tabla 23. Cálculo ahorro del proyecto para el Pozo 4

UNIDAD	INVERSIÓN \$USD	INTERVENCIONES POR ROZAMIENTO POR AÑO	COSTO POR INTERVENCIÓN \$USD	COSTO TOTAL # INTERVENCIONES \$USD	ENERGÍA CONSUMIDA MES \$USD	COSTO ENERGÍA AÑO \$USD	MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS POR AÑO	COSTO POR CADA MANTENIMIENTO PREVENTIVO \$USD	COSTO TOTAL MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR AÑO \$USD	DÍAS OPERACIÓN POR FALLA	DÍAS PROYECCIÓN DE FALLAS	PRODUCCIÓN DEL POZO BPPD	PRECIO DEL BARRIL CRUDO BRENT \$USD	DIFERENCIA	TOTAL \$USD	DELTA AHORRO TOTAL \$USD
CONVENCIONAL	-	3	80.000	240.000	5.222	62.664	2	2.000	4.000	5	15			68.400	375.064	-
ROTAFLXRH900 320-360-288	6.700	2	80.000	160.000	3.620	43.440	4	1.750	7.000	5	10	57	80	45.600	262.740	112.324
TUNDRA 400-125-288	6.700	2	80.000	160.000	2.089	25.066	2	1.750	3.500	5	10			45.600	240.866	134.198

Tabla 24. Cálculo ahorro del proyecto para el Pozo 6.

UNIDAD	INVERSIÓN \$USD	INTERVENCIONES POR ROZAMIENTO POR AÑO	COSTO POR INTERVENCIÓN \$USD	COSTO TOTAL # INTERVENCIONES \$USD	ENERGÍA CONSUMIDA MES \$USD	COSTO ENERGÍA AÑO \$USD	MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS POR AÑO	COSTO POR CADA MANTENIMIENTO PREVENTIVO \$USD	COSTO TOTAL MANTENIMIENTO PREVENTIVO POR AÑO \$USD	DÍAS OPERACIÓN POR FALLA	DÍAS PROYECCIÓN DE FALLAS	PRODUCCIÓN DEL POZO BPPD	PRECIO DEL BARRIL CRUDO BRENT \$USD	DIFERENCIA	TOTAL \$USD	DELTA AHORRO TOTAL \$USD
CONVENCIONAL	-	2	80.000	160.000	3.802	45.624	2	2.000	4.000	5	10			61.600	271.224	-
ROTAFLXRH900 320-360-288	6.700	1	80.000	80.000	3.053	36.636	4	1.750	7.000	5	5	77	80	30.800	147.736	123.488
TUNDRA 400-125-288	6.700	1	80.000	80.000	1.521	18.250	2	1.750	3.500	5	5			30.800	125.850	145.374

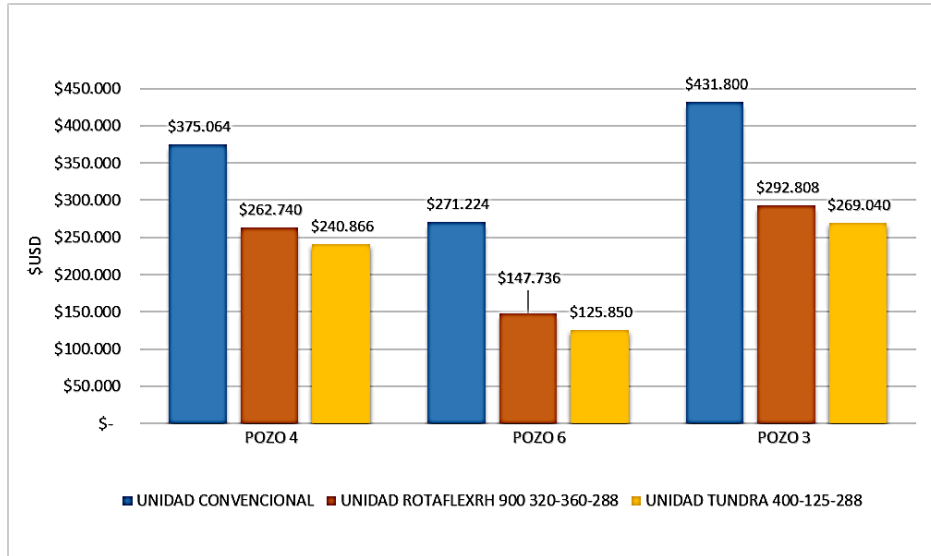
**Tabla 25. Cálculo ahorro del proyecto para el Pozo 3.**

UNIDAD	INVERSIÓN \$USD	INTERVENCIONES POR ROZAMIENTO POR AÑO	COSTO POR INTERVENCIÓN \$USD	COSTO TOTAL # INTERVENCIONES \$USD	ENERGÍA CONSUMIDA MES \$USD	COSTO ENERGÍA AÑO \$USD	MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS POR AÑO	COSTO POR CADA MANTENIMIENTO \$USD	COSTO TOTAL MANTENIMIENTO O PREVENTIVO POR AÑO \$USD	DÍAS OPERACIÓN POR FALLA	DÍAS PROYECCIÓN DE FALLAS	PRODUCCIÓN DEL POZO BPPD	PRECIO DEL BARRIL CRUDO BRENT \$USD	DIFERENCIA	TOTAL \$USD	DELTA AHORRO TOTAL \$USD
CONVENCIONAL	-	3	80.000	240.000	\$ 4.050,00	48.600	2	2.000	4.000	5	15			139.200	431.800	-
ROTAFLXRH900 320-360-288	6.700	2	80.000	160.000	\$ 3.309,00	39.708	4	1.750	7.000	5	10	116	80	92.800	292.808	138.992
TUNDRA 400-125-288	6.700	2	80.000	160.000	\$ 1.620,00	19.440	2	1.750	3.500	5	10			92.800	289.040	162.760

Como resultante del ejercicio económico anterior se concluye que las dos unidades Tundra y Rotaflex se presentan como una buena alternativa en disminución de fallas presentes por rozamiento en el campo La Cira-Infantas.

Para el caso de las unidades Convencionales; Tundra y Rotaflex se realiza la gráfica comparativa de los costos operacionales como se visualiza en la **FIGURA 42**.

**Figura 42. Costos operacionales año unidad Convencional; Tundra y Rotaflex**



Las unidades de largo recorrido consideradas en el presente estudio registran opciones de ahorro, motivando como primera opción la instalación de la unidad Tundra seguida de la unidad Rotaflex.

## 5. CONCLUSIONES

- Se definen las variables propuestas en el campo La Cira-Infantas para poder utilizar otros tipos de unidades de bombeo mecánico en donde se podrá aplicar a otros campos buscando las que afectan en mayor proporción dicho bombeo, además se demostró que económicamente es factible el cambio de unidad en cada pozo porque presenta ahorros por disminución de intervenciones en el año.
- Las unidades con bombeo mecánico de largo recorrido y baja velocidad, como la Rotaflex y Tundra, ayudan a proteger y dar más tiempo de vida útil a los equipos de fondo instalados en el pozo debido a que reducen las fallas en este, por la baja velocidad de operación de 4,5 SPM, las varillas tienden a aumentar el Runlife en relación a las otras unidades de bombeo mecánico Convencional que manejan velocidades altas.
- Los pozos pilotos utilizados para la evaluación de las unidades de superficie fueron elegidos considerando parámetros de selección establecidos por la empresa Occidental de Colombia, entre ellos se encuentran la tasa de producción, el dog-leg y el sistema de levantamiento artificial con bombeo mecánico Convencional con el que opera actualmente.
- La unidad Tundra en comparación con las demás unidades de superficie evaluadas cumple con los criterios seleccionados para análisis, estas cuentan con un alto recorrido de 288 in, una baja velocidad de 4,5 SPM y cuando es operada en condiciones máximas no causa efectos negativos con interferencia de gas o golpe de fluido sobre los equipos de fondo, además mantiene la producción del pozo y salvaguarda la vida útil de estos.

- Los criterios importantes a evaluar en busca de una unidad de superficie para el sistema de levantamiento artificial con bombeo mecánico son: La velocidad, recorrido de la unidad, la potencia requerida para su funcionamiento, el efecto de compresión o buckling que se generan sobre las varillas durante su operación y las cargas sobre la varilla o cargas laterales que se presentan sobre estas que son parámetros importantes que salvaguardan la vida útil del equipo de fondo y estas se reflejan en el número de intervenciones realizadas a los equipos de fondo en relación a las unidades de superficie instaladas actualmente.
- Las unidades de largo recorrido se estima que su intervención sea cada 6 meses, en comparación con las unidades actuales que están alrededor de los 4 meses presentando fallas en la varilla debido a la fricción, lo que aumenta sus costos de operación.
- La unidad Tundra presenta mejores características técnicas y económicas con respecto a los demás sistemas de levantamiento artificial con bombeo mecánico ya que por ser una unidad de largo recorrido maneja menor cantidad de ciclos, protegiendo al sistema y registrando una disminución del rozamiento que se generan sobre las varillas. De esta manera, se observa un aumento del Runlife de los equipos de fondo.

Asimismo, la unidad presenta velocidad variable con espaciado dinámico digital de la carrera descendente reduciendo espacios nocivos en las válvulas fijas y viajeras lo cual le permite una mayor eficiencia de llenado de la bomba reduciendo así las fallas que se presentan por interferencia de gas y golpe de fluido.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener en cuenta las condiciones y características de los pozos seleccionados para la obtención de los mejores resultados que redunde en la eliminación del golpe severo de fluido, interferencia por gas y disminución de fallas por rozamiento.
- Asegurar el monitoreo del sistema con unidades de largo recorrido y bajas velocidades como insumo para la disminución de fallas de rotura de varilla y tubería a causa de los ciclos constantes, entendiéndose que la unidad Tundra mantendrá la producción acorde al índice de producción de cada pozo con una considerable disminución de ciclos para los logros de las metas de producción.

## BIBLIOGRAFÍA

ALBA B, Yessica V & CORREA B, Andrés F. Análisis técnico- económico de algunos materiales especiales utilizados para el control de la corrosión en pozos productores con bombeo mecánico aplicado al campo la cira- infantas (Tesis de Pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2017

BUITRAGO E, José R & MASIAS M, Henry G. Análisis técnico y económico de la implementación del sistema de bombeo por cavidades progresivas (BCP) para crudo pesado en campos colombianos (Tesis de Pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2012

FLORES SÁNCHEZ, Jesús Salvador. Macroperas autosustentables en campos del proyecto aceite terciario del golfo “Chicontepec” (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 2012

GÓMEZ V, JIMMY A. Análisis técnico-financiero del desempeño de bombeo mecánico sobredimensionado del campo La Cira Infantas (SCI). (Tesis de Pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2014

LUFKIN. Mark II Pumping units-Installation manual M-09. [En Línea]. Disponible en: [https://www.geoilandgas.com/sites/geog/files/ge-lufkin-mark-ii-install-manual\\_1.pdf](https://www.geoilandgas.com/sites/geog/files/ge-lufkin-mark-ii-install-manual_1.pdf).

MADRID, Cristian. Bombeo mecánico-Diseño. [En Línea]. (Recuperado en 2011) Disponible en: <http://www.portaldelpetroleo.com/2009/06/bombeo-MECÁNICO-diseno.html>.

MONCADA DELGADO, Davian A. Caracterización del sistema de levantamiento artificial bombeo mecánico en pozos de crudo pesado. [En línea]. (Recuperado en 13 abril 2016.) Disponible en <https://bombeoycrudospesados.wordpress.com/2016/04/13/3caracterizacion-del-sistemas-de-levantamiento-artificial-bombeo-MECÁNICO-en-pozos-de-crudo-pesado/>.

MOSQUERA T, Liliana Del P. Evaluación y análisis del desempeño del sistema de levantamiento artificial por bombas de cavidades progresivas (BCP) en el campo Guando-Melgar (Tesis de Pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2004

NAVARRO S, Jhon F. Selección, diseño y puesta en funcionamiento del sistema de levantamiento artificial más adecuado para un campo ubicado en la cuenca de los llanos orientales (Plan de proyecto de grado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2017

OSPINO R, Emiro J & BADILLO H, Diana C. Estudio técnico- económico de la aplicación del sistema de levantamiento artificial dynapump en un campo de producción de petróleo (Tesis de Pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2010

PEÑA D, Cristian D. Estudio técnico financiero para la implementación de unidades de bombeo mecánico no Convencionales en el campo La Cira- Infantas (Tesis de Pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2014

PhD Takacs Gabor. Sucker-Rod Pumping Handbook. Production Engineering Fundamentals and Long-Stroke Rod Pumping. University of Miskolc. Petroleum Engineering Department. Hungary, 2015

QUIROGA M, Luis E. Evaluación del desempeño de las sartas de bombeo mecánico del área la cira-infantas utilizando el software TWM (Tesis de Pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2008

ROTAFLEX® Long-Stroke Pumping Units, Proven technology for deep, challenging, and high-volume wells, [En Línea]. [http://liftsmarter.weatherford.com/Content/pdfs/10949\\_Rotaflex\\_Long\\_Stroke\\_Pumping\\_Units\\_Ltr.pdf](http://liftsmarter.weatherford.com/Content/pdfs/10949_Rotaflex_Long_Stroke_Pumping_Units_Ltr.pdf)

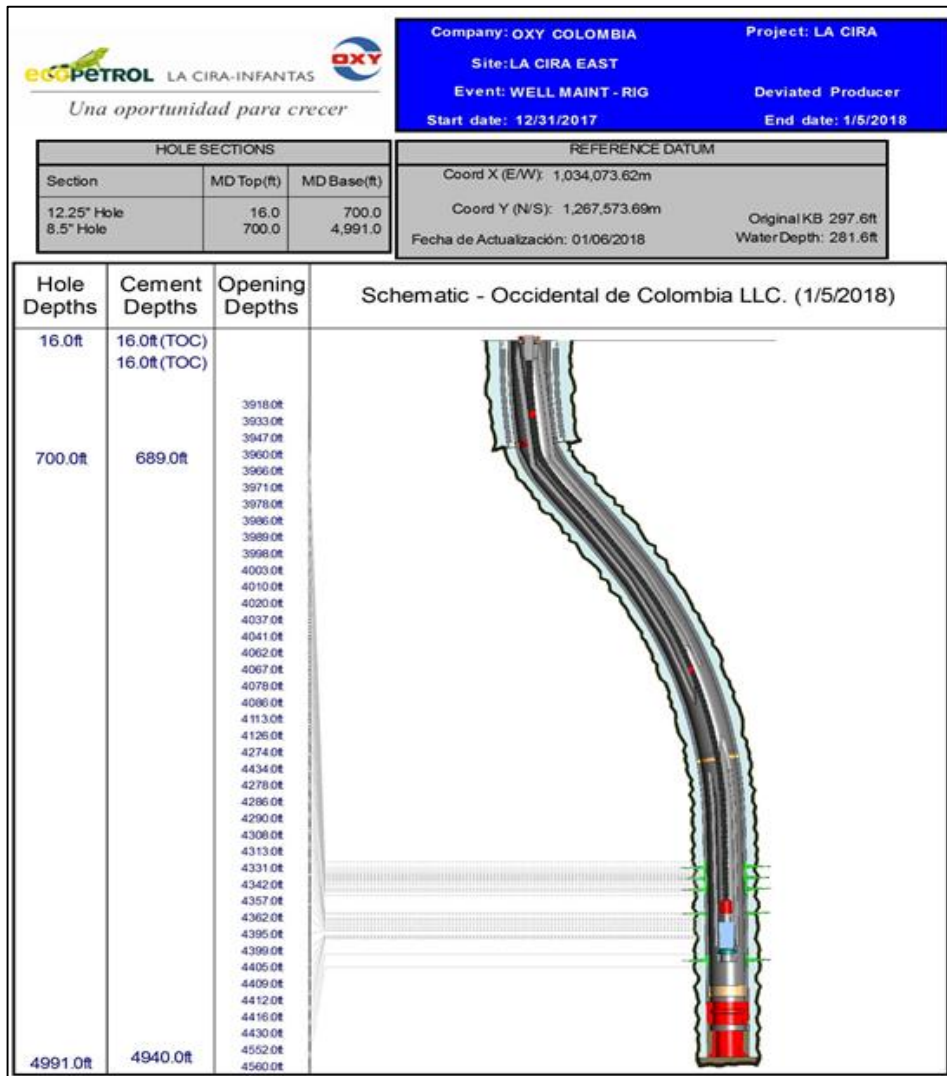
VEGA Z, Derek Y & LARA C, Joan S. Diseño de un sistema de levantamiento artificial no Convencional a partir de bombeo electro sumergible y bombeo por cavidades progresivas aplicado al campo colorado (Tesis de Pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2013

XU J, Nolen K, SHIPP D, Cordova A & GIBBS S, pumping deviated wells, Lufkin automation, [En Línea]. [http://alrdc.org/workshops/2005\\_Fall2005BeamPump/presentations/Paper%20-%20Lufkin%20---%20Rod%20Pumping%20Deviated%20Wells.pdf](http://alrdc.org/workshops/2005_Fall2005BeamPump/presentations/Paper%20-%20Lufkin%20---%20Rod%20Pumping%20Deviated%20Wells.pdf)

## ANEXOS

### ANEXO A. DIAGRAMA DE COMPLETACIÓN DE LOS POZOS SELECCIONADOS

#### ESTADO MECÁNICO POZO 4



FUENTE: OCCIDENTAL DE COLOMBIA

PERFORATIONS								
Start Date: 4/27/2014 15:00			Contractor: HALLIBURTON LATIN AMERICA S.A. LLC					
Method:			Conveyed: WIRELINE					
Date	Top MD(ft)	Bottom MD(ft)	Shot density(sh/ft)	Gun Type	Gun Size(in)	Charge Desc.	Interval Type	Reason
4/27/2014 00:00	3,918.0	3,933.0	6.00	SCALLOP	3.375	HMX MILLINIUM	PERFORATED	PRODUCTION
4/27/2014 00:00	3,933.0	3,947.0	6.00	SCALLOP	3.375	HMX MILLINIUM	PERFORATED	PRODUCTION
4/27/2014 00:00	4,308.0	4,313.0	6.00	SCALLOP	3.375	HMX MILLINIUM	PERFORATED	PRODUCTION
4/27/2014 00:00	4,331.0	4,342.0	6.00	SCALLOP	3.375	HMX MILLINIUM	PERFORATED	PRODUCTION
4/27/2014 00:00	4,552.0	4,560.0	6.00	SCALLOP	3.375	HMX MILLINIUM	PERFORATED	PRODUCTION

PERFORATIONS								
Start Date: 8/17/2016 02:35			Contractor: SETIP INGENIERIA S.A.					
Method: CASING GUN			Conveyed: WIRELINE					
Date	Top MD(ft)	Bottom MD(ft)	Shot density(sh/ft)	Gun Type	Gun Size(in)	Charge Desc.	Interval Type	Reason
8/17/2016 21:56	3,960.0	3,969.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 20:46	3,971.0	3,978.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 19:04	3,980.0	3,989.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 17:49	3,998.0	4,003.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 16:36	4,010.0	4,020.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 15:24	4,037.0	4,041.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 13:08	4,062.0	4,067.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 11:53	4,076.0	4,086.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 10:53	4,113.0	4,126.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 09:47	4,274.0	4,278.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 08:42	4,289.0	4,290.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 07:27	4,357.0	4,362.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 05:47	4,395.0	4,399.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 03:49	4,405.0	4,409.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 03:49	4,412.0	4,416.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION
8/17/2016 02:35	4,430.0	4,434.0	5.00	SDP	4.500	SDP4536-410	PERFORATED	PRODUCTION

CASINGS									
SURFACE CASING									
Component Name	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Jts	OD(in)	Weight(ppf)	Grade	Connection	Nominal ID(in)	Diff ID(in)
PUP JOINT	16.0	23.1	1	9.625	36.00	K-55		8.921	8.765
CASING JOINT(S)	23.1	687.5	16	9.625	36.00	K-55		8.921	8.765
FLOAT SHOE	687.5	689.0	1	9.625	3.00	K-55		8.921	8.765

PRODUCTION CASING									
Component Name	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Jts	OD(in)	Weight(ppf)	Grade	Connection	Nominal ID(in)	Diff ID(in)
CASING JOINT(S)	16.0	3,286.7	87	7.000	23.00	N-80		6.366	6.250
CASING JOINT(S)	3,286.7	3,552.9	7	7.000	26.00	N-80		6.276	6.151
FLAG JOINT	3,552.9	3,573.9	1	7.000	26.00	N-80		6.276	6.151
CASING JOINT(S)	3,573.9	4,900.0	35	7.000	26.00	N-80		6.276	6.151
FLOAT COLLAR	4,900.0	4,901.0	1	7.000	26.00	N-80		6.276	6.151
CASING JOINT(S)	4,901.0	4,938.5	1	7.000	26.00	N-80		6.276	6.151
FLOAT SHOE	4,938.5	4,940.0	1	7.000	26.00	N-80		6.276	6.151

WELLBORE EQUIPMENT									
TUBING STRING									
Component Name	Joints	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Nominal OD(in)	Nominal ID(in)	Grade	Connection	Weight(ppf)	Condition
TUBING HANGER (ROTATING)	1	16.0	16.8	7.063			3-1/2 EUE		RERUN
CROSSOVER	1	16.8	17.5	3.500	2.930		4 1/2 EUE		NEW
TUBING JOINT(S) - POLY-CORE	145	17.5	4,507.3	4.500	3.552	J-55	4 1/2 EUE	9.30	NEW
CROSSOVER	1	4,507.3	4,508.5	3.500	2.930		4 1/2 EUE		NEW
SEATING NIPPLE	1	4,508.5	4,509.6	3.500	2.750		3-1/2 EUE		NEW
TUBING JOINT(S)	1	4,509.6	4,540.6	3.500	2.992	J-55	3-1/2 EUE	9.30	USED

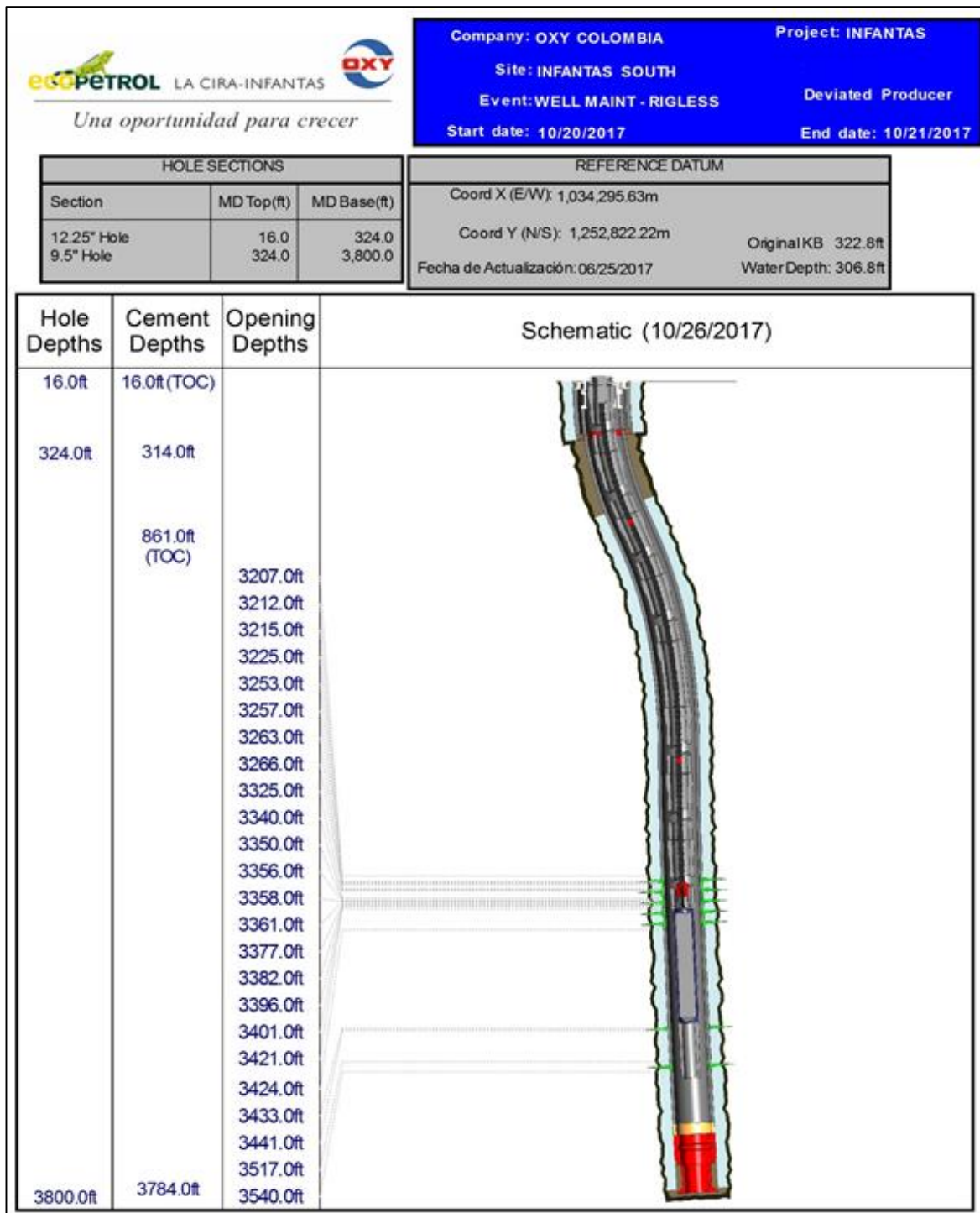
SAND									
Component Name	Joints	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Nominal OD(in)	Nominal ID(in)	Grade	Connection	Weight(ppf)	Condition
FILL	1	4,866.0	4,900.0	6.151					

INJECTION STRING									
Component Name	Joints	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Nominal OD(in)	Nominal ID(in)	Grade	Connection	Weight(ppf)	Condition
POLISHED ROD	1	15.0	45.0	1.500					RERUN
COROD	1	45.0	1,521.0	1.156					NEW
COROD	1	1,521.0	4,432.0	1.000					RERUN
SHEAR COUPLING	1	4,432.0	4,433.1	2.000		SWR 8.5			NEW
SINKER BAR	2	4,433.1	4,483.1	1.625		SWR 6			RERUN
PUMP 30-250-RXBC-24-3	1	4,483.1	4,509.8	2.500					NEW

FUENTE: OCCIDENTAL DE COLOMBIA

# ESTADO MECÁNICO POZO 6



FUENTE: OCCIDENTAL DE COLOMBIA

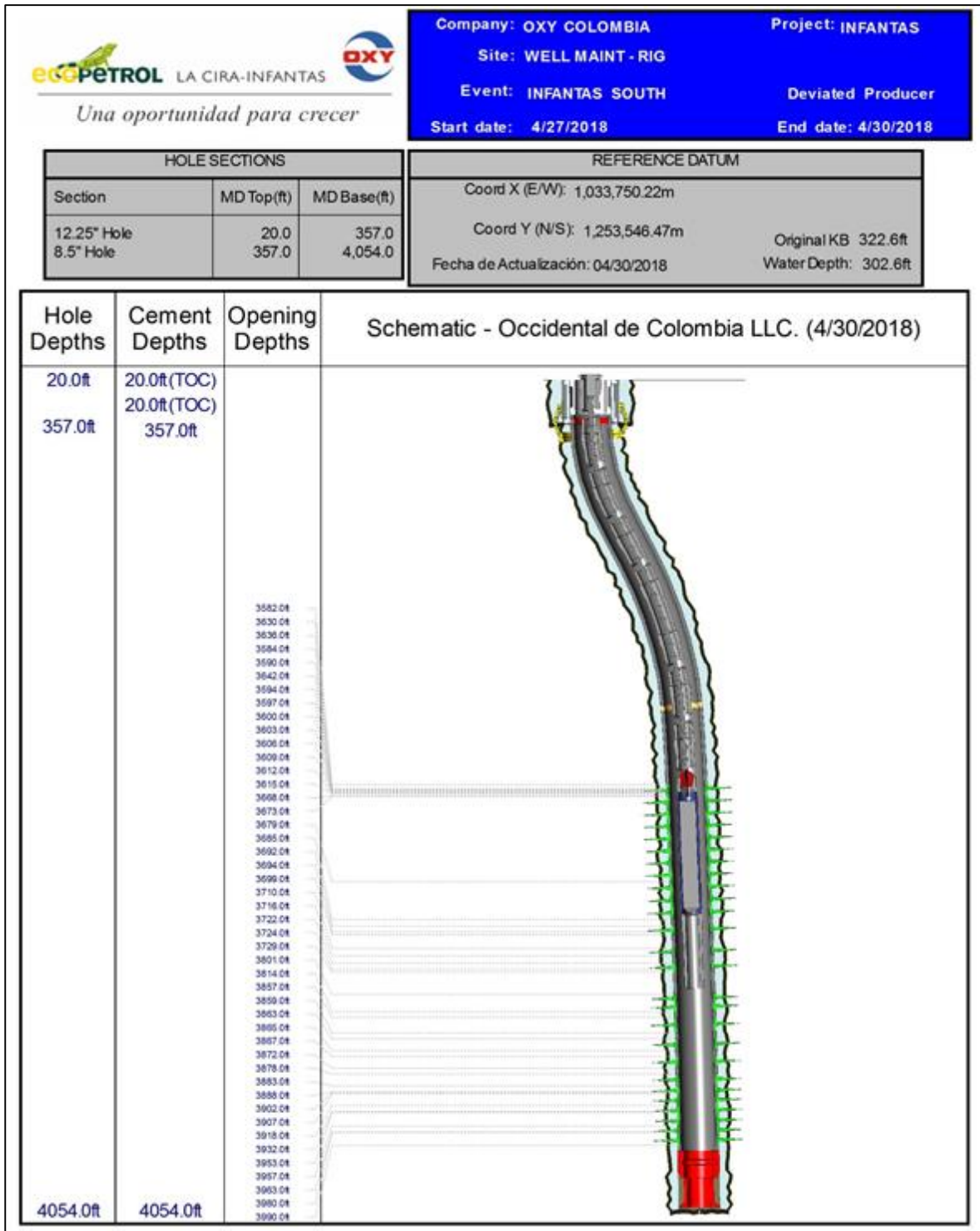
PERFORATIONS								
Start Date: 10/31/2014 00:00			Contractor: HALLIBURTON LATIN AMERICA SA LLC					
Method:			Conveyed: WIRELINE					
Date	Top MD(ft)	Bottom MD(ft)	Shot density(shot/ft)	Gun Type	Gun Size(in)	Charge Desc	Interval Type	
10/31/2014 00:00	3,207.0	3,212.0	6.00	CASING GUN	3.375	HMX MILLENIUM	PERFORATED	
10/31/2014 00:00	3,215.0	3,225.0	6.00	CASING GUN	3.375	HMX MILLENIUM	PERFORATED	
10/31/2014 00:00	3,253.0	3,257.0	6.00	CASING GUN	3.375	HMX MILLENIUM	PERFORATED	
10/31/2014 00:00	3,263.0	3,266.0	6.00	CASING GUN	3.375	HMX MILLENIUM	PERFORATED	
10/31/2014 00:00	3,325.0	3,340.0	6.00	CASING GUN	3.375	HMX MILLENIUM	PERFORATED	
10/31/2014 00:00	3,350.0	3,356.0	6.00	CASING GUN	3.375	HMX MILLENIUM	PERFORATED	
10/31/2014 00:00	3,358.0	3,361.0	6.00	CASING GUN	3.375	HMX MILLENIUM	PERFORATED	
10/31/2014 00:00	3,377.0	3,382.0	6.00	CASING GUN	3.375	HMX MILLENIUM	PERFORATED	
10/31/2014 00:00	3,396.0	3,401.0	6.00	CASING GUN	3.375	HMX MILLENIUM	PERFORATED	
10/31/2014 00:00	3,421.0	3,424.0	6.00	CASING GUN	3.375	HMX MILLENIUM	PERFORATED	
10/31/2014 00:00	3,433.0	3,441.0	6.00	CASING GUN	3.375	HMX MILLENIUM	PERFORATED	
10/31/2014 00:00	3,517.0	3,540.0	6.00	CASING GUN	3.375	HMX MILLENIUM	PERFORATED	

CASINGS									
SURFACE CASING									
Component Name	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Jts	OD(in)	Weight(ppf)	Grade	Connection	Nominal ID(in)	Drift ID(in)
PUP JOINT	16.0	22.1	1	9.625	36.00	K-55		8.921	8.765
CASING JOINT(S)	22.1	312.5	7	9.625	36.00	K-55		8.921	8.765
FLOAT SHOE	312.5	314.0	1	9.625	36.00	K-55		8.921	8.765
PRODUCTION CASING									
Component Name	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Jts	OD(in)	Weight(ppf)	Grade	Connection	Nominal ID(in)	Drift ID(in)
PUP JOINT	16.0	24.4	1	7.000	26.00	N-80		6.276	6.151
PUP JOINT	24.4	46.7	1	7.000	26.00	N-80		6.276	6.151
CASING JOINT(S)	46.7	2,497.3	65	7.000	23.00	N-80		6.366	6.250
FLAG JOINT	2,497.3	2,516.2	1	7.000	26.00	N-80		6.276	6.151
CASING JOINT(S)	2,516.2	3,781.7	33	7.000	26.00	N-80		6.276	6.151
FLOAT COLLAR	3,781.7	3,782.7	1	7.000	26.00	N-80		6.276	6.151
FLOAT SHOE	3,782.7	3,784.2	1	7.000	26.00	N-80		6.276	6.151

WELLBORE EQUIPMENT										
TUBING STRING										
Component Name	Joints	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Nominal OD(in)	Nominal ID(in)	Grade	Connection	Weight(ppf)	Condition	
TUBING HANGER	1	16.0	16.6	7.062	3.500		3-1/2" EUE		RERUN	
CROSSOVER	1	16.8	18.4	4.500	2.992		NU		RERUN	
TUBING JOINT(S)	109	18.4	3,403.1	4.500	3.958	J-55	Non-Upset	12.60	NEW	
CROSSOVER	1	3,403.1	3,404.7	4.500	2.992		NU		RERUN	
PUMP 30-275-THC-20-3-2-2	1	3,404.7	3,430.1	3.500			3-1/2" EUE		NEW	
TUBING JOINT(S)	4	3,430.1	3,556.2	3.500	2.992	J-55	External-Ups	9.30	USED	
ROD STRING										
Component Name	Joints	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Nominal OD(in)	Nominal ID(in)	Grade	Connection	Weight(ppf)	Condition	
POLISHED ROD	1	15.0	43.0	1.500		SPRAY METAL			USED	
COROD	1	43.0	1,863.0	1.000		SWR 6			NEW	
COROD	1	1,863.0	3,322.0	1.000		SWR 6			NEW	
SHEAR COUPLING	1	3,322.0	3,323.1	2.000		JAW			NEW	
SINKER BAR	4	3,323.1	3,423.1	2.000		NONECK			RERUN	
PLUNGER	1	3,423.1	3,428.1	2.750		SPRAY METAL			NEW	

FUENTE: OCCIDENTAL DE COLOMBIA

# ESTADO MECÁNICO POZO 3



FUENTE: OCCIDENTAL DE COLOMBIA

PERFORATIONS								
Start Date		12/18/2016 03:00		Contactor		SETIP INGENIERIA SA		
Method				Conveyed		WIRELINE		
Date	Top MD(ft)	Bottom MD(ft)	Shot densz(shot/ft)	Gun Type	Gun Size(in)	Charge Desc.	Interval(Type)	Reason
12/20/2016 00:00	3584.0	3584.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/20/2016 00:00	3584.0	3590.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3594.0	3597.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3597.0	3600.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3600.0	3603.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3603.0	3606.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3606.0	3609.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3609.0	3612.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/18/2016 00:00	3612.0	3615.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3630.0	3636.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3636.0	3642.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3660.0	3673.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3673.0	3679.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3679.0	3685.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3692.0	3694.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3694.0	3699.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3710.0	3716.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3722.0	3724.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3724.0	3729.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/19/2016 00:00	3801.0	3814.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/18/2016 00:00	3857.0	3860.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/18/2016 00:00	3863.0	3865.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/18/2016 00:00	3867.0	3872.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/18/2016 00:00	3878.0	3883.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/18/2016 00:00	3883.0	3888.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/18/2016 00:00	3888.0	3902.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/18/2016 00:00	3907.0	3918.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/18/2016 00:00	3918.0	3932.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/18/2016 00:00	3953.0	3967.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/18/2016 00:00	3967.0	3963.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION
12/18/2016 00:00	3960.0	3960.0	5.00	SCALLOPED	4.500	SDP4539410	PERFORATED	PRODUCTION

CASINGS									
SURFACE CASING									
Component Name	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Jts	OD(in)	Weight(ppf)	Grade	Connection	Nominal ID(in)	Drift ID(in)
PUP JOINT	20.0	27.1	1	9.625	36.00	K-55	BTC	8.921	8.785
CASING JOINT(S)	27.1	350.2	8	9.625	36.00	K-55	BTC	8.921	8.785
FLOAT SHOE	350.2	351.7	1	9.625	36.00	K-55	BTC	8.921	8.785
PRODUCTION CASING									
Component Name	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Jts	OD(in)	Weight(ppf)	Grade	Connection	Nominal ID(in)	Drift ID(in)
PUP JOINT	20.0	28.8	1	7.000	23.00	N-80	BTC	6.366	6.151
CASING JOINT(S)	28.8	2,922.6	73	7.000	26.00	N-80	BTC	6.276	6.151
FLAG JOINT	2,922.6	2,942.9	1	7.000	26.00	N-80	BTC	6.276	6.151
CASING JOINT(S)	2,942.9	4,011.0	27	7.000	26.00	N-80	BTC	6.276	6.151
FLOAT COLLAR	4,011.0	4,012.0	1	7.000	26.00	N-80	BTC	6.276	6.151
FLOAT SHOE	4,012.0	4,013.5	1	7.000	26.00	N-80	BTC	6.276	6.151

WELLBORE EQUIPMENT									
TUBING STRING									
Component Name	Joints	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Nominal OD(in)	Nominal ID(in)	Grade	Connection	Weight(ppf)	Condition
TUBING HANGER	1	20.0	20.8	7.062					
TUBING JOINT(S)	118	20.8	3,653.5	3.500		2,992	J-55	3-1/2" EUE External-Ups	9.30
PUMP 30-275-THC-24-3-2-2	1	3,653.5	3,682.7	3.500					
TUBING JOINT(S)	2	3,682.7	3,743.0	3.500		2,992	J-55	External-Ups	9.30
ROD STRING									
Component Name	Joints	Top MD(ft)	Btm MD(ft)	Nominal OD(in)	Nominal ID(in)	Grade	Connection	Weight(ppf)	Condition
POLISHED ROD	1	19.0	50.0	1.500		XXX			NEW
ROD(S)	45	50.0	1,175.0	1.000		N-97			NEW
ROD(S)	98	1,175.0	3,625.0	0.875		N-97			NEW
SHEAR COUPLING	1	3,625.0	3,626.1	2.000					NEW
SINKER BAR	2	3,626.1	3,676.1	1.625		XXX			RERUN
PLUNGER	1	3,676.1	3,680.1	2.750					NEW

FUENTE: OCCIDENTAL DE COLOMBIA



2) 1 3050 29 0.2 N (0) 69  
 3) 1.625 50 30.5 0.2 N (0) 20

Max Stress (surf.) (psi) : 34135 Min Stress (surf.) (psi) : 3151

**ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING**

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>COROD SWR</u>
1	147	113	62
0.9	166	127	70
0.8	190	146	79
0.7	224	170	91

**\*\* DOWNHOLE PERFORMANCE \*\***

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross :	173.3	1002 (24h/d)	802 (24h/d)
Net :	166.6	963 (24h/d)	770 (24h/d)
Tubing Stretch (in)	: 7	Lost Displacement (bpd)	: 41
Loss Along Rod String (hp)	: 36.19	Pump Power (hp)	: 35
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 100

**\*\* Non-Dimensional Variables \*\***

Fo/S/Kr : 0.11 N/No' : 0.14

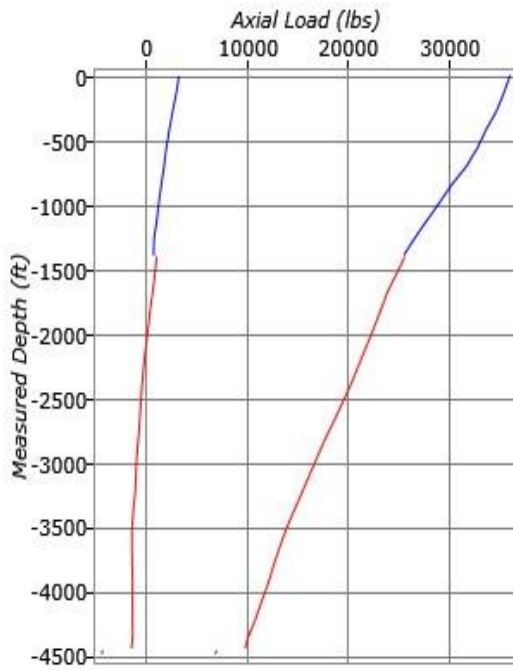
**\*\* OTHER BASIC DATA \*\***

Reducer Rating (in-lbs) : 1280 Crank Rotation : (C'WISE) - Well to right  
 Overall Speed Ratio : 141.8 Rod Damping Factors : 0.05 / 0.15 (up/down)  
 Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) : 10886  
 Total Load on Pump (lbs) : 10143 Pump Bore Size (in) : 2.5  
 Pump Load Adjustment (lbs) : 0 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433  
 Pump Depth (ft) : 4500 Pump Intake Pressure (psi) : 20  
 Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 10586  
 TV Load (lbs) : 21329

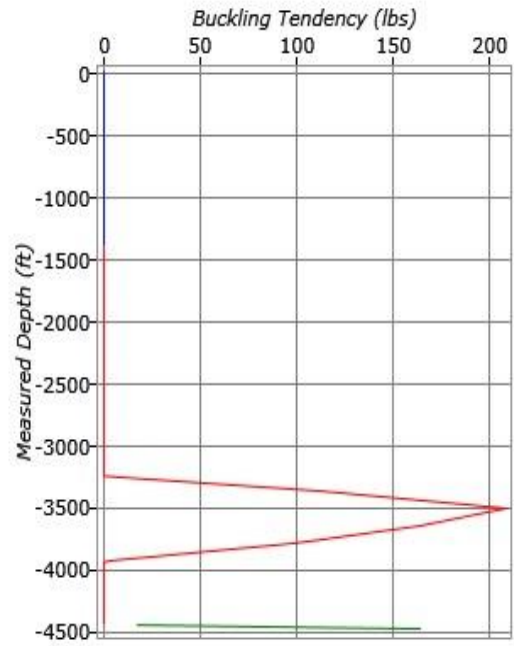
**\*\* AXIAL LOAD ~ BUCKLING TENDENCY \*\***

WELL NAME : CIRA4 DATE/TIME : 7/2/2018 7:54:01 AM  
 ANALYST : JAP  
 DATA FILE : 4 DEC 2017.inp6e (BASE CASE) WELL TYPE : Deviated  
 Comments : FALLA TUBERIA

Axial Load vs Measured Depth



Buckling Tendency vs Measured Depth



Rod Type	Rod Diam in (in)	Max Load (lbs)	Min Load (lbs)	Max Stress (psi)	Min Stress (psi)	% Rod Load @ 0.9
1. COROD SWR	1.156	35826	3308	34135	3151	70
2. COROD SWR	1	25596	918	32590	1169	69
3. API D	1.625	7104	-4236	3425	-2042	20

Max Buckling (lbs) : 208  
 Location of Max Buckling (ft) : 3518  
 Buckling Starts at (ft) : 3263

**\*\* SIDE/DRAG LOAD \*\***

WELL NAME : CIRA4

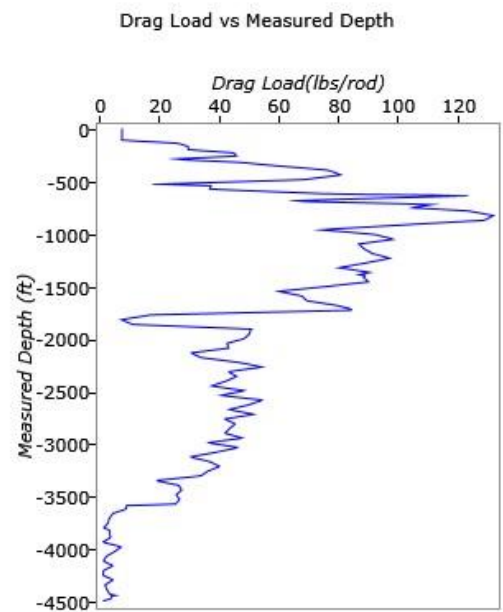
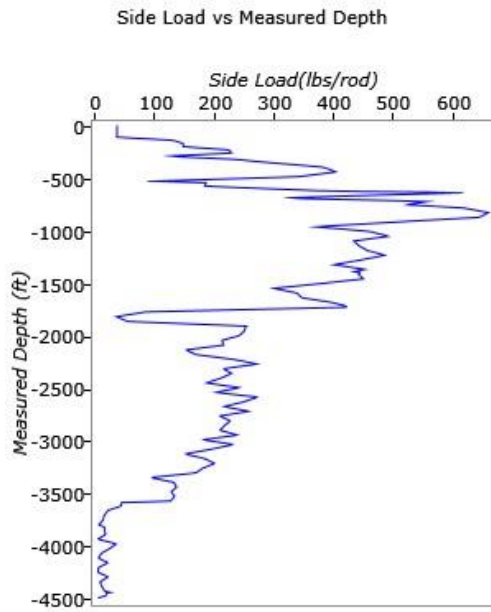
DATE/TIME : 7/2/2018 7:54:03 AM

ANALYST : JAP

DATA FILE : 4 DEC 2017.inp6e (BASE CASE)

WELL TYPE : Deviated

Comments : FALLA TUBERIA



Max Side Load (lbs/rod)	: 658
Max Drag Load (lbs/rod)	: 132
Rod Length for Steel/Fiberglass (ft/ft)	: 25/37.5

**\*\* WELL DEVIATION \*\***

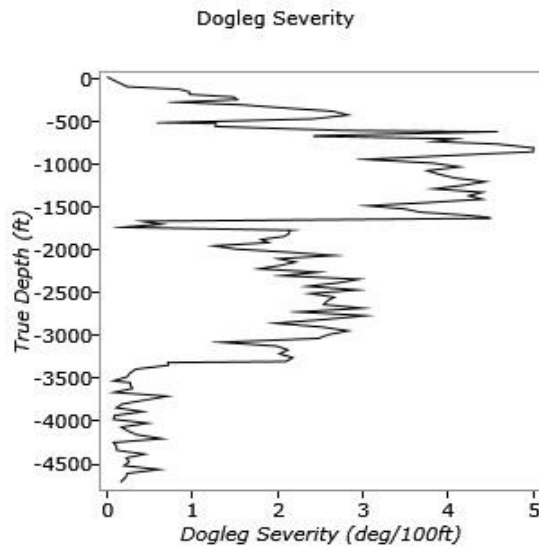
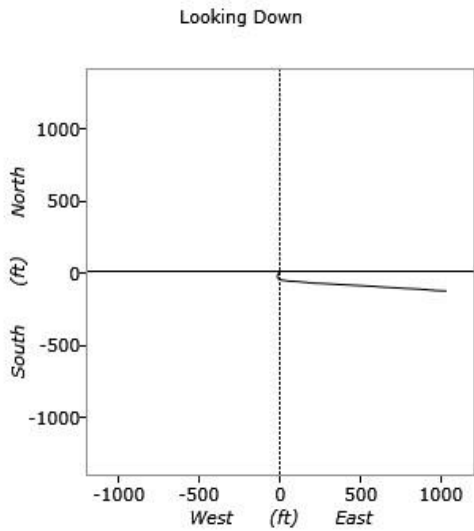
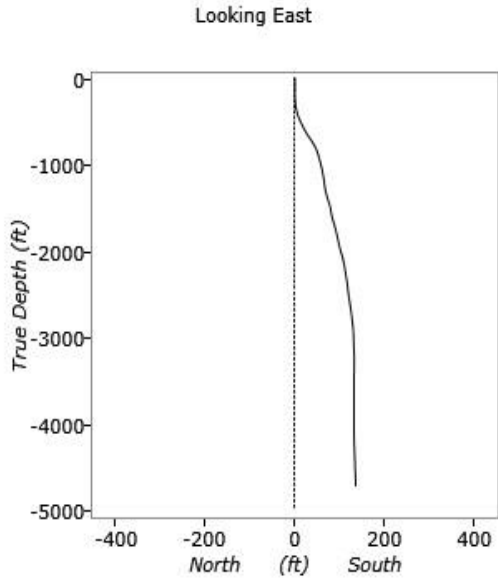
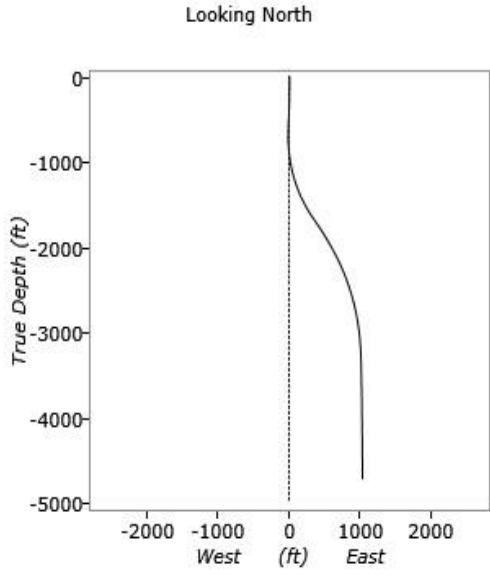
WELL NAME CIRA4

DATE/TIME : 7/2/2018 7:54:03  
AM

ANALYST JAP

DATA FILE 4 DEC 2017.inp6e (BASE CASE) WELL TYPE : Deviated

Comments FALLA TUBERIA





Loss Along Rod String : 29.71 Pump Power (hp) : 31.02  
 (hp)  
 Tubing Size (in) : 3.5 Tubing Anchor Location : 0  
 (ft)  
 Pump Spacing Guide (in) : N/A Pump Fillage (%) : 100

**\*\* Non-Dimensional Variables \*\***

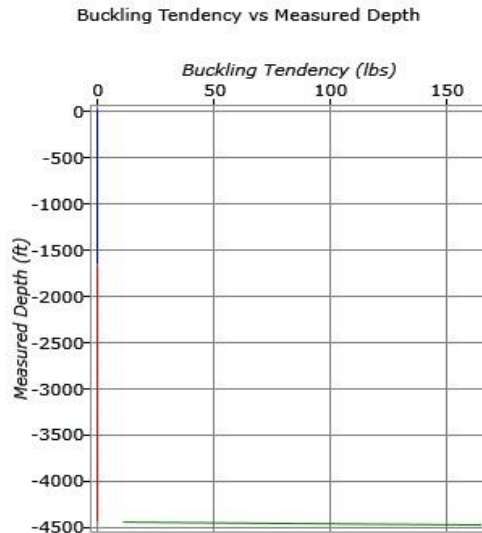
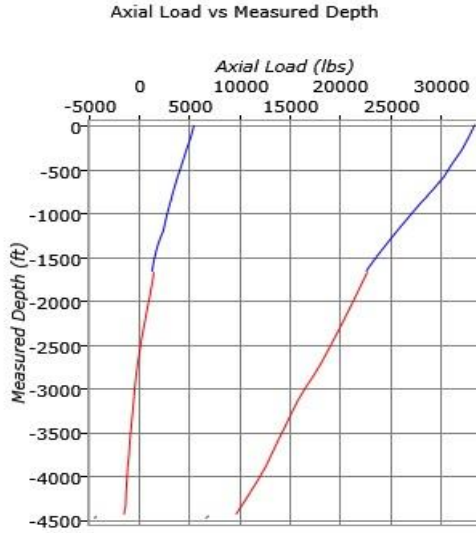
Fo/S/Kr : 0.07 N/No' : 0.08

**\*\* OTHER BASIC DATA \*\***

Reducer Rating (in-lbs) : 320 Crank Rotation : N/A  
 Overall Speed Ratio : 47.3 Rod Damping Factors : 0.05 / 0.15  
 (up/down)  
 Min/Max Tubing Head Press. : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) : 11070  
 (psi)  
 Total Load on Pump (lbs) : 10143 Pump Bore Size (in) : 2.5  
 Pump Load Adjustment (lbs) : 0 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433  
 Pump Depth (ft) : 4500 Pump Intake Pressure (psi) : 20  
 Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 10770  
 TV Load (lbs) : 21513

**\*\* AXIAL LOAD ~ BUCKLING TENDENCY \*\***

WELL NAME : CIRA4 DATE/TIME : 7/10/2018 4:43:09 PM  
 ANALYST : JAP  
 DATA FILE : 4 DEC 2017.inp6e (BASE CASE) WELL TYPE : Deviated  
 Comments : FALLA TUBERIA



Rod Type	Rod Diam in (in)	Max Load (lbs)	Min Load (lbs)	Max Stress (psi)	Min Stress (psi)	% Rod Load @ 0.9
1. COROD SWR	1.156	33184	5503	31617	5244	61
2. COROD SWR	1	22717	1429	28924	1820	60
3. API D	1.625	6936	-4228	3344	-2038	20

Max Buckling (lbs) : 200

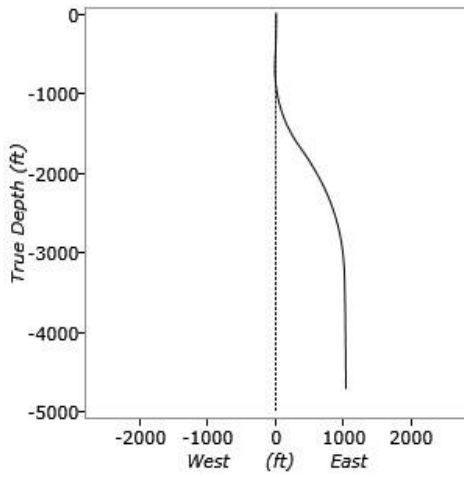


**\*\* WELL DEVIATION \*\***

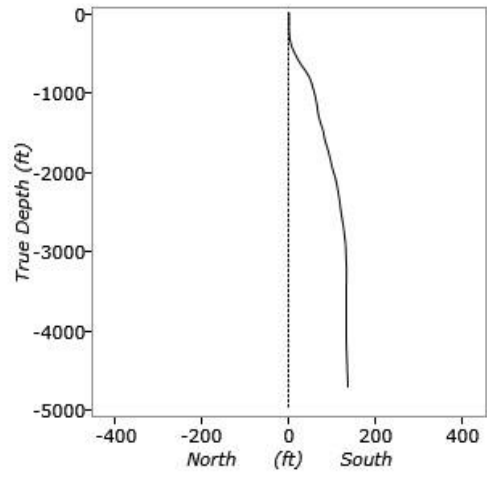
WELL NAME : CIRA4  
 ANALYST : JAP  
 DATA FILE : 4 DEC 2017.inp6e (BASE CASE)  
 Comments : FALLA TUBERIA

DATE/TIME : 7/10/2018 4:43:11 PM  
 WELL TYPE : Deviated

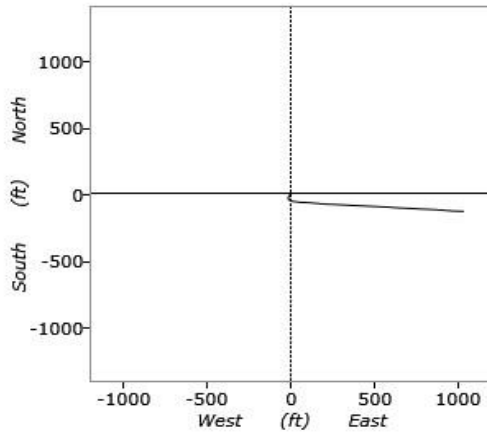
Looking North



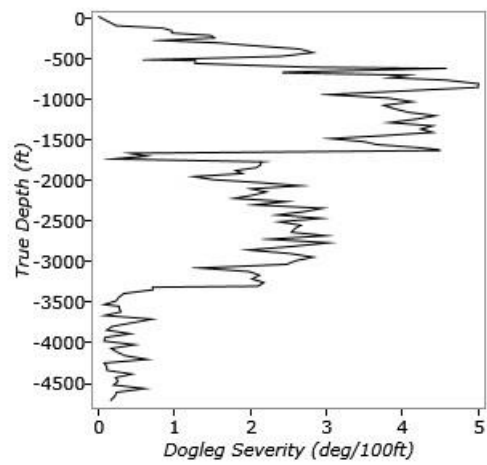
Looking East



Looking Down



Dogleg Severity



**UNIDAD TUNDRA**



BHGE  
Lufkin Industries LLC  
T + 1 281 495 1100 (Automator)  
www.bhge.com

**SROD v8.1.1000 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE**

WELL NAME : CIRA4 DATE/TIME : 7/10/2018 4:41:41 PM  
ANALYST : JAP  
DATA FILE : 4 DEC 2017.inp6e (BASE CASE) WELL TYPE : Deviated  
COMMENTS : FALLA TUBERIA

**\*\* PRIME MOVER \*\***

Mfgr and Type : ROBBINS & MYERS 125 HP NEMA D (OLD TYPE)  
Est. Power Required (hp) : 121.6 Motor Load (% of Rating) : 97.3

**\*\* PUMPING UNIT \*\***

Mfgr and Type : Hydraulic unit EVI900-360-288  
Actual Max Load (lbs) : 34254 Actual Min Load (lbs) : 5309  
Average Pumping Speed (spm) : 4.51 Max Load (% of Rating) : 85.6  
Polished Rod Power (hp) : 60.8 Computed Surface Stroke (in) : 288

**\*\* ROD LOADING \*\***

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides (Counts/rod)</u>	<u>Loading</u>
1)	1.156	1533	29	0.2	N (0)	63
2)	1	2917	29	0.2	N (0)	63
3)	1.625	50	30.5	0.2	N (0)	20

Max Stress (surf.) (psi) : 32541 Min Stress (surf.) (psi) : 5153

**ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING**

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>COROD SWR</u>
1	135	103	56
0.9	155	117	63
0.8	181	136	72
0.7	217	161	84

**\*\* DOWNHOLE PERFORMANCE \*\***

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross :	271.2	891 (24h/d)	713 (24h/d)
Net :	265.3	872 (24h/d)	698 (24h/d)
Tubing Stretch (in)	: 7	Lost Displacement (bpd)	: 23
Loss Along Rod String (hp)	: 29.12	Pump Power (hp)	: 31.67
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 100

**\*\* Non-Dimensional Variables \*\***

Fo/S/Kr : 0.08 N/No' : 0.08

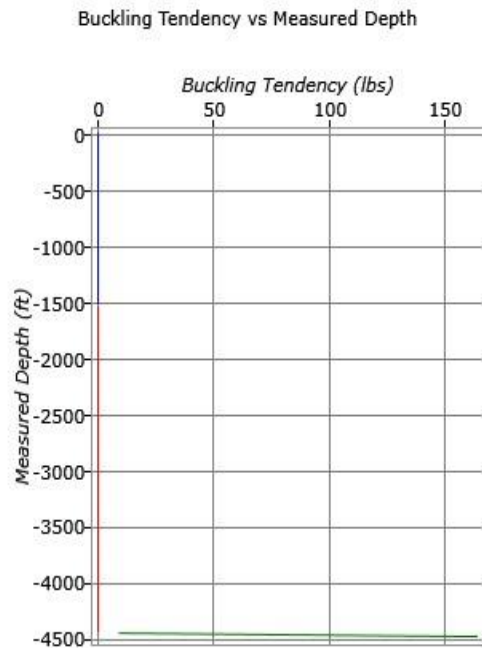
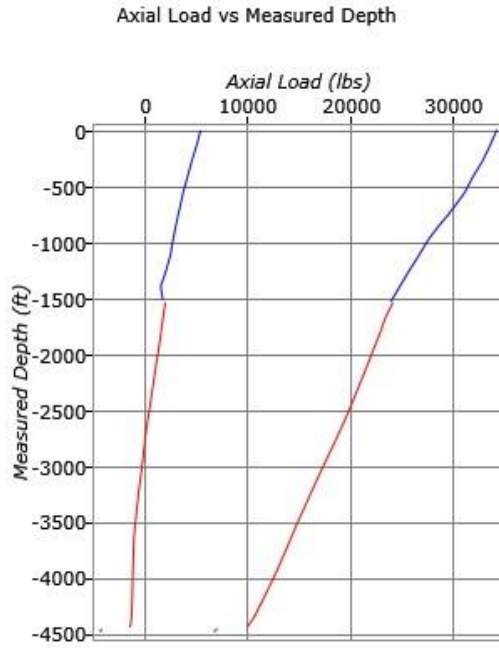
**\*\* OTHER BASIC DATA \*\***

Reducer Rating (in-lbs) : N/A Crank Rotation : N/A  
Overall Speed Ratio : N/A Rod Damping Factors : 0.05 / 0.15 (up/down)  
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) : 10977  
Total Load on Pump (lbs) : 10143 Pump Bore Size (in) : 2.5  
Pump Load Adjustment (lbs) : 0 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433  
Pump Depth (ft) : 4500 Pump Intake Pressure (psi) : 20  
Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 10677  
TV Load (lbs) : 21420

**\*\* AXIAL LOAD ~ BUCKLING TENDENCY \*\***

WELL NAME : CIRA4  
 ANALYST : JAP  
 DATA FILE : 4 DEC 2017.inp6e (BASE CASE)  
 Comments : FALLA TUBERIA

DATE/TIME : 7/10/2018 4:41:41 PM  
 WELL TYPE : Deviated



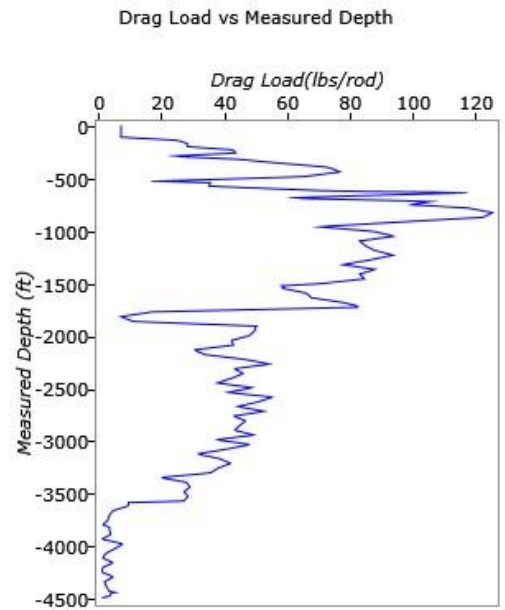
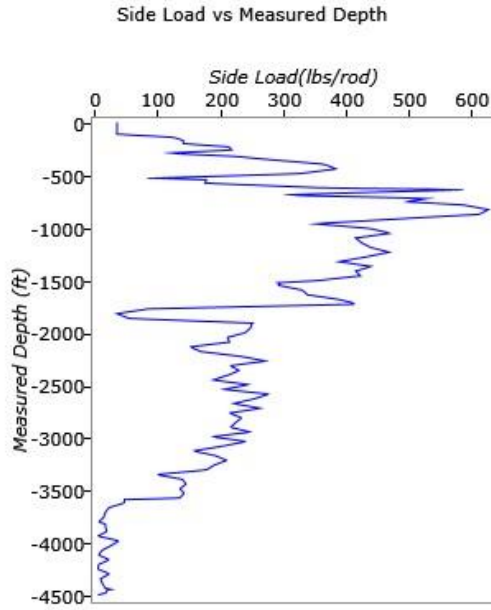
Rod Type	Rod Diam in (in)	Max Load (lbs)	Min Load (lbs)	Max Stress (psi)	Min Stress (psi)	% Rod Load @ 0.9
1. COROD SWR	1.156	34154	5409	32541	5153	63
2. COROD SWR	1	24109	1851	30696	2357	63
3. API D	1.625	7139	-4225	3442	-2037	20

Max Buckling (lbs) : 200  
 Location of Max Buckling (ft) : 4500  
 Buckling Starts at (ft) : 4463

**\*\* SIDE/DRAG LOAD \*\***

WELL NAME : CIRA4  
ANALYST : JAP  
DATA FILE : 4 DEC 2017.inp6e (BASE CASE)  
Comments : FALLA TUBERIA

DATE/TIME : 7/10/2018 4:41:43 PM  
WELL TYPE : Deviated

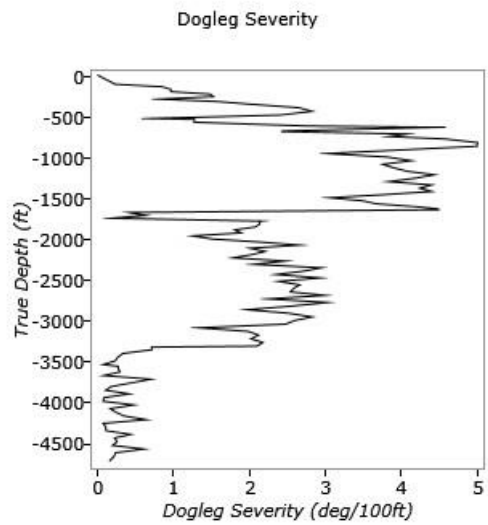
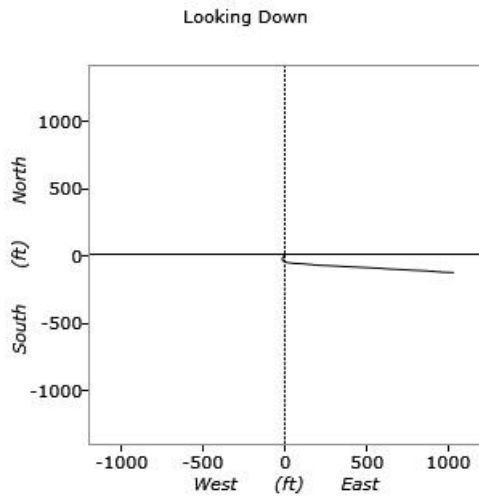
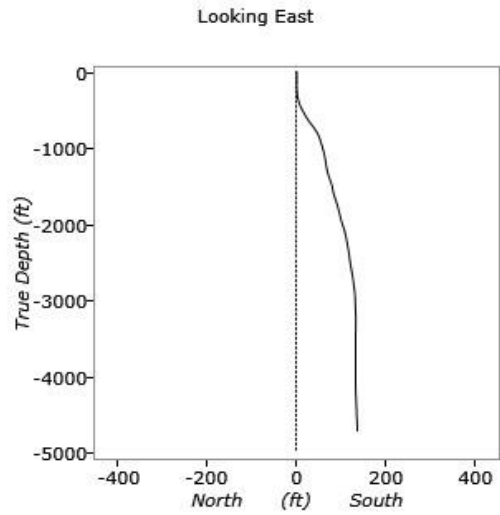
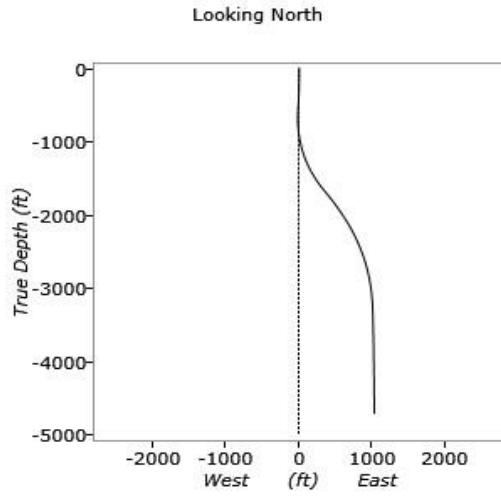


Max Side Load (lbs/rod) : 625  
Max Drag Load (lbs/rod) : 125  
Rod Length for Steel/Fiberglass (ft/ft) : 25/37.5

**\*\* WELL DEVIATION \*\***

WELL NAME : CIRA4  
ANALYST : JAP  
DATA FILE : 4 DEC 2017.inp6e (BASE CASE)  
Comments : FALLA TUBERIA

DATE/TIME : 7/10/2018 4:41:44 PM  
WELL TYPE : Deviated





**\*\* DOWNHOLE PERFORMANCE \*\***

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross :	175.2	1231 (24h/d)	985 (24h/d)
Net :	170.4	1197 (24h/d)	958 (24h/d)
Tubing Stretch (in)	: 4.9	Lost Displacement (bpd)	: 34
Loss Along Rod String (hp)	: 21.62	Pump Power (hp)	: 32.44
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 100

**\*\* Non-Dimensional Variables \*\***

Fo/S/Kr	: 0.09	N/No'	: 0.12
---------	--------	-------	--------

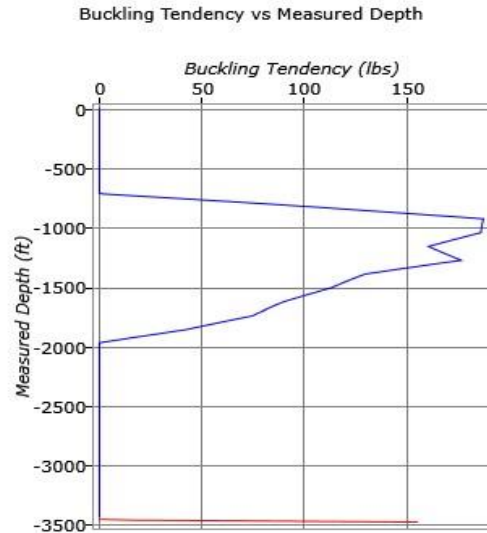
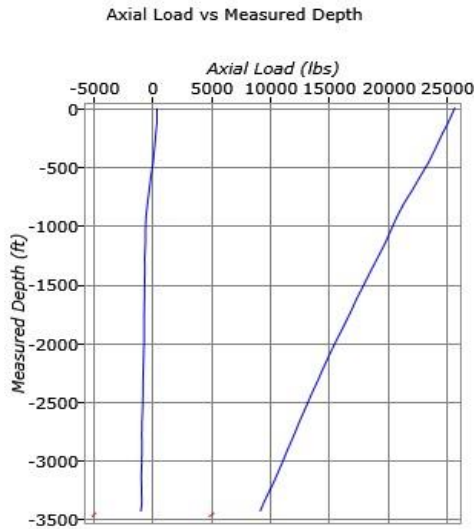
**\*\* OTHER BASIC DATA \*\***

Reducer Rating (in-lbs)	: 912	Crank Rotation	: (CC'WISE) - Well to right
Overall Speed Ratio	: 143.8	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 8195
Total Load on Pump (lbs)	: 9087	Pump Bore Size (in)	: 2.75
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 3490	Pump Intake Pressure (psi)	: 100
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 7895
TV Load (lbs)	: 17582		

**\*\* AXIAL LOAD ~ BUCKLING TENDENCY \*\***

WELL NAME : INFA 6  
 ANALYST : JUAN PRADA  
 DATA FILE : 6 INFA-Tesis.inp6e (BASE CASE)  
 Comments : VARILLA PARTIDA

DATE/TIME : 7/6/2018 8:57:26 AM  
 COMPANY : PROYECTO LCI  
 WELL TYPE : Deviated



Rod Type	Rod Diam in (in)	Max Load (lbs)	Min Load (lbs)	Max Stress (psi)	Min Stress (psi)	% Rod Load @ 0.9
1. COROD SWR	1	25526	429	32501	547	69
2. API D	2	5314	-4850	1692	-1544	12

---

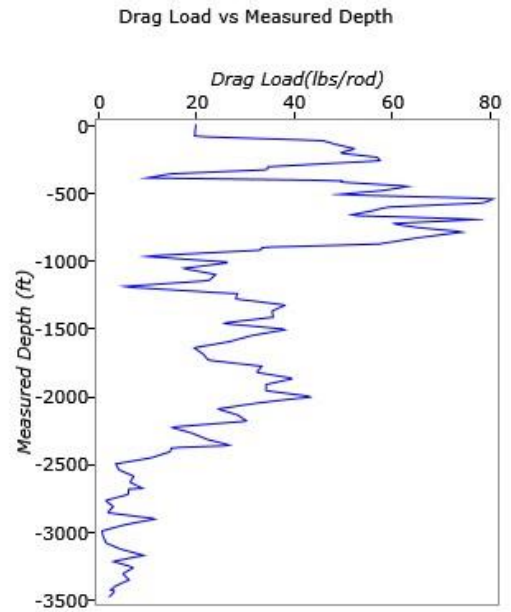
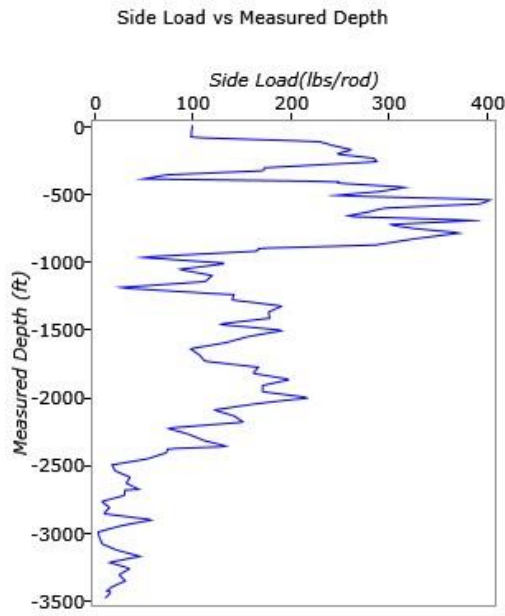
Max Buckling (lbs) : 204  
Location of Max Buckling (ft) : 3490  
Buckling Starts at (ft) : 721

**\*\* SIDE/DRAG LOAD \*\***

WELL NAME : INFA 6  
ANALYST : JUAN PRADA  
DATA FILE : 6 INFA-Tesis.inp6e (BASE CASE)  
Comments : VARILLA PARTIDA

DATE/TIME : 7/6/2018 8:57:30 AM  
COMPANY : PROYECTO LCI  
WELL TYPE : Deviated

---

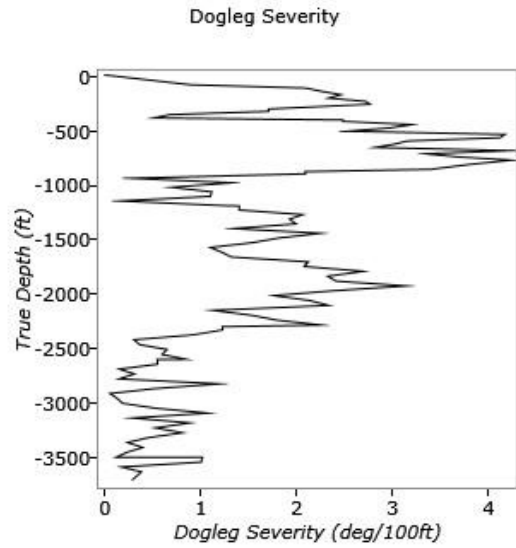
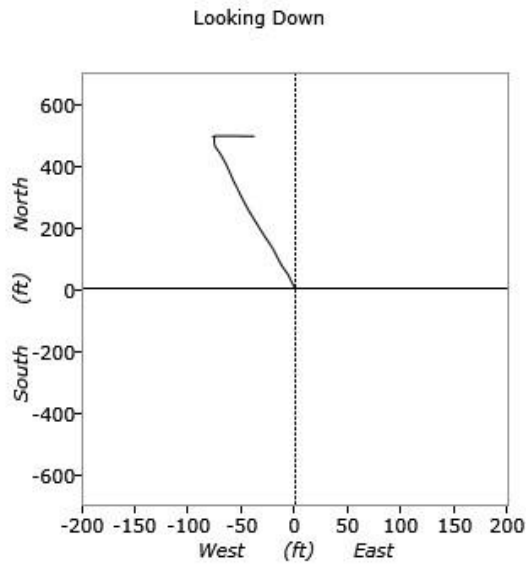
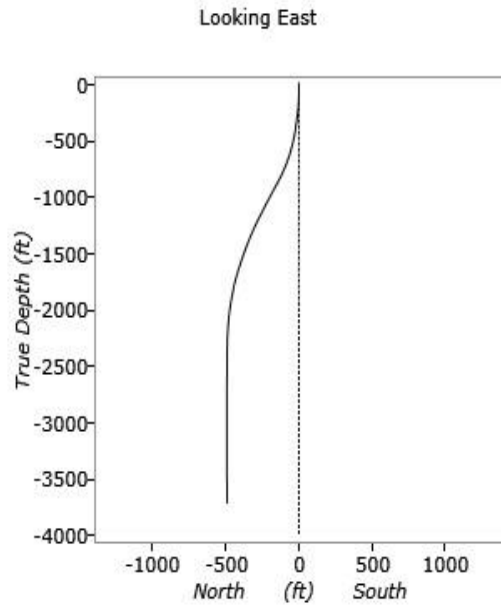
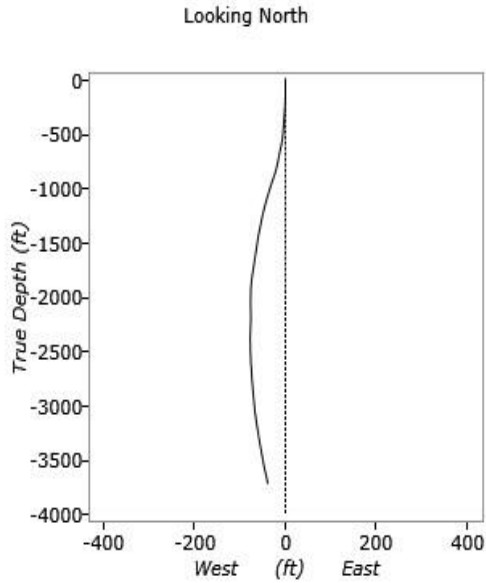


Max Side Load (lbs/rod) : 402  
Max Drag Load (lbs/rod) : 80  
Rod Length for Steel/Fiberglass : 25/37.5  
(ft/ft)

**\*\* WELL DEVIATION \*\***

WELL NAME : INFA 6  
ANALYST : JUAN PRADA  
DATA FILE : 6 INFA-Tesis.inp6e (BASE CASE)  
Comments : VARILLA PARTIDA

DATE/TIME : 7/6/2018 8:57:30 AM  
COMPANY : PROYECTO LCI  
WELL TYPE : Deviated



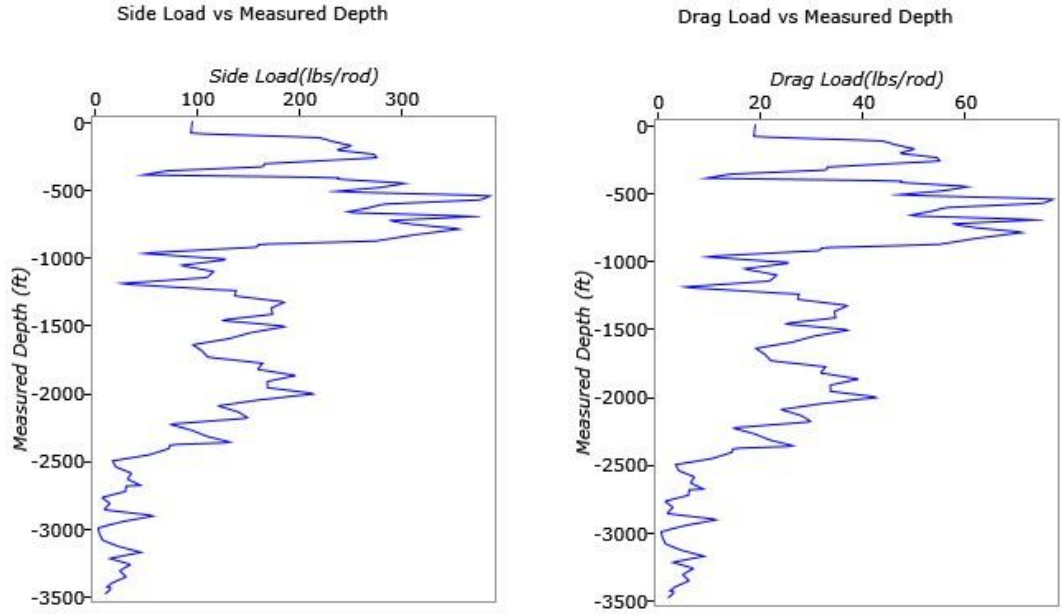




**\*\* SIDE/DRAG LOAD \*\***

WELL NAME : INFA 6  
ANALYST : JUAN PRADA  
DATA FILE : 6 INFA-Tesis.inp6e (BASE CASE)  
Comments : VARILLA PARTIDA

DATE/TIME : 7/6/2018 9:00:22 AM  
COMPANY : PROYECTO LCI  
WELL TYPE : Deviated

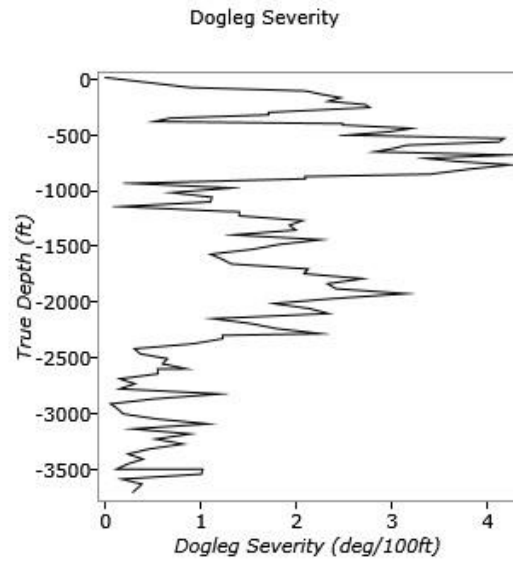
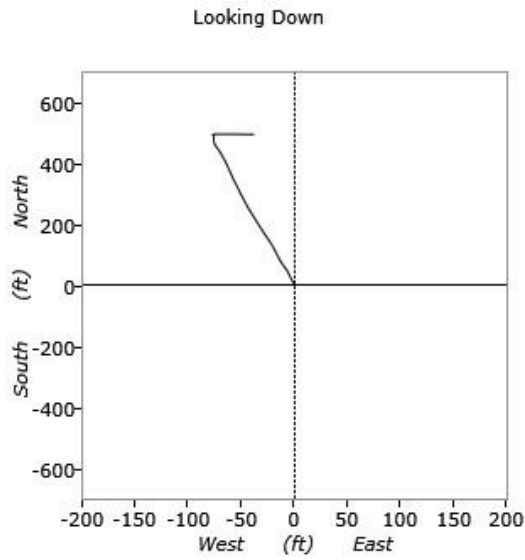
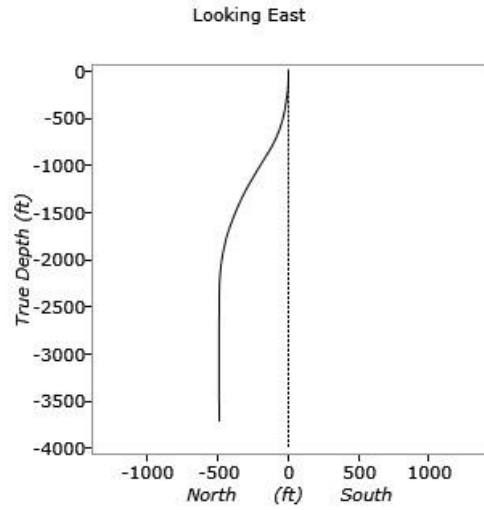
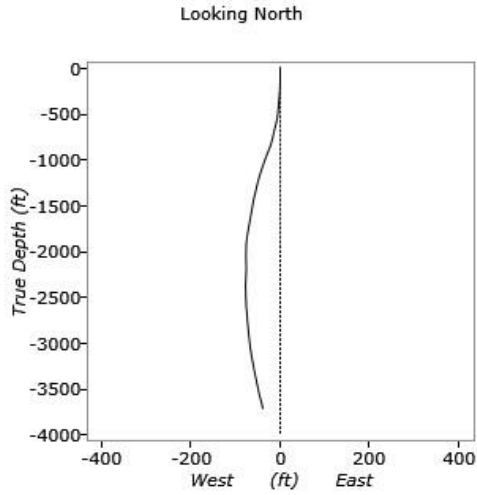


Max Side Load (lbs/rod) : 384  
Max Drag Load (lbs/rod) : 77  
Rod Length for Steel/Fiberglass : 25/37.5  
(ft/ft)

**\*\* WELL DEVIATION \*\***

WELL NAME : INFA 6  
 ANALYST : JUAN PRADA  
 DATA FILE : 6 INFA-Tesis.inp6e (BASE CASE)  
 Comments : VARILLA PARTIDA

DATE/TIME : 7/6/2018 9:00:23 AM  
 COMPANY : PROYECTO LCI  
 WELL TYPE : Deviated



**UNIDAD TUNDRA**



BHGE  
Lufkin Industries LLC

T + 1 281 495 1100 (Automatior  
www.bhge.com

**SROD v8.1.1000 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE**

WELL NAME : INFA 6 DATE/TIME : 7/6/2018 8:59:02 AM  
 ANALYST : JUAN PRADA COMPANY : PROYECTO LCI  
 DATA FILE : 6 INFA-Tesis.inp6e (BASE CASE) WELL TYPE : Deviated  
 COMMENTS : VARILLA PARTIDA

**\*\* PRIME MOVER \*\***

Mfgr and Type : G.E. 100 HP KOF  
 Est. Power Required (hp) : 89.87 Motor Load (% of Rating) : 89.9

**\*\* PUMPING UNIT \*\***

Mfgr and Type : Hydraulic unit LM912-427-192  
 Actual Max Load (lbs) : 24683 Actual Min Load (lbs) : 3644  
 Average Pumping Speed (spm) : 4.5 Max Load (% of Rating) : 61.7  
 Polished Rod Power (hp) : 44.94 Computed Surface Stroke (in) : 288

**\*\* ROD LOADING \*\***

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides (Counts/rod)</u>	<u>Loading</u>
1) 1		3440	29	0.2	N (0)	61
2) 2		50	30.5	0.2	N (0)	12

Max Stress (surf.) (psi) : 31299 Min Stress (surf.) (psi) : 4767

**ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING**

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>COROD SWR</u>
1	130	100	54
0.9	148	113	61
0.8	173	130	70
0.7	206	154	81

**\*\* DOWNHOLE PERFORMANCE \*\***

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross :	275.1	1091 (24h/d)	873 (24h/d)
Net :	270.6	1073 (24h/d)	858 (24h/d)
Tubing Stretch (in) :	4.9	Lost Displacement (bpd)	19
Loss Along Rod String (hp) :	16.11	Pump Power (hp)	28.82
Tubing Size (in) :	3.5	Tubing Anchor Location (ft)	0
Pump Spacing Guide (in) :	N/A	Pump Fillage (%)	100

**\*\* Non-Dimensional Variables \*\***

Fo/S/Kr : 0.06 N/No' : 0.07

**\*\* OTHER BASIC DATA \*\***

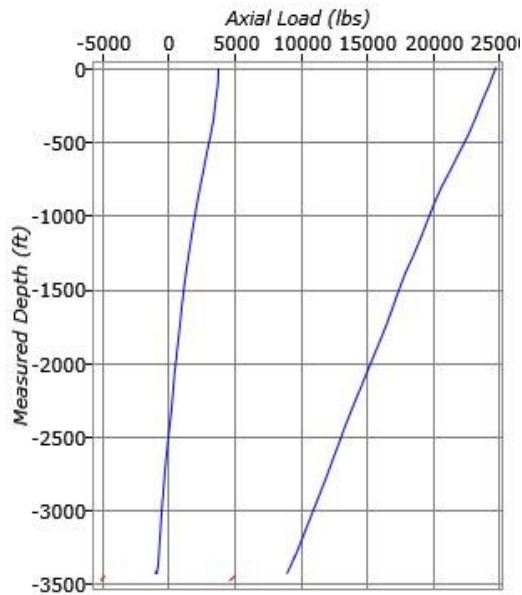
Reducer Rating (in-lbs) : N/A Crank Rotation : N/A  
 Overall Speed Ratio : N/A Rod Damping Factors : 0.05 / 0.15 (up/down)  
 Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) : 8195  
 Total Load on Pump (lbs) : 9087 Pump Bore Size (in) : 2.75  
 Pump Load Adjustment (lbs) : 0 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433  
 Pump Depth (ft) : 3490 Pump Intake Pressure (psi) : 100  
 Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 7895  
 TV Load (lbs) : 17582

**\*\* AXIAL LOAD ~ BUCKLING TENDENCY \*\***

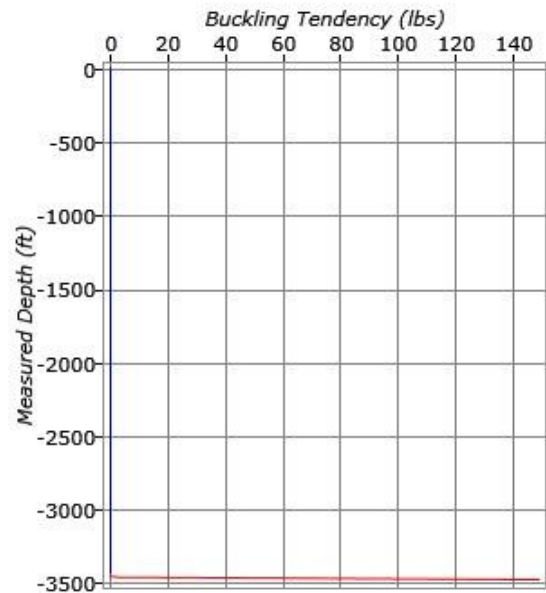
WELL NAME : INFA 6  
 ANALYST : JUAN PRADA  
 DATA FILE : 6 INFA-Tesis.inp6e (BASE CASE)  
 Comments : VARILLA PARTIDA

DATE/TIME : 7/6/2018 8:59:02 AM  
 COMPANY : PROYECTO LCI  
 WELL TYPE : Deviated

**Axial Load vs Measured Depth**



**Buckling Tendency vs Measured Depth**



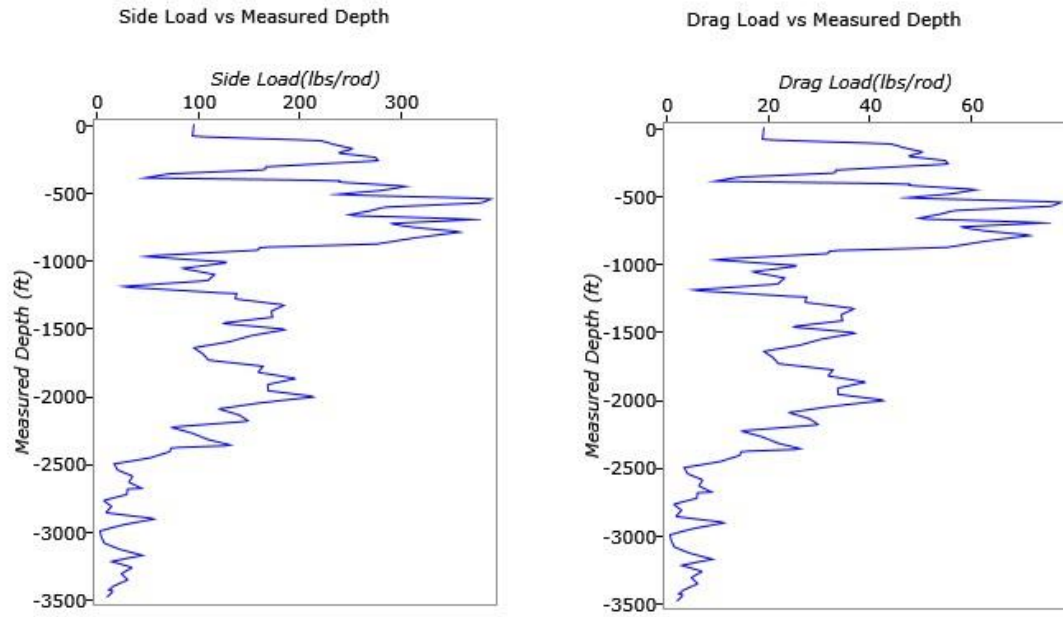
Rod Type	Rod Diam in (in)	Max Load (lbs)	Min Load (lbs)	Max Stress (psi)	Min Stress (psi)	% Rod Load @ 0.9
1. COROD SWR	1	24583	3744	31299	4767	61
2. API D	2	5104	-4825	1625	-1536	12

Max Buckling (lbs) : 200  
 Location of Max Buckling (ft) : 3490  
 Buckling Starts at (ft) : 3467

**\*\* SIDE/DRAG LOAD \*\***

WELL NAME : INFA 6  
ANALYST : JUAN PRADA  
DATA FILE : 6 INFA-Tesis.inp6e (BASE CASE)  
Comments : VARILLA PARTIDA

DATE/TIME : 7/6/2018 8:59:04 AM  
COMPANY : PROYECTO LCI  
WELL TYPE : Deviated



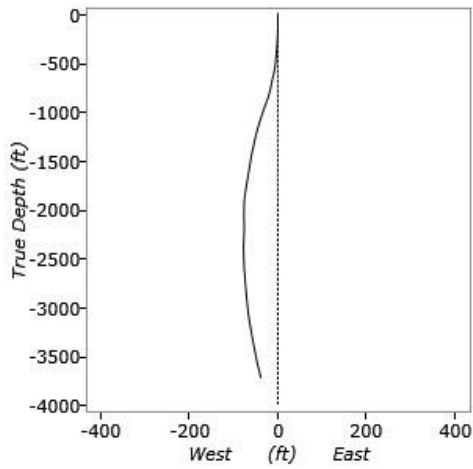
Max Side Load (lbs/rod) : 387  
Max Drag Load (lbs/rod) : 77  
Rod Length for Steel/Fiberglass : 25/37.5  
(ft/ft)

**\*\* WELL DEVIATION \*\***

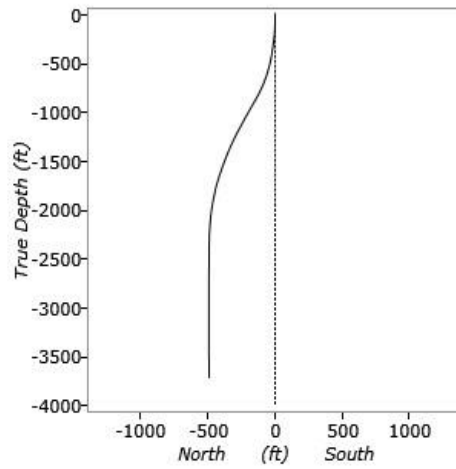
WELL NAME : INFA 6  
 ANALYST : JUAN PRADA  
 DATA FILE : 6 INFA-Tesis.inp6e (BASE CASE)  
 Comments : VARILLA PARTIDA

DATE/TIME : 7/6/2018 8:59:04 AM  
 COMPANY : PROYECTO LCI  
 WELL TYPE : Deviated

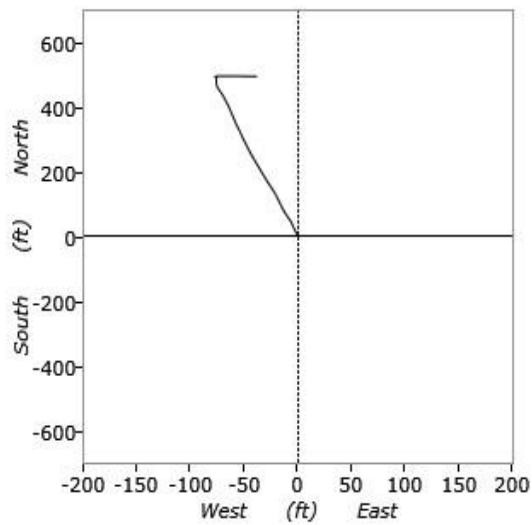
Looking North



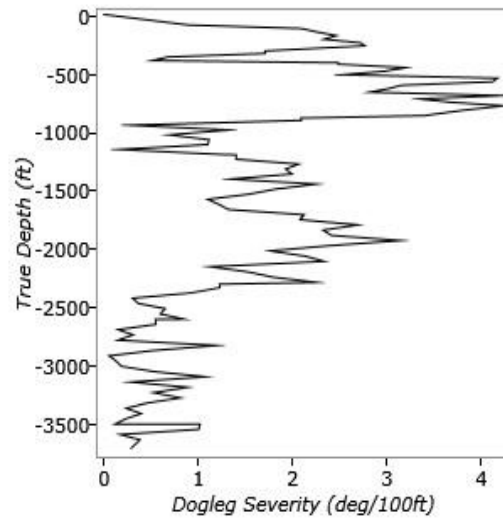
Looking East



Looking Down



Dogleg Severity



# DISEÑO DE LAS UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO DEL POZO 3

## UNIDAD CONVENCIONAL



BHGE  
Lufkin Industries LLC

T + 1 281 495 1100 (Automatior  
www.bhge.com

### SROD v8.1.1000 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : INF33 DATE/TIME : 7/6/2018 9:12:09 AM  
 ANALYST : JAP  
 DATA FILE : 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE) WELL TYPE : Deviated  
 COMMENTS : FALLA ROD

#### \*\* PRIME MOVER \*\*

Mfgr and Type : G.E. 100 HP KOF  
 Max Speed (rpm) : 1202 Speed Variation (%) : 12.4  
 Min Speed (rpm) : 1054 Cyclic Load Factor : 1.208  
 Power Required (hp) : 76.44 Peak Regenerative Power (hp) : -3.13  
 Motor Load (% of Rating) : 76.4 Prime Mover Output (hp) : 63.19  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 5.113

#### \*\* PUMPING UNIT \*\*

Mfgr and Type : MAXIMIZER II 1280-427-192 P13-122-55 CRANKS (C'WISE)  
 Actual Max Load (lbs) : 28608 Actual Min Load (lbs) : 1791  
 Average Pumping Speed (spm) : 7.96 Max Load (% of Rating) : 67  
 Polished Rod Power (hp) : 56.87 Unit and Drive Train Loss : 6.32 (hp)  
 Computed Surface Stroke (in) : 192.4

#### \*\* SUMMARY OF REDUCER LOADING \*\*

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	1235.7
Min Torque (m in-lbs)	-23.5
Counterbalance Moment (m in-lbs)	1535.3
Counterbalance Effect (X100 lbs)	177.32
Percent of Reducer Rating	96.5

#### \*\* ROD LOADING \*\*

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides (Counts/rod)</u>	<u>Loading</u>
1)	1	3640	29	0.2	N (0)	78
2)	1.625	50	30.5	0.2	N (0)	19

Max Stress (surf.) (psi) : 36298 Min Stress (surf.) (psi) : 2407

#### ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>PROROD 970N</u>
1	158	122	70
0.9	178	137	78
0.8	203	156	88
0.7	237	182	102

---

**\*\* DOWNHOLE PERFORMANCE \*\***

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross :	172.9	1213 (24h/d)	970 (24h/d)
Net :	167.6	1177 (24h/d)	942 (24h/d)
Tubing Stretch (in)	: 5.3	Lost Displacement (bpd)	: 37
Loss Along Rod String (hp)	: 24.22	Pump Power (hp)	: 32.65
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 0
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 100

---

**\*\* Non-Dimensional Variables \*\***

Fo/S/Kr	: 0.09	N/No'	: 0.12
---------	--------	-------	--------

---

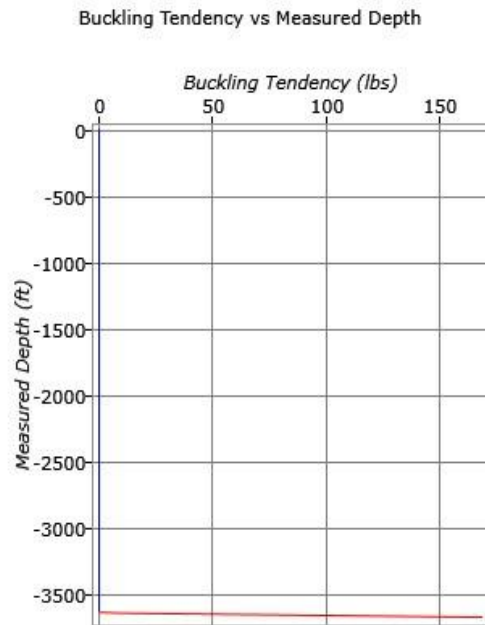
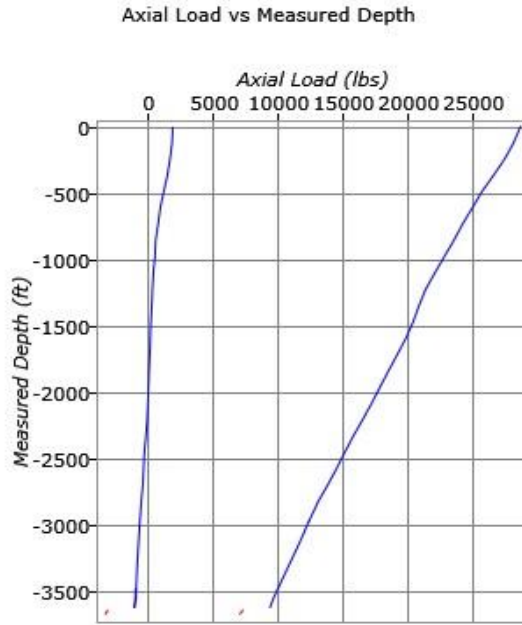
**\*\* OTHER BASIC DATA \*\***

Reducer Rating (in-lbs)	: 1280	Crank Rotation	: (C'WISE) - Well to right
Overall Speed Ratio	: 143.4	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 8423
Total Load on Pump (lbs)	: 9310	Pump Bore Size (in)	: 2.75
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 3690	Pump Intake Pressure (psi)	: 20
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 8123
TV Load (lbs)	: 18033		

**\*\* AXIAL LOAD ~ BUCKLING TENDENCY \*\***

WELL NAME : INFA3  
 ANALYST : JAP  
 DATA FILE : 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE)  
 Comments : FALLA ROD

DATE/TIME : 7/6/2018 9:12:10 AM  
 WELL TYPE : Deviated



Rod Type	Rod Diam in(in)	Max Load(lbs)	Min Load(lbs)	Max Stress (psi)	Min Stress (psi)	% Rod Load @ 0.9
1. PROROD 970N	1	28508	1891	36298	2407	78
2. API D	1.625	7281	-3191	3511	-1539	19

Max Buckling (lbs) : 199  
 Location of Max Buckling (ft) : 3690  
 Buckling Starts at (ft) : 3653

**\*\* SIDE/DRAG LOAD \*\***

WELL NAME : INFA3

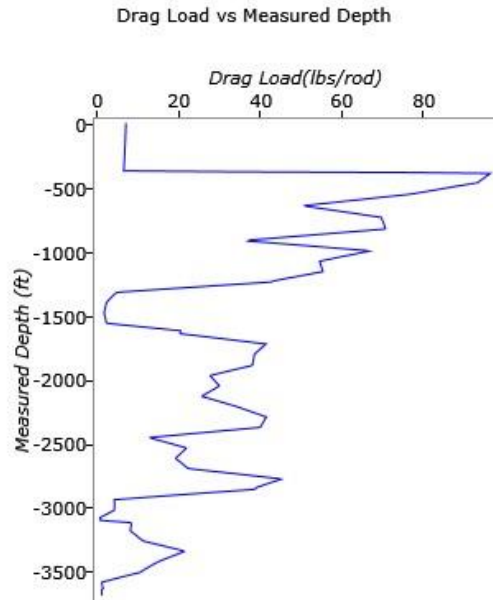
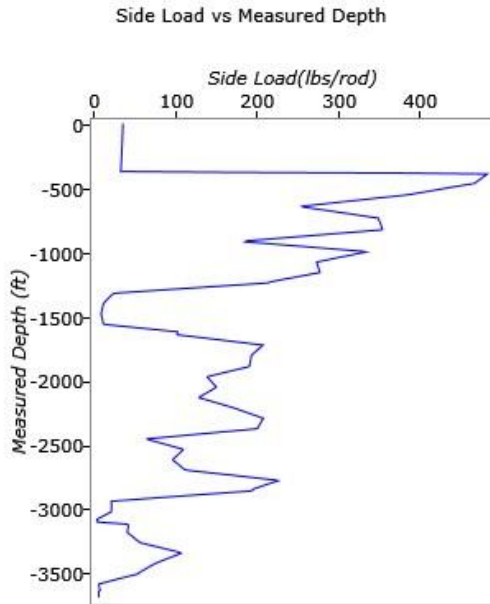
DATE/TIME : 7/6/2018 9:12:11 AM

ANALYST : JAP

DATA FILE : 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE)

WELL TYPE : Deviated

Comments : FALLA ROD

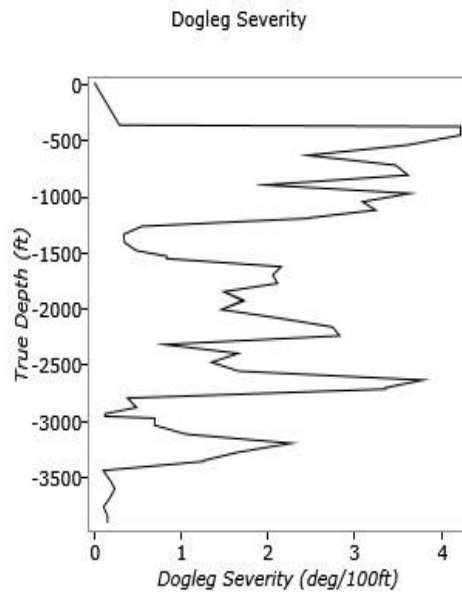
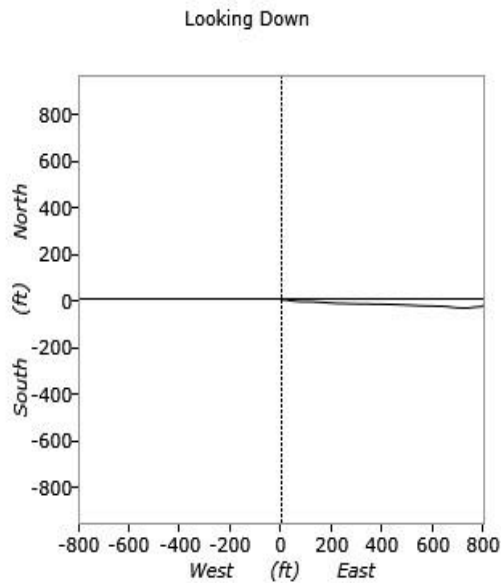
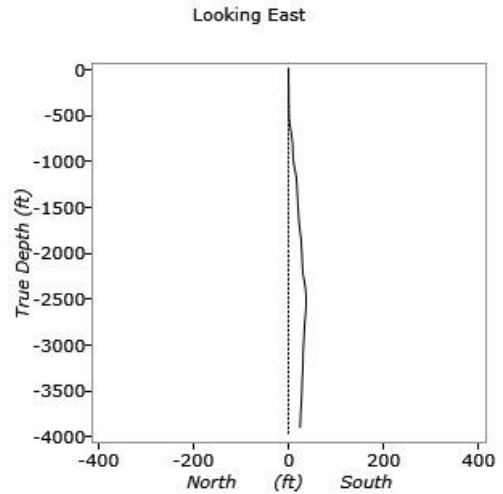
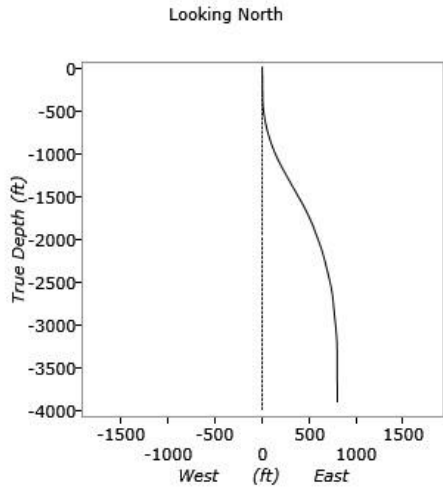


Max Side Load (lbs/rod) : 482  
Max Drag Load (lbs/rod) : 96  
Rod Length for Steel/Fiberglass : 25/37.5  
(ft/ft)

**\*\* WELL DEVIATION \*\***

WELL NAME INFA3 DATE/TIME : 7/6/2018 9:12:12 AM  
:  
ANALYST JAP  
:  
DATA FILE 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE) WELL TYPE : Deviated  
:  
Comments FALLA ROD  
:  
:

---



**UNIDAD ROTAFLEX**



BHGE  
Lufkin Industries LLC

T + 1 281 495 1100 (Automati  
www.bhge.com

**SROD v8.1.1000 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE**

WELL NAME : INFA3 DATE/TIME : 7/6/2018 9:13:09 AM  
 ANALYST : JAP  
 DATA FILE : 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE) WELL TYPE : Deviated  
 COMMENTS : FALLA ROD

**\*\* PRIME MOVER \*\***

Mfgr and Type : G.E. 100 HP KOF  
 Max Speed (rpm) : 1201 Speed Variation (%) : 6.1  
 Min Speed (rpm) : 1128 Cyclic Load Factor : 1.066  
 Power Required (hp) : 61.67 Peak Regenerative Power (hp) : -1.85  
 Motor Load (% of Rating) : 61.7 Prime Mover Output (hp) : 54.3  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.497

**\*\* PUMPING UNIT \*\***

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 26183 Actual Min Load (lbs) : 4105  
 Average Pumping Speed (spm) : 4.49 Max Load (% of Rating) : 72.7  
 Polished Rod Power (hp) : 48.87 Unit and Drive Train Loss (hp) : 5.43  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

**\*\* SUMMARY OF REDUCER LOADING \*\***

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	189.7
Min Torque (m in-lbs)	-4.4
Counterbalance Moment (lbs)	15066
Percent of Reducer Rating	59.3

**\*\* ROD LOADING \*\***

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides (Counts/rod)</u>	<u>Loading</u>
1)	1	3640	29	0.2	N (0)	67
2)	1.625	50	30.5	0.2	N (0)	19
Max Stress (surf.) (psi) :			33210	Min Stress (surf.) (psi)		: 5354

**ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING**

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>PROROD 970N</u>
1	138	105	60
0.9	158	120	67
0.8	185	139	77
0.7	223	165	90

**\*\* DOWNHOLE PERFORMANCE \*\***

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross :	277	1097 (24h/d)	878 (24h/d)
Net :	272.1	1078 (24h/d)	862 (24h/d)
Tubing Stretch (in) :	5.3	Lost Displacement (bpd)	: 21
Loss Along Rod String (hp)	: 19.22	Pump Power (hp)	: 29.65



**\*\* SIDE/DRAG LOAD \*\***

WELL NAME : INFA3

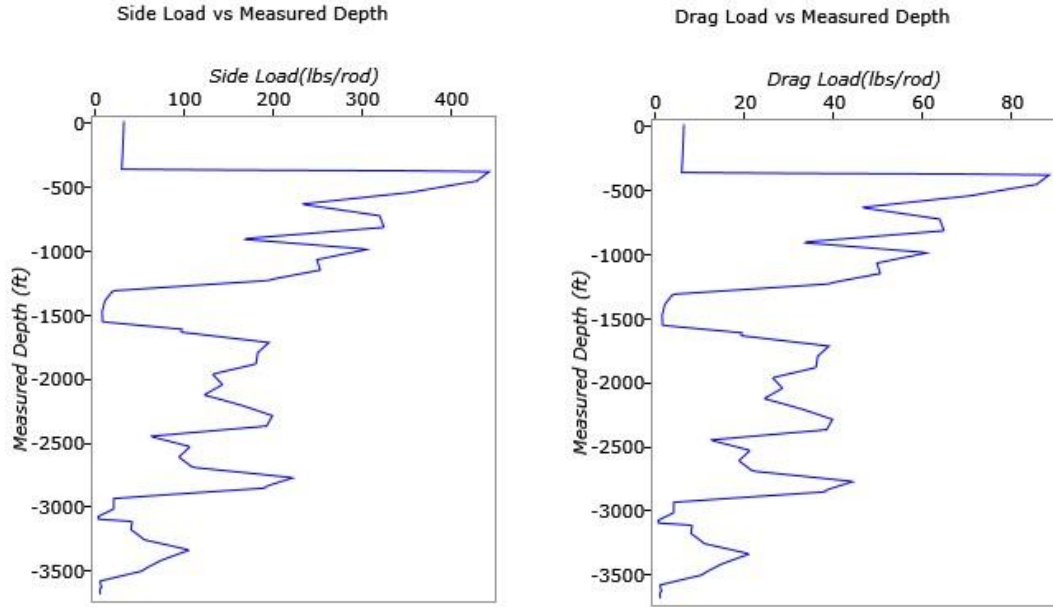
DATE/TIME : 7/6/2018 9:13:11 AM

ANALYST : JAP

DATA FILE : 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE)

WELL TYPE : Deviated

Comments : FALLA ROD



Max Side Load (lbs/rod) : 442  
Max Drag Load (lbs/rod) : 88  
Rod Length for Steel/Fiberglass (ft/ft) : 25/37.5

**\*\* WELL DEVIATION \*\***

WELL NAME : INFA3

DATE/TIME : 7/6/2018 9:13:12 AM

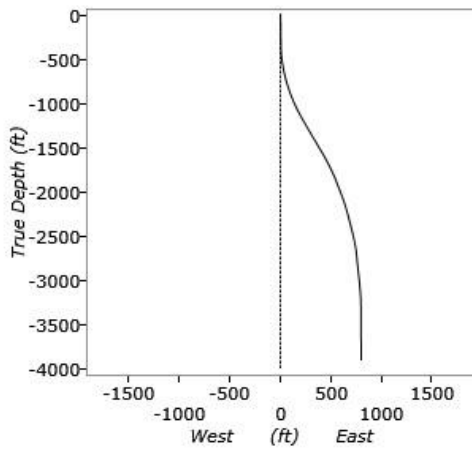
ANALYST : JAP

DATA FILE : 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE)

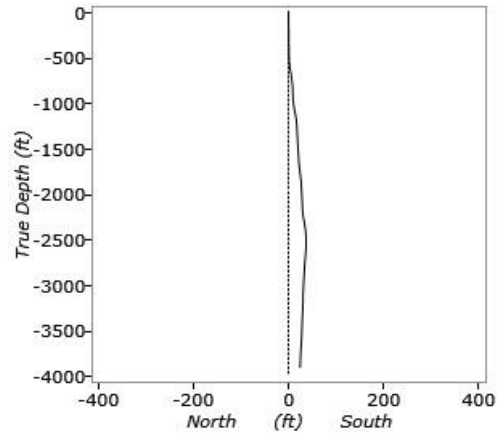
WELL TYPE : Deviated

Comments : FALLA ROD

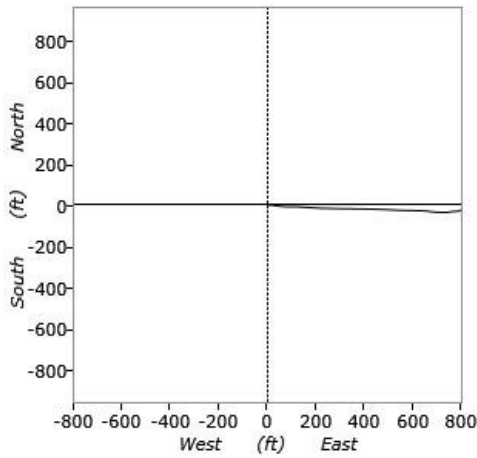
Looking North



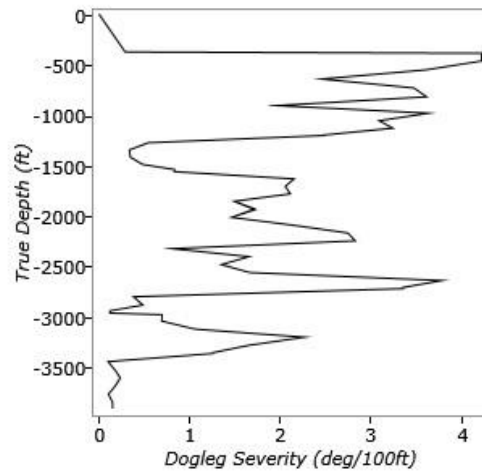
Looking East



Looking Down



Dogleg Severity



# UNIDAD TUNDRA



BHGE  
Lufkin Industries LLC  
T + 1 281 495 1100 (Automation)  
www.bhge.com

## SROD v8.1.1000 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : INFA3 DATE/TIME : 7/6/2018 9:14:11 AM  
 ANALYST : JAP  
 DATA FILE : 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE) WELL TYPE : Deviated  
 COMMENTS : FALLA ROD

### \*\* PRIME MOVER \*\*

Mfgr and Type : G.E. 100 HP KOF  
 Est. Power Required (hp) : 96.51 Motor Load (% of Rating) : 96.5

### \*\* PUMPING UNIT \*\*

Mfgr and Type : Hydraulic unit EVI900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 26501 Actual Min Load (lbs) : 3966  
 Average Pumping Speed (spm) : 4.5 Max Load (% of Rating) : 66.3  
 Polished Rod Power (hp) : 48.26 Computed Surface Stroke (in) : 288

### \*\* ROD LOADING \*\*

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides (Counts/rod)</u>	<u>Loading</u>
1)	1	3640	29	0.2	N (0)	68
2)	1.625	50	30.5	0.2	N (0)	18

Max Stress (surf.) (psi) : 33615 Min Stress (surf.) (psi) : 5178  
**ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING**

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>PROROD 970N</u>
1	141	107	61
0.9	161	122	68
0.8	188	141	78
0.7	225	167	91

### \*\* DOWNHOLE PERFORMANCE \*\*

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross :	272.8	1082 (24h/d)	866 (24h/d)
Net :	267.9	1063 (24h/d)	850 (24h/d)
Tubing Stretch (in) :	5.3	Lost Displacement (bpd) :	21
Loss Along Rod String (hp) :	19.02	Pump Power (hp) :	29.24
Tubing Size (in) :	3.5	Tubing Anchor Location (ft) :	0
Pump Spacing Guide (in) :	N/A	Pump Fillage (%) :	100

### \*\* Non-Dimensional Variables \*\*

Fo/S/Kr : 0.06 N/No' : 0.07

### \*\* OTHER BASIC DATA \*\*

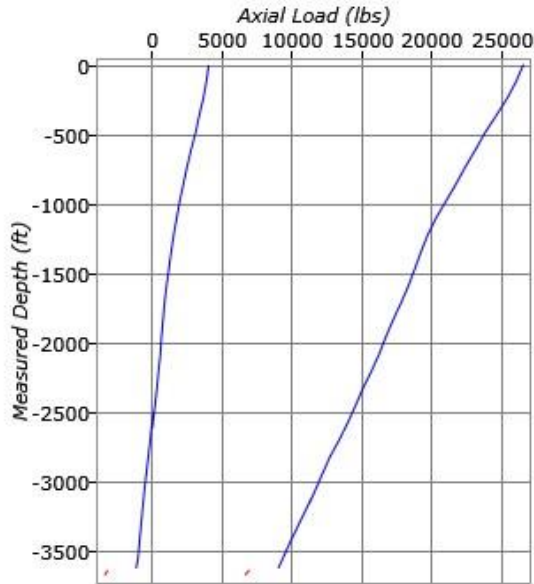
Reducer Rating (in-lbs) : N/A Crank Rotation : N/A  
 Overall Speed Ratio : N/A Rod Damping Factors : 0.05 / 0.15  
 (up/down)  
 Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A Buoyant Rod Weight (lbs) : 8423  
 Total Load on Pump (lbs) : 9310 Pump Bore Size (in) : 2.75  
 Pump Load Adjustment (lbs) : 0 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.433  
 Pump Depth (ft) : 3690 Pump Intake Pressure (psi) : 20  
 Pump Friction (lbs) : 200 SV Load (lbs) : 8123  
 TV Load (lbs) : 18033

**\*\* AXIAL LOAD ~ BUCKLING TENDENCY \*\***

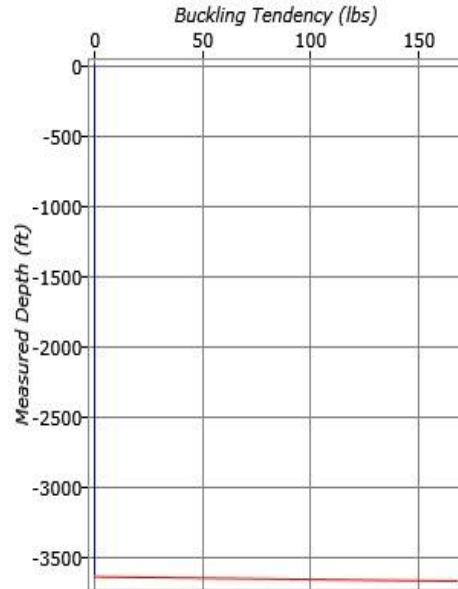
WELL NAME : INF33  
 ANALYST : JAP  
 DATA FILE : 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE)  
 Comments : FALLA ROD

DATE/TIME : 7/6/2018 9:14:12 AM  
 WELL TYPE : Deviated

**Axial Load vs Measured Depth**



**Buckling Tendency vs Measured Depth**



Rod Type	Rod Diam in (in)	Max Load (lbs)	Min Load (lbs)	Max Stress (psi)	Min Stress (psi)	% Rod Load @ 0.9
1. PROROD 970N	1	26401	4066	33615	5178	68
2. API D	1.625	6968	-3178	3360	-1533	18

Max Buckling (lbs) : 200  
 Location of Max Buckling (ft) : 3690  
 Buckling Starts at (ft) : 3659

**\*\* SIDE/DRAG LOAD \*\***

WELL NAME : INFA3

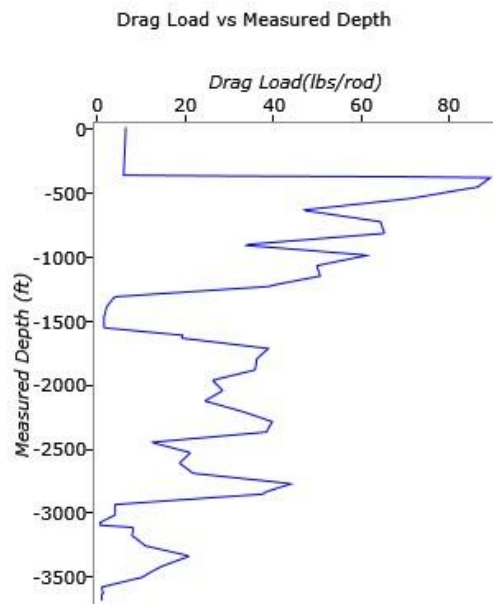
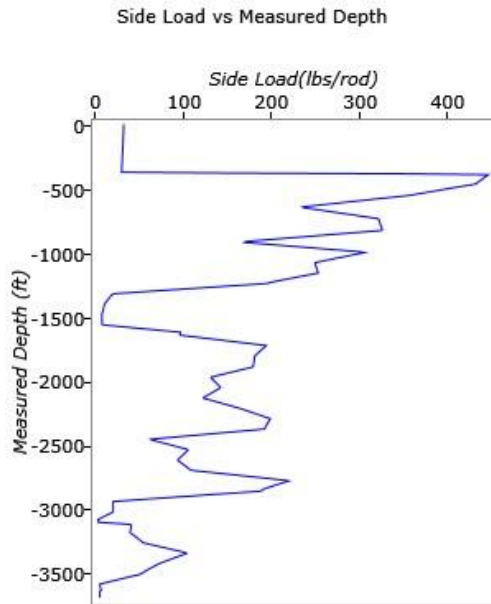
DATE/TIME : 7/6/2018 9:14:14 AM

ANALYST : JAP

DATA FILE : 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE)

WELL TYPE : Deviated

Comments : FALLA ROD



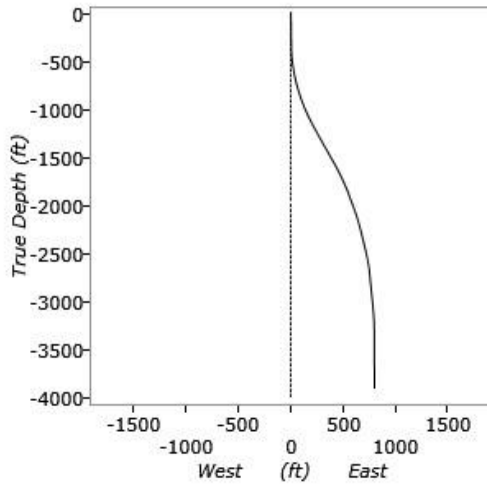
Max Side Load (lbs/rod) : 446  
Max Drag Load (lbs/rod) : 89  
Rod Length for Steel/Fiberglass : 25/37.5  
(ft/ft)

**\*\* WELL DEVIATION \*\***

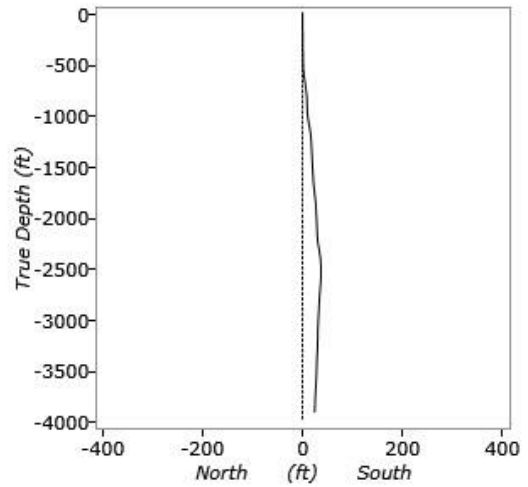
WELL NAME : INFA3  
 ANALYST : JAP  
 DATA FILE : 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE)  
 Comments : FALLA ROD

DATE/TIME : 7/6/2018 9:14:14 AM  
 WELL TYPE : Deviated

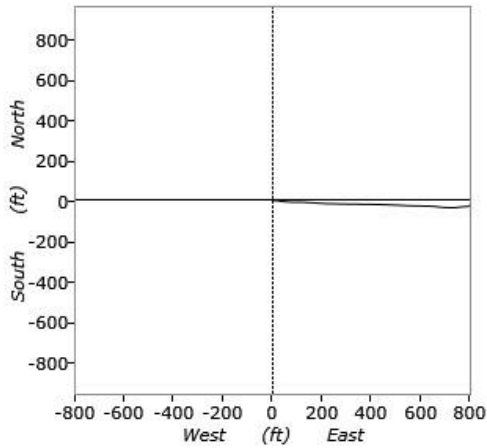
Looking North



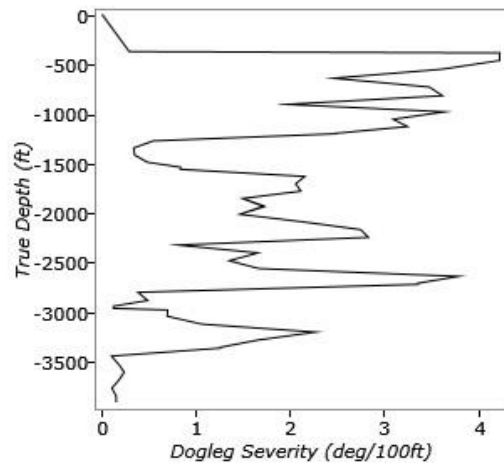
Looking East



Looking Down



Dogleg Severity







# DINAGRAMA SIMULADO UNIDAD TUNDRA

## \*\* DYN0 GRAPH \*\*

WELL NAME : CIRA4

DATE/TIME : 7/10/2018 4:41:43 PM

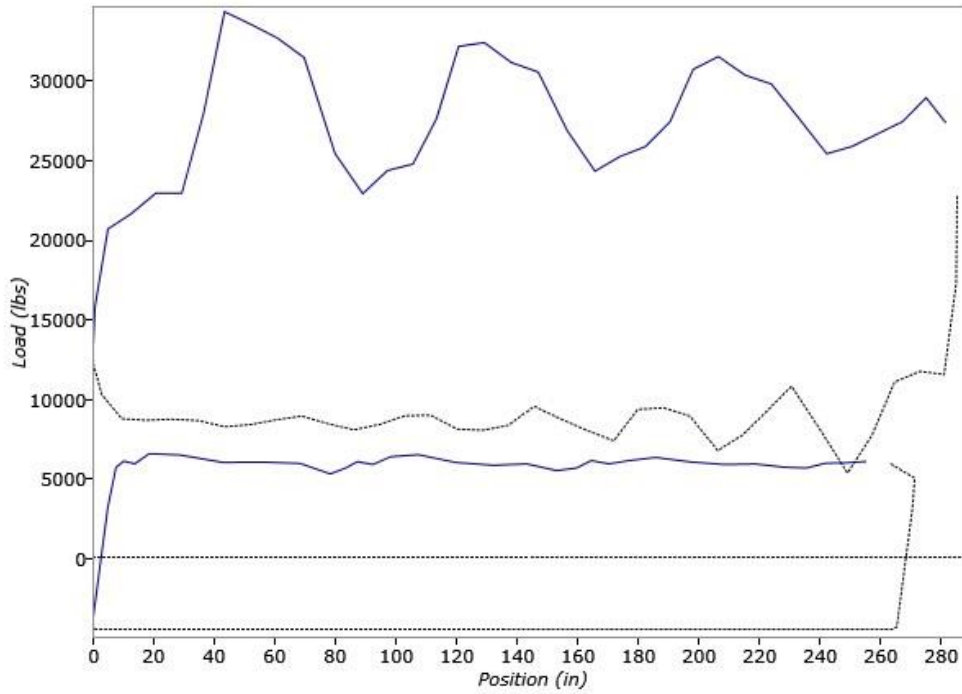
ANALYST : JAP

DATA FILE : 4 DEC 2017.inp6e (BASE CASE)

WELL TYPE : Deviated

Comments : FALLA TUBERIA

Dyno Surface and Pump Cards and Permissible Loads



# POZO 6

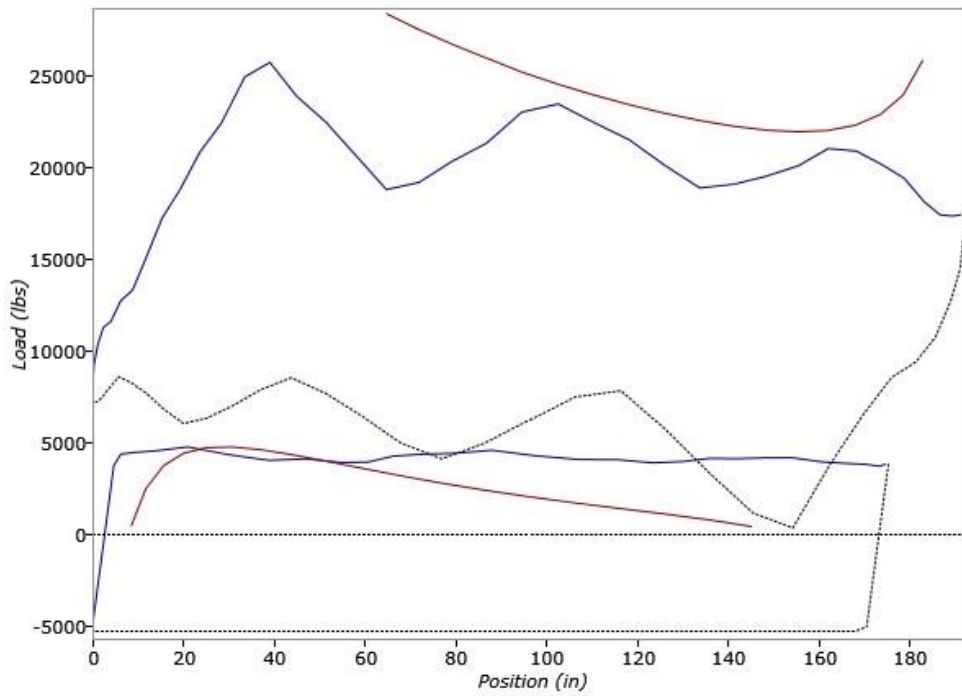
## DINAGRAMA SIMULADO UNIDAD CONVENCIONAL

### \*\* DYN0 GRAPH \*\*

WELL NAME : INFA 6  
ANALYST : JUAN PRADA  
DATA FILE : 6 INFA-Tesis.inp6e (BASE CASE)  
Comments : VARILLA PARTIDA

DATE/TIME : 7/6/2018 8:57:29 AM  
COMPANY : PROYECTO LCI  
WELL TYPE : Deviated

Dyno Surface and Pump Cards and Permissible Loads



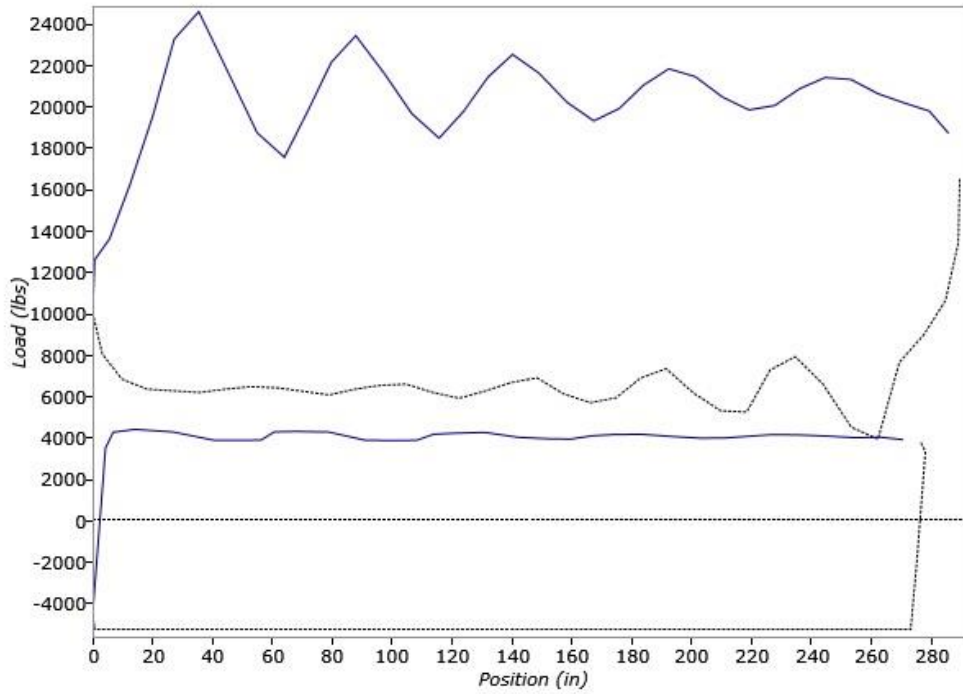
# DINAGRAMA SIMULADO UNIDAD ROTAFLEX

## \*\* DYN0 GRAPH \*\*

WELL NAME : INFA 6  
ANALYST : JUAN PRADA  
DATA FILE : 6 INFA-Tesis.inp6e (BASE CASE)  
Comments : VARILLA PARTIDA

DATE/TIME : 7/6/2018 9:00:22 AM  
COMPANY : PROYECTO LCI  
WELL TYPE : Deviated

Dyno Surface and Pump Cards and Permissible Loads



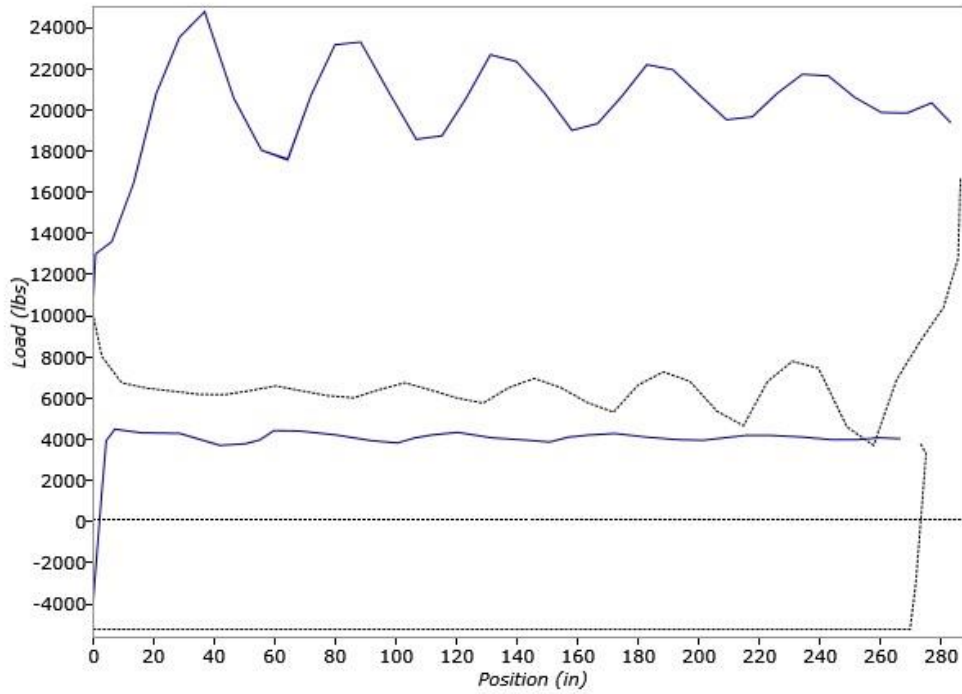
# DINAGRAMA SIMULADO UNIDAD TUNDRA

## \*\* DYN0 GRAPH \*\*

WELL NAME : INFA 6  
ANALYST : JUAN PRADA  
DATA FILE : 6 INFA-Tesis.inp6e (BASE CASE)  
Comments : VARILLA PARTIDA

DATE/TIME : 7/6/2018 8:59:04 AM  
COMPANY : PROYECTO LCI  
WELL TYPE : Deviated

Dyno Surface and Pump Cards and Permissible Loads





# DINAGRAMA SIMULADO UNIDAD ROTAFLEX

## \*\* DYN0 GRAPH \*\*

WELL NAME : INFA3

DATE/TIME : 7/6/2018 9:13:11 AM

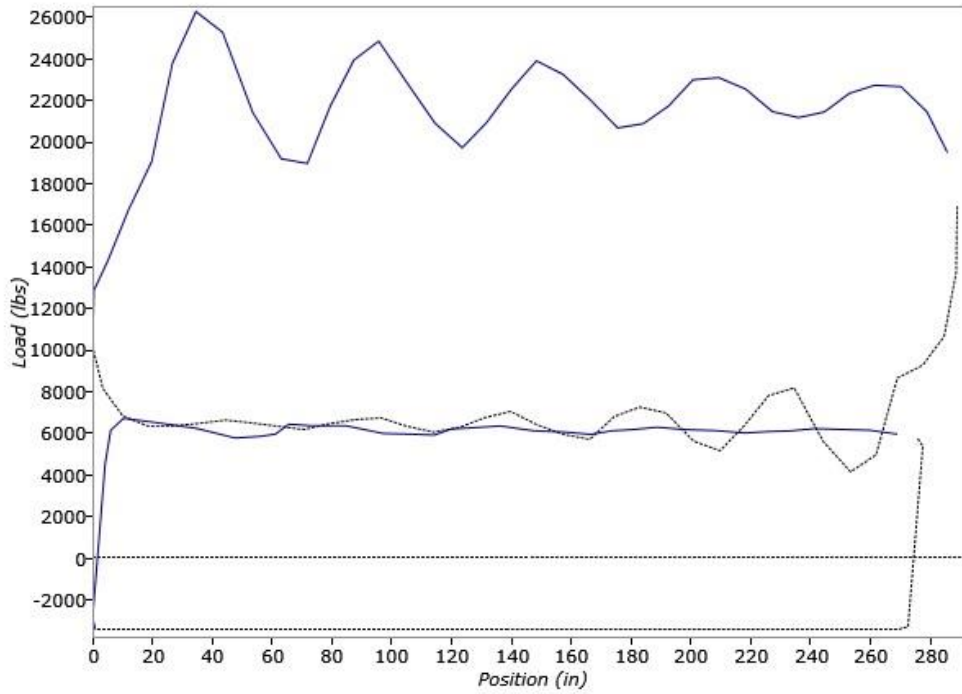
ANALYST : JAP

DATA FILE : 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE)

WELL TYPE : Deviated

Comments : FALLA ROD

Dyno Surface and Pump Cards and Permissible Loads



# DINAGRAMA SIMULADO UNIDAD TUNDRA

## \*\* DYN0 GRAPH \*\*

WELL NAME : INFA3

DATE/TIME : 7/6/2018 9:14:13 AM

ANALYST : JAP

DATA FILE : 3 -INFA Tesis.inp6e (BASE CASE)

WELL TYPE : Deviated

Comments : FALLA ROD

Dyno Surface and Pump Cards and Permissible Loads

