

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS**

**ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN  
DE UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO CON ROTAFLEX PARA  
EL ÁREA LIBERTADOR.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN  
PETRÓLEOS**

**JOSÉ MIGUEL BRASALES BORJA**  
jose.brasales@hotmail.com

**DIRECTOR: Msc. ING. VINICIO MELO**  
vinicio.melo@epn.edu.ec

**Quito, Mayo 2015**

## DECLARACIÓN

Yo, José Miguel Brasales Borja, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**José Miguel Brasales Borja**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por José Miguel Brasales Borja, bajo mi supervisión

---

**Ing. Vinicio Melo MSc**

## AGRADECIMIENTO

*Mi profundo agradecimiento a mis padres por su entrega, por su apoyo y compañía, ellos han sido los pilares fundamentales para el logro de este objetivo trascendental en mi formación universitaria, por las muestras de afecto y cariño que me han demostrado durante todo mi proceso de profesionalización.*

*Al Ing. Vinicio Melo, por las enseñanzas no solo académicas sino además de vida que ha compartido conmigo demostrándome que el esfuerzo, constancia y perseverancia son elementos claves para la consecución de las metas trazadas; a todas y cada una de las personas que de manera directa o indirecta forman parte de este trabajo por el apoyo incondicional brindado.*

*A todas y cada una de las personas que laboran en SHE, PETROAMAZONAS, HALLIBURTON por su contribución espontánea y profesional para haber logrado este objetivo.*

*Agradezco infinitamente a mis amigos de estudio que se han convertido en un pilar indispensable sabiendo demostrarme más que su compañerismo su amistad incondicional en este camino de formación a Walter, David, Victor, Andrés, Sindy, Raquel, Salome, Christian.*

***José Miguel Brasales Borja***

## DEDICATORIA

*Este trabajo lo dedico a todas las personas que han caminado junto a mí durante todo este período, alentándome, intentando sacar sonrisas de mis tristezas, demostrándome que la esperanza tiene que perdurar en mí y que siempre hay algo positivo para rescatar.*

*A las personas que buscan, que trabajan, que siembran, que ríen, que sueñan, que saben de soltar cargas y viajar livianos sin dejar jamás de caminar.*

***José Miguel Brasales Borja***

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	i
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
<b>SIMBOLOGÍA</b> .....	xiii
<b>RESUMEN</b> .....	xv
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	xvi
CAPÍTULO 1 .....	1
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA LIBERTADOR .....	1
1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA E HISTORIA .....	1
1.1.1 CAMPO ARAZÁ.....	1
1.1.2 CAMPO ATACAPI.....	2
1.1.3 CAMPO FRONTERA .....	3
1.1.4 CAMPO PICHINCHA .....	3
1.1.5 CAMPO TAPI.....	3
1.1.6 CAMPO TETETE .....	3
1.2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LOS CAMPOS .....	5
1.2.1 ESTRUCTURA.....	5
1.2.2 ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA.....	11
1.3 PRINCIPALES RESERVORIOS .....	16
1.4 CARACTERÍSTICAS PETROFÍSICAS Y PVT DE LAS ARENAS Y DE LOS FLUIDOS DEL ÁREA LIBERTADOR.....	16
1.5 MECANISMOS DE PRODUCCIÓN .....	18
1.5.1 CAMPO ATACAPI.....	19
1.5.2 CAMPO FRONTERA .....	19
1.5.3 CAMPO LIBERTADOR .....	19
1.5.4 CAMPO TAPI – TETETE .....	19
1.6 ESTADO DEL ÁREA .....	20
CAPÍTULO 2 .....	23
DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y APLICACIONES DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO CON ROTAFLEX.....	23
2.1 INTRODUCCIÓN AL BOMBEO MECÁNICO .....	23
2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....	24
2.2.1 EQUIPO DE SUPERFICIE .....	25

2.2.2 EQUIPO DE FONDO .....	31
2.3 UNIDAD DE BOMBEO ROTAFLEX.....	40
2.3.1 DESCRIPCIÓN .....	40
2.3.2 PARTES DE LA UNIDAD DE BOMBEO ROTAFLEX.....	45
MONTAJE.....	51
2.3.3 COMPARACIÓN DE LA UNIDAD DE BOMBEO ROTAFLEX CON UNIDADES DE BOMBEO CONVENCIONALES .....	52
2.4 DINAMOMETRÍA.....	55
2.4.1 INTERPRETACIONES DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS .....	58
CAPÍTULO 3 .....	63
SELECCIÓN DE LOS POZOS DEL ÁREA LIBERTADOR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL BOMBEO MECÁNICO CON ROTAFLEX .....	63
3.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN.....	63
3.2 SELECCIÓN DE LOS POZOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL BOMBEO MECÁNICO CON ROTAFLEX .....	64
3.3 ESTUDIO TÉCNICO DE LOS POZOS SELECCIONADOS .....	66
3.4 ANÁLISIS NODAL .....	67
3.4.1 CURVA IPR (INFLOW PERFORMANCE RELATIONSHIP) .....	69
3.5 CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS IPR DE LOS POZOS SELECCIONADOS.....	76
CAPÍTULO 4 .....	82
DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ROTAFLEX Y PRONÓSTICO DE PRODUCCIONES.....	82
4.1 INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL PROGRAMA SROD V6.8.4 UTILIZADO PARA EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS ROTAFLEX.....	82
4.2 SECUENCIA DE INGRESO DE LA INFORMACIÓN AL PROGRAMA SROD V6.8.4.....	83
4.2.1 INFORMACIÓN DEL POZO ATACAPI 14 .....	84
4.2.2 INFORMACIÓN DE PRODUCCIÓN.....	84
4.2.3 SELECCIÓN DE LA SARTA DE VARILLAS.....	85
4.2.4 SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE BOMBEO DE SUPERFICIE .....	87
4.2.5 SELECCIÓN DEL MOTOR .....	87
4.3 RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ROTAFLX .....	88
4.4 PRONÓSTICO DE PRODUCCIONES.....	98

CAPÍTULO 5.....	100
ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO .....	100
5.1 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO .....	100
5.1.1 FLUJO NETO DE CAJA.....	100
5.1.2 VALOR ACTUAL NETO (VAN) .....	101
5.1.2 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) .....	102
5.1.3 RELACIÓN COSTO BENEFICIO (RCB) .....	103
5.1.3 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN .....	103
5.2 INVERSIÓN DEL PROYECTO .....	104
5.3 ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN .....	104
5.3 PRECIOS .....	105
5.4 INGRESOS .....	106
5.5 EGRESOS.....	106
5.5 CRITERIOS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO .....	107
5.5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO .....	107
CAPÍTULO 6.....	116
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
6.1 CONCLUSIONES .....	116
6.2 RECOMENDACIONES.....	117
GLOSARIO .....	119
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	121
ANEXOS.....	123



## LISTA DE FIGURAS

<b>No</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
1.1	Ubicación del Área Libertador	1
1.2	Ubicación de los campos en el Área Libertador	4
1.3	Mapa estructural del campo Arazá para la arena “Ui”	6
1.4	Mapa estructural del campo Atacapi al tope de la arenisca “Ui”	7
1.5	Mapa estructural del campo Frontera para la arena “Ui”	8
1.6	Mapa estructural del campo Libertador referido a la base de la caliza “A”	9
1.7	Mapa estructural del campo Tapi al tope de la arenisca “Ui”	10
1.8	Mapa estructural del campo Tetete al tope de la arenisca “Ui”	11
2.1	Esquema sistema bombeo mecánico	24
2.2	Esquema de la unidad convencional	27
2.3	Esquema de la unidad balanceada por aire	28
2.4	Esquema de la unidad de bombeo Mark II	28
2.5	Comportamiento de válvulas viajeras y fijas	35
2.6	Descripción de las bombas de subsuelo	36
2.7	Nomenclatura de las bombas de subsuelo	38
2.8	Componentes de la unidad de bombeo Rotaflex	42
2.9	Sistema de cadena y contrapeso	43
2.10	Movimiento del contrapeso	44
2.11	Conexión entre la caja de contrapeso y la banda flexible	44
2.12	Parte superior del tambo de la carrera larga	46
2.13	Caja de engranajes, reductora de velocidad	47
2.14	Freno manual	48
2.15	Freno automático	49
2.16	Panel de control (Speed-Sentry)	49
2.17	Movimiento de la unidad de bombeo	50
2.18	Levantamiento de la unidad de bombeo de carrera larga mediante la grúa	51
2.19	Designación de una unidad de bombeo	53

<b>No</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
2.20	Especificaciones de las unidades de bombeo Rotaflex	54
2.21	Carta dinamométrica ideal	57
2.22	Gráfico del comportamiento elástico de la sarta de varillas	57
2.23	Diagrama básico de una carta dinamométrica	58
3.1	Ubicación de nodos en un sistema de bombeo mecánico	69
3.2	Curva IPR Compuesta – Cálculo de $P_{wf}$	73
3.3	Curva IPR Compuesta – Cálculo de $q_t$	74
3.4	Curva IPR – ARAZÁ 004	81
4.1	Información del pozo Atacapi 14	84
4.2	Información de la bomba y la tubería de producción	85
4.3	Información del fluido	86
4.4	Selección de la sarta de las varillas	86
4.5	Selección de la unidad de bombeo de superficie	87
4.6	Selección del motor	88
4.7	Diseño de la unidad de bombeo mecánico Atacapi-014	90
5.1	Precio del petróleo	106
5.2	Costo de producción de un barril de petróleo	106

## LISTA DE TABLAS

<b>No</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
1.1	Propiedades petrofísicas de las rocas de los campos Del Área Libertador	17
1.2	Propiedades PVT de los fluidos de los yacimientos del Área Libertador	18
1.3	Producciones y métodos del Área Libertador	19
2.1	Unidades de carrera larga según su designación API	53
2.2	Interpretación de cartas dinamométricas	61
3.1	Pozos candidatos	65
3.2	Datos utilizados para construir las curvas IPR	76
3.3	Valores usados para la construcción de la curva IPR	80
4.1	Información para el diseño de los equipos de bombeo Mecánico con Rotaflex	83
4.2	Condiciones de operación de las unidades a una eficiencia de trabajo del 70% de la bomba.	92
4.3	Condiciones de operación de las unidades a una eficiencia de trabajo del 80% de la bomba.	94
4.4	Condiciones de operación y unidades a instalarse a una eficiencia de trabajo del 80% de la bomba.	96
4.5	Caudales de los pozos obtenidos del Software Srod v 6.8.4	98
5.1	Costos estimados para realizar el reacondicionamiento de un pozo seleccionado	104
5.2	Producción de los pozos	108
5.3	Cálculo de ingresos, egresos y flujo de caja del proyecto, escenario pesimista.	109
5.4	Cálculo de ingresos, egresos y flujo de caja del proyecto, escenario real.	111
5.5	Cálculo de ingresos, egresos y flujo de caja del proyecto, escenario optimista.	113
5.6	Resultados del análisis económico	115

## LISTA DE ECUACIONES

No	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
3.1	Índice de productividad	70
3.2	Cálculo de la presión dinámica de fondo en el intervalo $0 < q_t < q_b$	71
3.3	Cálculo de la presión dinámica de fondo en el intervalo $q_b < q_t < q_{om\acute{a}x}$	71
3.4a	$\tan \beta_1$	72
3.4b	$\tan \alpha_1$	72
3.5	Cálculo de la presión dinámica de fondo mediante la Figura 3.2	72
3.6	Cálculo de CD	72
3.7	Cálculo de CG	72
3.8	Cálculo de Pwf cuando $q_t = q_{om\acute{a}x}$	72
3.9	Caudal total máximo de flujo	73
3.10	Caudal total si $P_{wfg} < P_{wf} < P_b$ ; cuando $B \neq 0$	75
3.11	Caudal total si $P_{wfg} < P_{wf} < P_b$ ; cuando $B = 0$	75
3.12	Cálculo de A	75
3.13	Cálculo de B	75
3.14	Cálculo de C	75
3.15	Cálculo de D	75
3.16	Cálculo del caudal total cuando $0 < P_{wf} < P_{wfg}$	75
3.17	Cálculo de J si la presión dinámica de fondo es mayor a la presión de burbuja	75
3.18	Caudal a la presión de burbuja	75
3.19	Caudal de petróleo máximo	75
3.20	Caudal máximo	76
3.21	Cálculo de A si la presión dinámica de fondo es menor a la presión de burbuja	76
3.22	Cálculo de J si la presión dinámica de fondo es menor a la presión de burbuja	76

<b>No</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
5.1	Flujo neto de caja	97
5.2	Valor Actual Neto	97
5.3	Tasa interna de retorno	98
5.4	Relación costo-beneficio	99
5.5	Período de recuperación de la inversión	101
5.6	Calculo de la producción mensual, declinación exponencial	101

## SIMBOLOGÍA

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	DIMENSIONES
A	Área, pie <sup>2</sup>	L <sup>2</sup>
API	American Petroleum Institute	
ARZA	Arazá	
ATC	Atacapi	
BF	Barril fiscal	L <sup>3</sup>
BFPD	Barril de fluido por día	L <sup>3</sup>
bl	Barril	L <sup>3</sup>
BPPD	Barril de petróleo por día	L <sup>3</sup>
BSW	Basic sediments and wáter	L <sup>3</sup> /t
CEPE	Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana	
ctvs	Centavos	
fo	Fracción de petróleo	
FNC	Flujo neto de caja	
FRN	Frontera	
fw	Fracción de agua	
GOR	Relación gas-petróleo producido, PC/bl	
h	Espesor, pie	L
HP	Horse power	L/t
IP	Índice de productividad	L <sup>4</sup> /M
k	Permeabilidad, md	
kwh	Kilovatio – hora	
lb	Libra	M
md	Milidarcy	L <sup>2</sup>
MD	Measure depth (Profundidad medida), pie	L
OD	Diámetro externo	L
P	Presión, psi	M/Lt <sup>2</sup>
Pb	Presión de burbuja, psi	M/Lt <sup>2</sup>
PCH	Pichincha	
PC	Pie cúbico	L <sup>3</sup>
PCS	Pie cúbico estándar	L <sup>3</sup>
pg	Pulgada	L

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	DIMENSIONES
psi	Pound per square inch (libra por pulgada cuadrada)	
PVT	Presión, volumen, temperatura	
Pwf	Presión de fondo fluyente M/Lt <sup>2</sup>	
Pws	Presión de fondo estática M/Lt <sup>2</sup>	
PYA	Pacayacu	
TIR	Tasa interna de retorno	
VAN	Valor actual neto	
qb	Caudal de flujo a la presión de burbuja	L <sup>3</sup> /t
qmáx	Caudal de flujo máximo	L <sup>3</sup> /t
qo	Caudal de flujo de petróleo	L <sup>3</sup> /t
qomáx	Caudal de flujo máximo de petróleo	L <sup>3</sup> /t
qt	Caudal de flujo total	L <sup>3</sup> /t
rpm	Revoluciones por minuto	
SCY	Secoya	
SHA	Shuara	
SHH	Shushuqui	
T	Temperatura	T
TAP	Tapi	
Tr	Temperatura del reservorio	T
TTT	Tetete	
TVD	True vertical depth (profundidad vertical verdadera), pie	L
$\beta_g$	Factor volumétrico del gas, PCY/PCS	
$\beta_o$	Factor volumétrico del petróleo, bl/BF	
$\gamma_g$	Gravedad específica del gas	
$\gamma_o$	Gravedad específica del petróleo	
$\mu_o$	Viscosidad del petróleo, cp M/Lt	
°API	Gravedad API	
$\phi$	Porosidad	

## RESUMEN

Con el objetivo de realizar un estudio técnico-económico para la implementación de unidades de bombeo mecánico con Rotaflex para el Área Libertador, se desarrolla el presente proyecto, el cual consta de seis capítulos que se detallan a continuación.

El primer capítulo trata la descripción del Área Libertador, la ubicación geográfica, descripción geológica, estratigrafía, litología, propiedades de los fluidos y rocas, principales reservorios, características petrofísicas y PVT de las arenas y de los fluidos.

El segundo capítulo contiene la información teórica y la descripción del funcionamiento de las unidades de bombeo mecánico con Rotaflex, las bombas de subsuelo, la dinamometría.

El tercer capítulo selecciona los pozos candidatos para la implementación del bombeo mecánico con Rotaflex, considerando tasas de producción hasta 600 BFPD y profundidades de las formaciones productoras entre 8000-10300 pies. También realiza la construcción de las curvas IPR para los pozos seleccionados.

El cuarto capítulo trata sobre el dimensionamiento de los sistemas Rotaflex con la ayuda del programa Srod v 6.8.4 de Lufkin. Se realiza varias corridas del programa hasta obtener el mejor escenario para la implementación del sistema.

A continuación el quinto capítulo presenta un análisis económico del proyecto mediante indicadores como el Van, TIR, RCB, PRI; con diferentes escenarios de 30 USD, 45.50 USD y 70 USD. De esta manera se determina la rentabilidad del mismo.

El sexto capítulo finaliza con la presentación de conclusiones y recomendaciones obtenidas en el transcurso del presente proyecto.



## PRESENTACIÓN

Empresas operadoras como PETROAMAZONAS EP, tienen como objetivo incrementar la producción de hidrocarburos; tomando en cuenta que la mayoría de sus campos son campos maduros, es decir la presión de los pozos es baja, la mayoría de los pozos ya no producen de forma natural, por lo que se necesita de un sistema de levantamiento para su producción.

El presente estudio trata sobre un análisis económico para la implementación del sistema de levantamiento artificial mediante bombeo mecánico con Rotaflex, el cual a diferencia de las unidades convencionales de bombeo mecánico tiene una carrera más larga, y opera a menores velocidades, logrando una mayor eficiencia y vida útil de los equipos.

Debido a la declinación de la producción que poseen los pozos y tomando en cuenta que el petróleo es un recurso natural no renovable, es necesario buscar alternativas más baratas y fáciles de operar para que la producción de petróleo sea rentable. Una de esas alternativas es la aplicación del bombeo mecánico, el cual es método más utilizado a nivel mundial.

En este estudio se proporciona propuestas para la implementación del bombeo mecánico con Rotaflex en el Área Libertador, el cual en la actualidad tiene en su mayoría métodos de levantamiento artificial mediante bombeo electrosumergible e hidráulico.

# **CAPÍTULO 1**

## **DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA LIBERTADOR**

### **1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA E HISTORIA**

El Área Libertador, se encuentra ubicada al norte de la Cuenca Oriente en la provincia de Sucumbíos, a 250 km al este del Distrito Metropolitano de Quito entre las coordenadas geográficas de latitud desde 00°04" Sur hasta 00°06" Norte y longitud desde 76°33'00" hasta 76°36'40", alrededor de 25 km al sur de la frontera con Colombia, y actualmente está compuesta por los campos: Arazá, Atacapi, Frontera, Pacayacu, Pichincha, Secoya, Shuara, Shushuqui, Tapi, Tetete. En la Figura 1.1 se puede observar la ubicación del Área Libertador.

En 1980, la Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE) perforó las estructuras Secoya, Shuara y Shushuqui, con los pozos Secoya 1 entre enero y febrero, Shuara 1 entre febrero y marzo, y Shushuqui 1 entre octubre y noviembre.

Los datos utilizados para este proyecto fueron tomados hasta el 30 de Septiembre del 2014.

#### **1.1.1 CAMPO ARAZÁ**

El campo Arazá, se encuentra ubicado en la Provincia de Sucumbíos, en el cantón Pacayacu, a 2 km y al sureste del campo Shuara, tiene 2,8 km de largo en su eje principal NO-SE y 1,7 Km de ancho en dirección NE-SO, con un área aproximada de 1100 acres y con un cierre vertical de 20 pies. Tiene una producción de 326 BPPD.

### 1.1.2 CAMPO ATACAPI

En 1968, el consorcio Texaco Gulf descubre el campo Atacapi con la perforación del pozo Atacapi 01, alcanzando una profundidad de 9.848 pies y una producción de petróleo de 3800 BPPD (1960 BPPD de 29° API de la arena “U” y 1840 BPPD de 34 °API de la arena “T”). Tiene una producción de 5370 BPPD.

**FIGURA 1.1 UBICACIÓN DEL ÁREA LIBERTADOR**



**Fuente:** Maroto H. y D. Vinlasaca, (2012), Estudio para optimizar el sistema de bombeo electrosumergible en la producción de petróleo en el Área Libertador. Quito 2012

### **1.1.3 CAMPO FRONTERA**

En 1987, CEPE descubre el campo Frontera con la perforación del pozo Frontera 01, con una producción de petróleo de 4500 BPPD de las arenas “Ui” y “T”. Su producción hasta la fecha indicada es de 591 BPPD.

### **1.1.4 CAMPO PICHINCHA**

El campo Pichincha inicialmente nombrado como Guarumo, fue descubierto en abril de 1983 con la perforación del pozo Pichincha-01 alcanzando una profundidad de 10294 pies y una producción de 7700 BPPD (3147 BPPD de 31 °API de la arena “T”, 2900 BPPD de 26 °API de la arena “Ui” y 1653 BPPD de 29.3 °API de la arena “Us”). Al 30 de septiembre del 2014 tiene una producción de 986 BPPD.

### **1.1.5 CAMPO TAPI**

El campo Tapi, se descubre en octubre de 1985 con la perforación del pozo Tapi 01, alcanzando una profundidad de 9183’ y una producción de petróleo de 2045 BPPD (1333 BPPD de 29° API de la arena “T” y 712 BPPD de 28° API de la arena “U”). Tiene una producción de 1967 BPPD.

### **1.1.6 CAMPO TETETE**

El campo Tetete, se descubre en julio de 1980 con la perforación del pozo Tete 01, alcanzando una profundidad de 9.400’ y una producción de petróleo de 1645 BPPD (1315 BPPD de 30° API de la arena “T” y 330 BPPD de 29° API de la arena “U”). El campo tiene una producción de 1202 BPPD.

En la Figura 1.2, se presenta la ubicación de los campos en el Área Libertador.



## **1.2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LOS CAMPOS<sup>1</sup>**

La geología de los campos se refiere a las diferentes estructuras por las que se forman y componen los distintos reservorios de crudo, ya sea por fallas, anticlinales, cuencas.

Se puede describir las diferentes estratigrafías y litologías de las rocas presentes en los campos.

### **1.2.1 ESTRUCTURA**

A continuación se realiza una descripción detallada sobre las fallas, anticlinales, cuencas; que se presentan en los diferentes campos del Área Libertador.

#### **1.2.1.1 Campo Arazá**

El esquema estructural del campo Arazá, se basa en un anticlinal de 20 km de largo por 8 km de ancho, con varias culminaciones, presentando dos fallas inversas de dirección norte a sur, la primera falla limita al lado este con un salto de falla pequeño de 20 a 40 pies y la segunda falla limita al margen oeste, siendo paralela a la primera con un salto de falla similar, esto origina que el campo se divida en dos partes. El mapa estructural del campo Arazá se indica en la Figura 1.3.

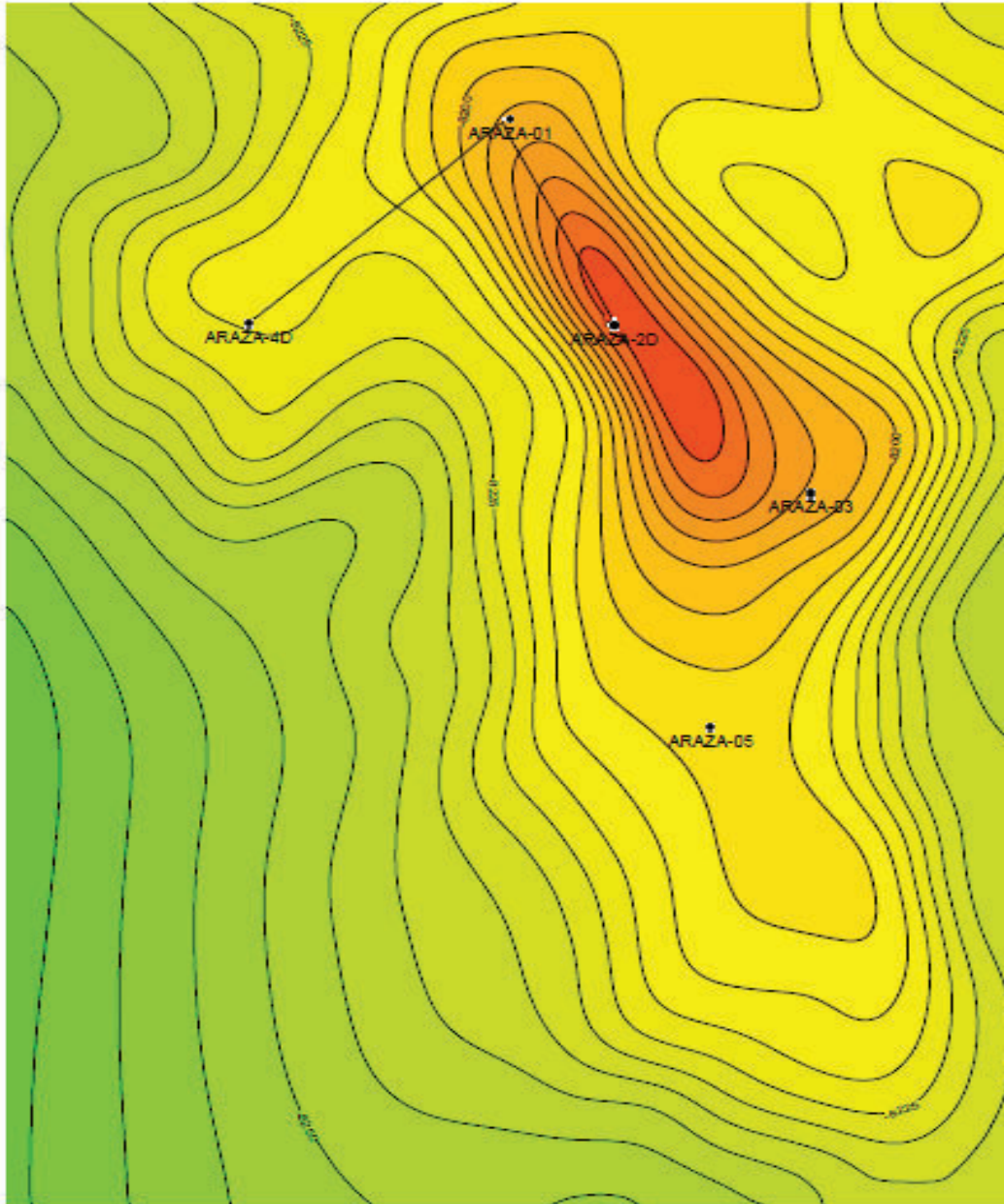
#### **1.2.1.2 Campo Atacapi**

La Figura 1.4, indica el mapa estructural del campo Atacapi, el cual está formado por un anticlinal con dirección aproximada norte – sur y presenta una falla inversa la cual se extiende desde el norte hacia el este, con un área de 3350 acres.

---

<sup>1</sup> Maroto H. y D. Vinlasaca, (2012), Estudio para optimizar el sistema de bombeo electrosumergible en la producción de petróleo en el Área Libertador. Quito 2012

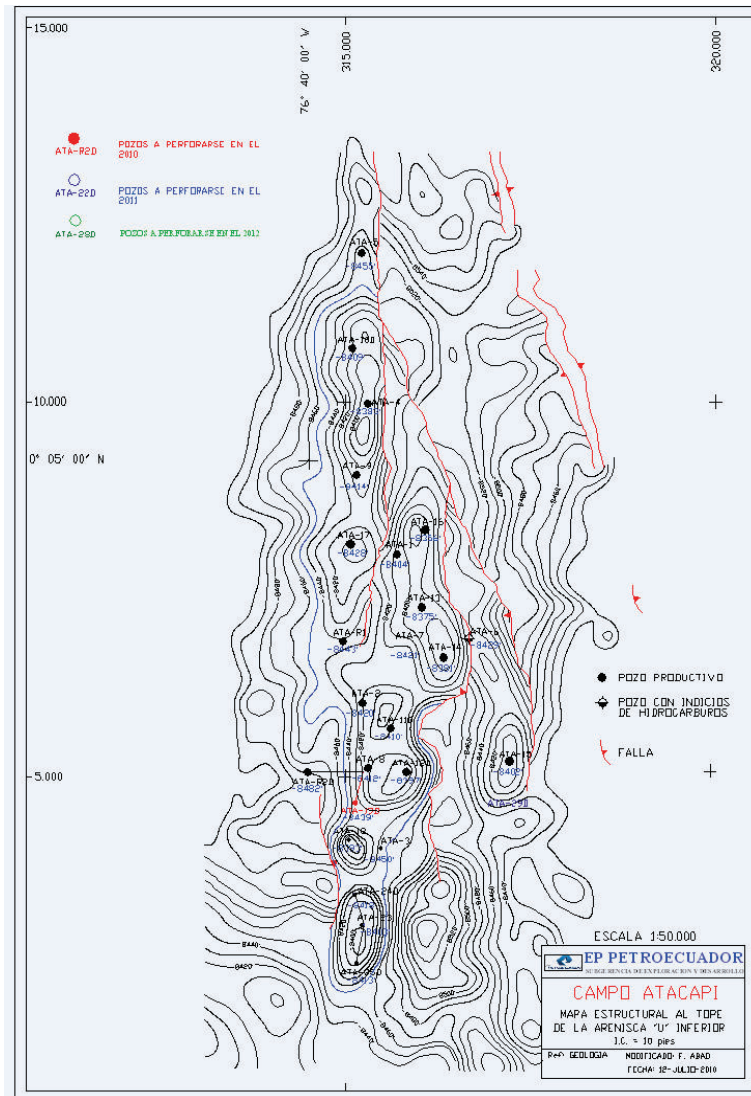
**FIGURA 1.3 MAPA ESTRUCTURAL DEL CAMPO ARAZÁ PARA LA ARENA “UI”.**



**Fuente:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2010

**Elaboración:** PETREL

**FIGURA 1.4 MAPA ESTRUCTURAL DEL CAMPO ATACAPI AL TOPE DE LA ARENISCA “UI”**



**Fuente:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2010

**Elaboración:** PETROAMAZONAS EP

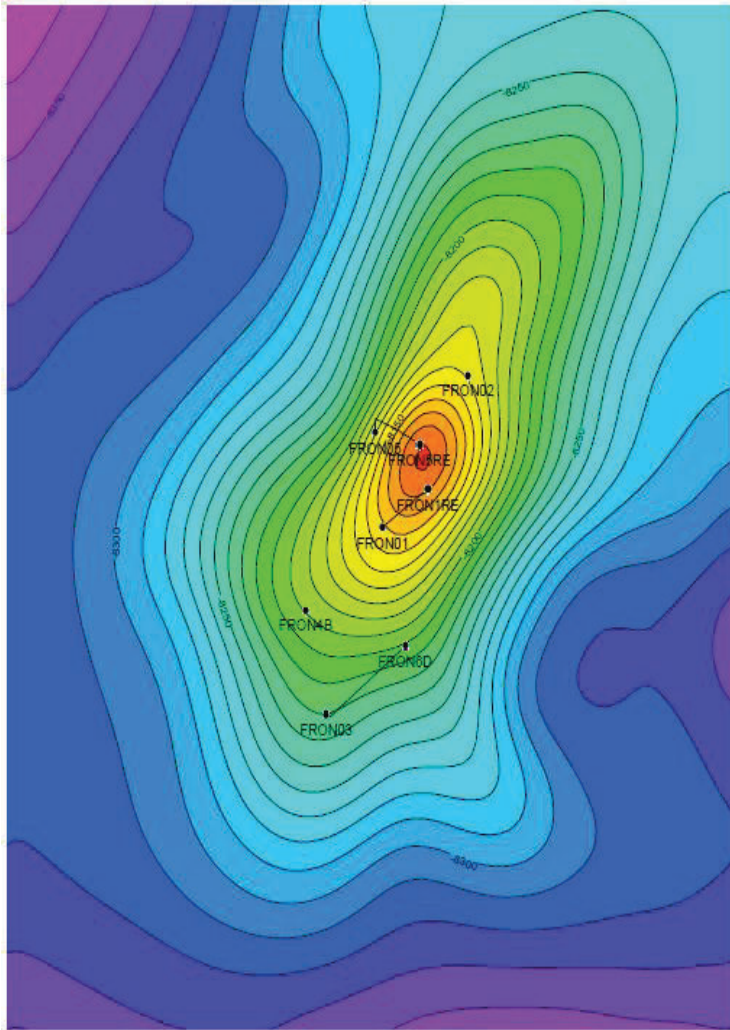
### 1.2.1.3 Campo Frontera

El campo Frontera, forma parte del alto estructural San Miguel. La estructura del campo tiene una orientación noreste – sureste y presenta una falla en la parte oriental con un cierre estructural de 100 pies que separa las sub cuencas Putumayo y Napo.



En la Figura 1.5, se puede observar el mapa estructural del campo Frontera.

**FIGURA 1.5 MAPA ESTRUCTURAL DEL CAMPO FRONTERA PARA LA ARENA “UI”.**



**Fuente:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2010

**Elaboración:** PETROAMAZONAS EP

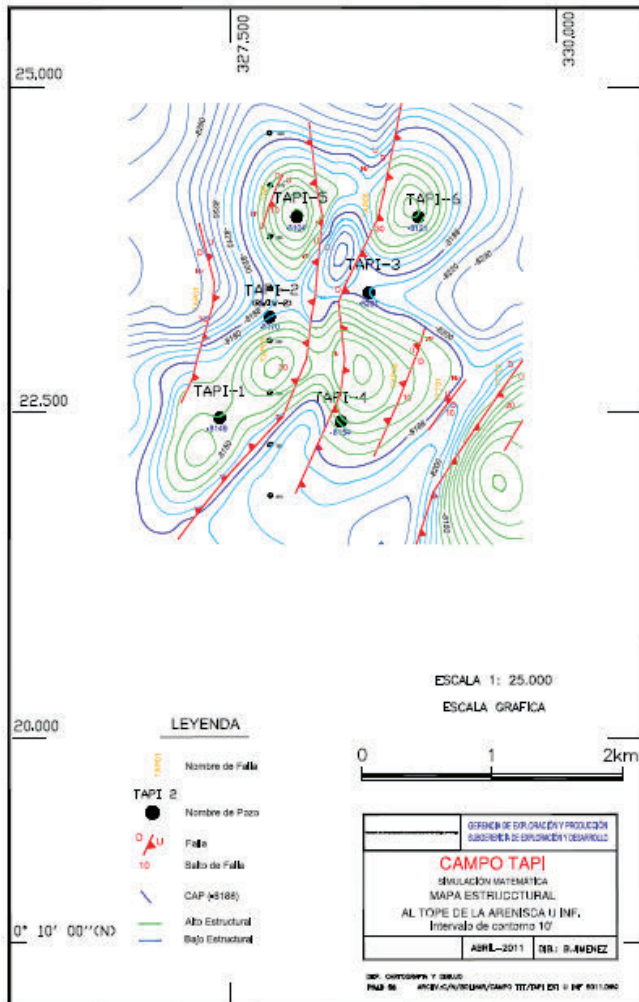
#### 1.2.1.4 Campo Libertador

El campo Libertador está formado por los altos estructurales principales Secoya y Shuara, y por los altos estructurales secundarios Shushuqui, Pacayacu, Pichincha y Carabobo.



Al sur del campo Tapi, se localiza un alto estructural. Esta estructura permite diferenciar que los campos Tapi y Tetete, se encuentran a niveles diferentes, siendo Tetete más elevado que Tapi. Las Figuras 1.7 y 1.8 presentan el mapa estructural del campo Tapi y del campo Tetete respectivamente.

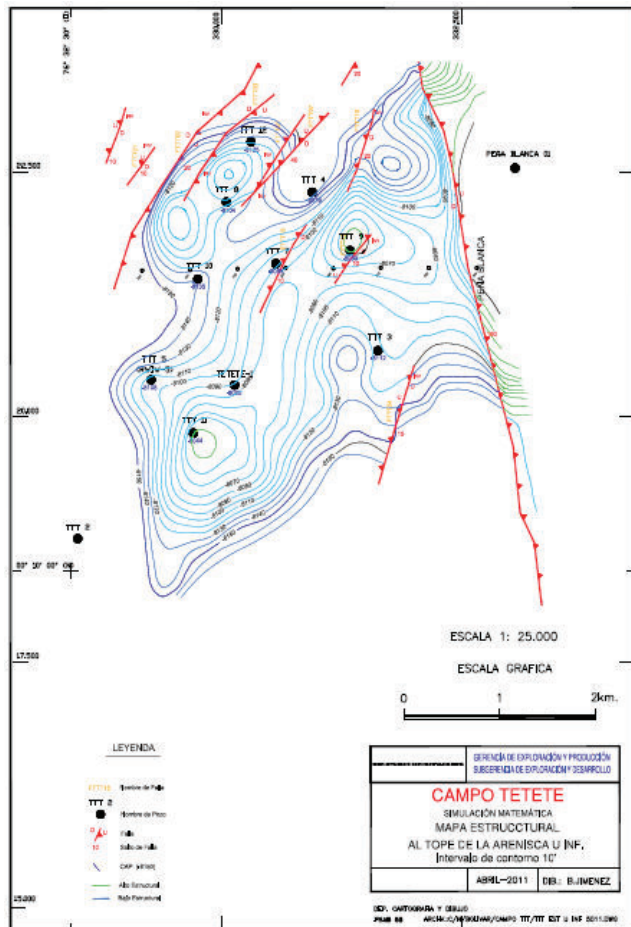
**FIGURA 1.7 MAPA ESTRUCTURAL DEL CAMPO TAPI AL TOPE DE LA ARENISCA “UI”**



**Fuente:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2011

**Elaboración:** PETROAMAZONAS EP

**FIGURA 1.8 MAPA ESTRUCTURAL DEL CAMPO TETETE AL TOPE DE LA ARENISCA “UI”.**



**Fuente:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2011

**Elaboración:** PETROAMAZONAS EP

### 1.2.2 ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA

Los campos del Área Libertador, se caracterizan por la presencia de areniscas cuarzosas de color gris verdoso o claro – cristalino. Los minerales arcillosos son caolinita, esmectita, illita y clorita además de minerales importantes de glauconita y piritita. El tamaño del grano es variable y mezclado, subangular, firme, cemento ligeramente calcáreo.

En el Anexo 1 se muestra la columna estratigráfica del Área Libertador, la litología de cada campo se detalla a continuación.

### **1.2.2.1 Campo Arazá**

#### ***1.2.2.1.1 Arenisca Basal Tena***

Arenisca cuarzosa, de contextura semifirme de color gris oscuro, grano fino a medio, subangular a subredondeado, medianamente seleccionada, fluorescencia amarilla con corte mediano y residuo café claro, cemento arcilloso calcáreo y presencia de hidrocarburos.

#### ***1.2.2.1.2 Arenisca “US”***

Arenisca cuarzosa firme de color gris verdosa, grano fino a medio, subangular a subredondeada, con regular saturación de hidrocarburos de fluorescencia amarilla, corte mediano y residuo color café.

#### ***1.2.2.1.3 Arenisca “UI”***

Arenisca cuarzosa firme de color gris, grano medio, subangular a subredondeado, mediana selección, fluorescencia amarilla, corte mediano a rápido, residuo café y presencia de hidrocarburos.

#### ***1.2.2.1.4 Arenisca “TS”***

Arenisca cuarzosa de color gris verdoso, semifirme a firme, grano medio a grueso, subangular a subredondeado, cemento silíceo, levemente calcárea, gluconítica con regular saturación de hidrocarburos, fluorescencia amarilla y corte lento.

#### ***1.2.2.1.5 Arenisca “TI”***

Arenisca cuarzosa de color gris de grano medio a grueso, angular a subangular, medianamente seleccionada, fluorescencia amarilla y corte cemento silíceo y presencia de hidrocarburos.

## **1.2.2.2 Campo Atacapi**

### ***1.2.2.2.1 Basal Tena***

Arenisca cuarzosa transparente, de grano grueso a muy grueso, subangular, mala clasificación, firme, cemento ligeramente calcáreo, fluorescencia natural discontinua blanquecina; corte rápido, residuo café claro y con muestras de hidrocarburos.

### ***1.2.2.2.2 Arenisca “U S”***

Arenisca cuarzosa de grano firme y fino a medio, subangular a subredondeada, clasificación regular, cemento silíceo, con glauconita y con muestras de hidrocarburos.

### ***1.2.2.2.3 Arenisca “U I”***

Arenisca cuarzosa transparente, compacta, subangular, clasificación regular, verde claro, grano de medio a grueso, cemento calcáreo, fluorescencia natural discontinua blanca, corte instantáneo, residuo café y con muestras de petróleo.

### ***1.2.2.2.4 Arenisca “T S”***

Arenisca de cuarzo, grano fino a medio, subangular, clasificación regular, cemento ligeramente calcáreo, glauconítica y presencia de hidrocarburos.

### ***1.2.2.2.5 Arenisca “T I”***

Arenisca cuarzosa, compacta, grano fino a medio, subangular, clasificación regular, cemento calcáreo, fluorescencia natural discontinua amarillenta, corte instantáneo, residuo café y con muestras de hidrocarburos.

### **1.2.2.3 Campo Libertador**

#### ***1.2.2.3.1 Arenisca “T I”***

Arenisca cuarzosa, de grano grueso muy fino, en secuencias métricas grano decrecientes hacia el tope, con estratificación cruzada e intercalaciones de lutitas. Contiene abundante glauconita, la misma que aparece ya en la parte media y superior de la arena “T inferior”. Los minerales arcillosos son: caolinita, illita, clorita y esmectita.

#### ***1.2.2.3.2 Arenisca “T S”***

Areniscas cuarzo – glauconitas, de grano fino a muy fino, masivas a onduladas con bioturbaciones, presencia importante de cemento calcáreo y glauconitas.

#### ***1.2.2.3.3 Arenisca “U I”***

Arenisca cuarzosa en partes micácea, limpia, masiva, grano decreciente y con estratificación cruzada a la base, laminada al techo. Los principales minerales arcillosos son: caolinita, esmectita, clorita e illita.

#### ***1.2.2.3.4 Arenisca “U media”***

Arenisca cuarzosa de poco espesor, con estratificación cruzada, ondulada y en partes masiva hacia la base, con delgadas intercalaciones de lutitas y con bioturbación hacia el techo.

#### ***1.2.2.3.5. Arenisca “U S”***

Areniscas cuarzosas con frecuentes bioturbaciones, con intercalaciones de lutita, cemento calcáreo, secuencias de grano creciente hacia la base y secuencias de grano decreciente de areniscas hacia la parte superior. Los minerales arcillosos son caolinita, esmectita, illita y clorita y minerales importantes de glauconita y pirita.

#### ***1.2.2.3.6 Arenisca Basal Tena***

Arenisca de cuarzo, color gris claro a cristalino, grano grueso a medio, mala selección, subangular a subredondeada, matriz arcillosa calcárea, corte lento, fluorescencia amarillo – verdosa y residuo café, importante presencia de calizas y lutitas y con presencia de hidrocarburos.

#### **1.2.2.4 Campo Frontera**

##### ***1.2.2.4.1 Arenisca “T”***

Arenisca cuarzosa de color gris verdoso, grano muy fino a medio, con inclusiones de glauconita, laminaciones finas de lutita y delgados niveles de material carbonáceo.

##### ***1.2.2.4.2 Arenisca “U S”***

Presenta una litología predominantemente limo arenosa pelítica.

##### ***1.2.2.4.3 Arenisca “U I”***

Está conformada por limos, arcillas y carbón. Presenta dos y hasta tres niveles arenosos separados por facies pelíticas transgresivas.

#### **1.2.2.5 Campo Tapi – Tetete**

##### ***1.2.2.5.1 Arenisca “T S”***

Areniscas con intercalaciones de lutita calcárea.



#### ***1.2.2.5.2 Arenisca “T I”***

Arenisca limpia glauconítica de hidrocarburos.

#### ***1.2.2.5.3 Arenisca “U I”***

Arenisca cuarzosa, limpia, de grano medio a fino, subangular a subredondeado, bien seleccionada, cemento silíceo levemente calcáreo

En el Anexo 1, se indica la columna estratigráfica de los campos Frontera y Tapi – Tetete.

### **1.3 PRINCIPALES RESERVORIOS**

Los principales reservorios productores de los campos del Área Libertador se encuentran en la formación Napo en su miembro inferior, en los intervalos clásticos denominados “U” y “T”, presentándose también Basal Tena en los campos Atacapi, Pacayacu, Secoya, Shuara y Shushuqui.

### **1.4 CARACTERÍSTICAS PETROFÍSICAS Y PVT DE LAS ARENAS Y DE LOS FLUIDOS DEL ÁREA LIBERTADOR**

Una característica petrofísica incluye características físicas y texturales de las rocas entre las que tenemos: porosidad ( $\Phi$ ), saturación (S), espesor (h), permeabilidad (k).

En la tabla 1.1 se observa las propiedades petrofísicas promedias de los campos del Área Libertador.

**TABLA 1.1**  
**PROPIEDADES PETROFÍSICAS DE LAS ROCAS DE LOS CAMPOS DEL**  
**ÁREA LIBERTADOR**

CAMPOS	ARENA	PROPIEDADES PETROFÍSICAS			
		$\phi$ (%)	Sw (%)	ho (pies)	k (md)
ARAZÁ	UI	17	15	30	400
	TI	15	25	35	600
ATACAPI	US	15	30	15	250
	UI	17	35	35	500
	TS	13	42	65	500
	TI	14	32	65	800
FRONTERA	UI	17,6	24,6	25	644
	TI	15,8	27,1	20	223
SECOYA SHUARA SHUSHUQUI	BT	15,7	21,5	15	110
	US	14,5	33,2	14	115
	UI	16,8	16,8	33	310
	TS	12	42	40	100
	TI	17	30	40	800
PICHINCHA	UI	17	27	39	1924
	T	12	46,5	43	400
TAPI TETETE	UI	15,6	20	18	400
	T	13,7	25	14	700

**FUENTE:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM

**ELABORACIÓN:** José Brasales

Los análisis PVT son pruebas que se realizan en laboratorio, utilizando muestras de fondo a condiciones del yacimiento, para determinar las propiedades de los fluidos que se encuentran en el mismo. Dentro de estas propiedades tenemos: presión (P), temperatura (T), factor volumétrico ( $\beta$ ), °API, gravedad específica ( $\gamma$ ).

La tabla 1.2 muestra las propiedades PVT de los fluidos de los campos del Área Libertador.

**TABLA 1.2**  
**PROPIEDADES PVT DE LOS FLUIDOS DE LOS YACIMIENTOS DEL ÁREA**  
**LIBERTADOR**

CAMPOS	ARENA	PROPIEDADES PVT DE LOS FLUIDOS					
		°API	Tr °F	Pb (psi)	GOR (PCS/BF)	$\beta_o$ (BL/BF)	$\gamma_{gas}$
ATACAPI	U	29,2	209	1116	326	1,2310	
	G-2	31,0	208	1308	442	1,3380	1,071
	TI	33,4	238	1100	453	1,4770	1,669
	T	31,4	205	1312	355	1,2500	1,409
FRONTERA	T	34,7	221	640	179	1,2266	1,436
	U	34,2	220	685	225	1,3480	1,440
PICHINCHA	T	31,4	208	773	274	1,2470	1,645
	UI	28,0	227	1243	281	1,2240	1,247
SECOYA	U	28,3	206	1085	272	1,1790	1,129
	T	34,2	208	555	444	1,3350	1,539
SHUARA	T	31,7	216	1120	383	1,3150	1,620
	U	28,0	217	1100	273	1,2910	1,218
	US	29,5	232	595	162	1,2120	1,420
SHUSHUQUI	T	33,5	237	1368	532	1,4820	1,550
	UI	32,5	213	1157	268	1,2990	1,071
	US	31,4	226	1075	333	1,3120	1,354
TAPI	TI	28,7	217	1980	673	1,3980	1,645
TETETE	UI	29,9	213	313	84	1,1486	1,544

**FUENTE:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM

**ELABORACIÓN:** José Brasales

## 1.5 MECANISMOS DE PRODUCCIÓN<sup>2</sup>

En los estudios y análisis PVT realizados sobre el Área Libertador, se determina que esta Área corresponde a un yacimiento subsaturado (Simulación de Yacimientos, Campo Libertador, Volumen I, Febrero 2004), con un empuje lateral y de fondo de intrusión de agua, significa que la presión inicial es mayor que la del punto de burbuja, cuando la presión se reduce debido a la

<sup>2</sup> Maroto H. y D. Vinlasaca, (2012), Estudio para optimizar el sistema de bombeo electrosumergible en la producción de petróleo en el Área Libertador. Quito 2012

producción de fluidos, se crea un diferencial de presión a través del contacto agua – petróleo. De acuerdo con las leyes básicas de flujo de fluidos en medios porosos, el acuífero reacciona haciendo que el agua contenida en él, invada al yacimiento de petróleo originando intrusión o influjo, esto no sólo ayuda a mantener la presión sino que permite un desplazamiento inmisible del petróleo que se encuentra en la parte invadida.

A continuación, se describe el mecanismo de producción correspondiente a cada campo del Área Libertador.

#### **1.5.1 CAMPO ATACAPI**

El principal mecanismo de producción de la arena “T” del campo Atacapi, es el empuje hidráulico de fondo; la arena “U” tiene un empuje hidráulico lateral.

#### **1.5.2 CAMPO FRONTERA**

El mecanismo de producción de la arena “T” y de la arena “U” del campo Frontera, es el empuje hidráulico lateral.

#### **1.5.3 CAMPO LIBERTADOR**

El mecanismo predominante de producción es el empuje hidráulico lateral, las arenas “Ui” y “Ti” han mantenido la presión sobre el punto de burbuja debido a la presión generada por un sistema de acuífero fuertemente activo. El mecanismo de producción en los reservorios “Us”, “Ts” y “BT” es por depleción.

#### **1.5.4 CAMPO TAPI – TETETE**

El mecanismo de producción de la arena “U” del campo Tapi – Tetete, es empuje hidráulico de fondo y de la arena “T” es por expansión volumétrica y empuje lateral.

## 1.6 ESTADO DEL ÁREA

Hasta el 30 de Septiembre del 2014 se han perforado 199 pozos, de los cuales, 94 pozos están produciendo por levantamiento artificial, 14 pozos son reinyectores, 64 pozos están cerrados, 19 pozos están abandonados, 8 pozos se encuentran en trabajos de reacondicionamiento (Workover),

En la Tabla 1.3 se muestra las producciones y métodos usados en los pozos del Área Libertador.

**TABLA 1.3**  
**PRODUCCIONES Y MÉTODOS DEL ÁREA LIBERTADOR**

POZOS	ARENA	BFPD	BPPD	%BSW	MÉTODO
ARZA-003	UI	1780	178	90	*PPS
ARZA-004D	US	218	144	34	PPS
ATC-002	US	55	20	64	*PPM
ATC-007	US	169	153	10	*PPH
ATC-008	US	252	231	8	PPS
ATC-014	US	249	233	6	PPH
ATC-015	TP	1704	170	90	PPS
ATC-016	US	180	147	19	PPH
ATC-017	UI	1231	197	84	PPS
ATC-019D	UI	244	73	70	PPS
ATC-020D	US	222	206	8	PPH
ATC-021D	UI	273	259	5	PPS
ATC-022	UI	1145	183	84	PPS
ATC-023	UI	1585	365	77	PPS
ATC-024	UI	1412	99	93	PPS
ATC-025	US	83	62	26	PPM
ATC-026	BT	1903	1884	1	PPS
ATC-027	UI	1903	304	84	PPS
ATC-028	TP	641	635	1	PPS
FRN-002	TP	1051	284	73	PPS
FRN-004	BT	3643	182	95	PPS
FRN-005R1	TP	1498	135	91	PPS
PYA-001	BT	66	55	16	PPM
PYA-003	TP	89	27	70	PPM
PYA-004	BT+UI	447	376	16	PPS

TABLA 1.3 CONTINUACIÓN

POZOS	ARENA	BFPD	BPPD	%BSW	MÉTODO
PYA-005	UI	740	89	88	PPS
PCH-002	UI	433	347	20	PPS
PCH-005	UI+US	150	12	92	PPM
PCH-007	T	3211	128	96	PPS
PCH-008	UI	3740	150	96	PPS
PCH-009	UI	1938	116	94	PPS
PCH-013D	US	248	223	10	PPS
SCY-001	UI	1570	204	87	PPS
SCY-002	US	141	126	11	PPH
SCY-003	T	2268	227	90	PPS
SCY-004	UI	606	73	88	PPS
SCY-005	T	1155	393	66	PPS
SCY-008	TS	2193	219	90	PPS
SCY-011	TP	2512	327	87	PPS
SCY-013	US	30	21	28	PPM
SCY-014	UI	3675	294	92	PPS
SCY-015	TP+TS	2674	134	95	PPS
SCY-017	UI	1485	148	90	PPS
SCY-018	TS	118	0	100	PPM
SCY-019	US	916	531	42	PPS
SCY-021	UI	1275	229	82	PPS
SCY-022	US	922	876	5	PPS
SCY-023	BT+US	249	184	26	PPS
SCY-024	US	339	186	45	PPM
SCY-028	UI	720	144	80	PPS
SCY-029	UI	848	102	88	PPS
SCY-031	UI	2530	228	91	PPS
SCY-032	TP	1857	186	90	PPS
SCY-033B	UI	311	237	24	PPS
SCY-037	TP+UI	1659	365	78	PPS
SCY-038	UI	967	135	86	PPS
SCY-039B	UI	1644	921	44	PPS
SCY-042	UI	1069	139	87	PPS
SCY-043	TP	1369	137	90	PPS
SCY-045B	UI	729	150	79	PPH
SCY-046D	UI	1959	118	94	PPS
SCY-047	TP	783	172	78	PPS
SHA-003	US	445	178	60	PPS
SHA-006	UI+US	807	186	77	PPS
SHA-009	BT	154	145	6	PPM

TABLA 1.3 CONTINUACIÓN

POZOS	ARENA	BFPD	BPPD	%BSW	MÉTODO
SHA-013	UI	618	124	80	PPS
SHA-014B	UI+US	1359	136	90	PPS
SHA-015	UI	1838	129	93	PPS
SHA-020	TS+UI	1807	54	97	PPS
SHA-022 US	UI	941	132	86	PPS
SHA-036D	TS	353	106	70	PPS
SHH-002	TP	1015	106	90	PPH
SHH-006	UI	710	242	66	PPH
SHH-010	UI	1009	247	76	PPH
SHH-012	UI	330	109	67	PPH
SHH-013	BT	244	142	42	PPH
SHH-014	UI	1009	92	91	PPH
SHH-015	UI	434	112	74	PPH
SHH-018	UI	382	102	73	PPH
SHH-020	UI	1309	109	92	PPH
SHH-021	UI	437	200	54	PPH
SHH-022D	BT	217	195	10	PPH
SHH-023B	TP+TS	2847	2762	3	PPS
TAP-006	US	27	24	10	PPM
TAP-007	UI	1318	395	70	PPS
TAP-008	TP	798	207	74	PPS
TAP-009B	TP	1413	1314	7	PPS
TTT-001	T	843	85	90	PPH
TTT-003	UI	2317	218	91	PPH
TTT-009	TP	2387	160	93	PPH
TTT-010	UI	1762	125	93	PPH
TTT-011	UI	4258	255	94	PPS
TTT-020	UI	1557	156	90	PPS
TTT-021	TP	954	172	82	PPH

\***PPS:** Bombeo electrosumergible

\***PPH:** Bombeo hidráulico

\***PPM:** Bombeo mecánico

**FUENTE:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM

**ELABORACIÓN:** José Brasales

## **CAPÍTULO 2**

### **DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y APLICACIONES DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO CON ROTAFLEX.**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN AL BOMBEO MECÁNICO**

El sistema de bombeo mecánico, es el método artificial más común y antiguo del mundo; es un procedimiento simple de succión y transferencia casi continua del petróleo hasta la superficie, considerando que el yacimiento posee una determinada presión, la cual es suficiente para que el petróleo alcance un determinado nivel en el pozo. Es uno de los métodos más utilizados a nivel mundial aproximadamente ocupa el 85%.

El sistema de bombeo mecánico como todos los sistemas de levantamiento artificial está constituido por:

- Equipo de superficie, y
- Equipo de fondo.

El equipo de superficie está compuesto por: la unidad motriz (motor y reductor de engranaje), unidad de bombeo (Rotaflex), caja de engranaje y contrapesos, barra pulida, prensa estopa, cabezal y líneas de flujo.

El equipo de fondo está compuesto por: la tubería de revestimiento (casing), tubería de producción, sarta de varillas (cabillas), bomba de fondo, ancla de gas (opcional), niple de asiento, niple perforado y ancla de tubería.



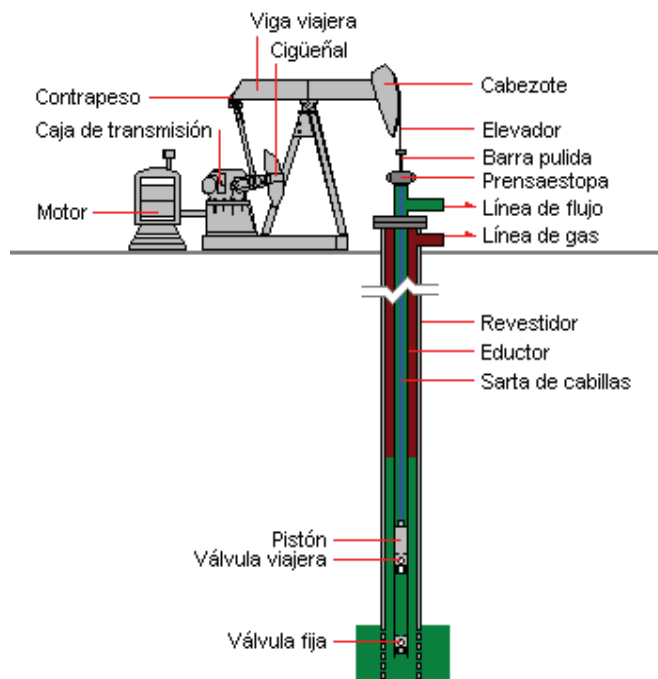
## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema de bombeo mecánico tiene por objetivo elevar el fluido (agua y petróleo) desde el nivel que éste alcanza en el pozo y desplazarlo al punto de recolección; para lo cual dicho sistema consiste básicamente en una bomba de subsuelo, la cual es abastecida con energía suministrada a través de una sarta de varillas. La energía proviene de un motor eléctrico o de combustión interna, la cual moviliza una unidad de superficie mediante un sistema de engranajes y correas.

El fluido es conducido hasta la superficie por la tubería de producción y de ahí hasta un punto de recolección por la línea de flujo.

En la figura 2.1 se muestra un arreglo común del sistema de bombeo mecánico.

**FIGURA 2.1 ESQUEMA SISTEMA BOMBEO MECÁNICO**



**Fuente:** Diseño de Instalaciones de Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico, CIED 2002, Primera Edición.

**Elaboración:** Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED)

## **2.2.1 EQUIPO DE SUPERFICIE**

Los equipos de superficie, como se mencionó anteriormente, constan de: la unidad motriz, unidad de bombeo (Rotaflex, balancín), caja de engranaje y contrapesos, barra pulida, prensa estopa, cabezal y líneas de flujo.

### **2.2.1.1 Unidad Motriz**

La unidad motriz es un motor eléctrico o a gas el cual tiene como función suministrar la potencia que el sistema de bombeo necesita, afectando el consumo de energía y las cargas de la caja de engranaje. La potencia del motor es medida en caballos de fuerza (HP) y dependen de la profundidad, nivel de fluido, velocidad de bombeo y balanceo de la unidad. El tamaño de la unidad motriz tiene un efecto en la eficiencia del sistema, por lo cual es recomendable diseñarla adecuadamente, por ejemplo: si se la sobre dimensionamos garantizamos suficientes caballos de fuerza en el sistema pero disminuimos la eficiencia del mismo. Se debe tomar en cuenta que los motores eléctricos pueden llegar a eficiencias máximas cuando operan con una potencia cercana a la recomendada por el fabricante.

Los motores eléctricos y a gas son componentes de bajo torque y altas revoluciones por minuto (rpm). La variación de velocidad de la unidad motriz afecta la caja de engranaje, las cargas en las varillas y también la velocidad de bombeo. Variaciones de velocidades altas del motor reducen el torque neto en la caja de engranaje.

La mayoría de las unidades motrices son motores eléctricos; los motores a gas son usados en locaciones sin electricidad.

### **2.2.1.2 Unidades de Bombeo**

La unidad de bombeo tiene como función convertir el movimiento rotacional de la unidad motriz al movimiento ascendente-descendente de la barra pulida. Una

unidad de bombeo bien diseñada tiene el tamaño exacto de caja de engranaje y estructura. También tiene suficiente capacidad de carrera para producir el fluido que se desea. Las unidades de bombeo pueden tener características comunes pero también diferencias que podrían influir significativamente en el comportamiento del sistema.

#### ***2.2.1.2.1 Tipos de Unidades de Bombeo***

De acuerdo a su tamaño, características y funcionamiento, encontramos tres tipos básicos de unidades de bombeo mecánico (balancines), las que se diferencian por su geometría y tipo de contrapeso. Existe también una unidad que ya no utiliza balancín que tiene el mismo principio básico del bombeo mecánico (Rotaflex).

- Unidad convencional
- Unidad balanceada por aire
- Unidad de geometría especial (Mark II)
- Unidad Rotaflex

#### **UNIDAD CONVENCIONAL**

Su geometría está basada en un sistema de palanca de clase I, con punto de apoyo en el medio de la viga del balancín y emplea contrapesos mecánicos, como podemos observar en la Figura 2.2

#### **UNIDAD BALANCEADA POR AIRE**

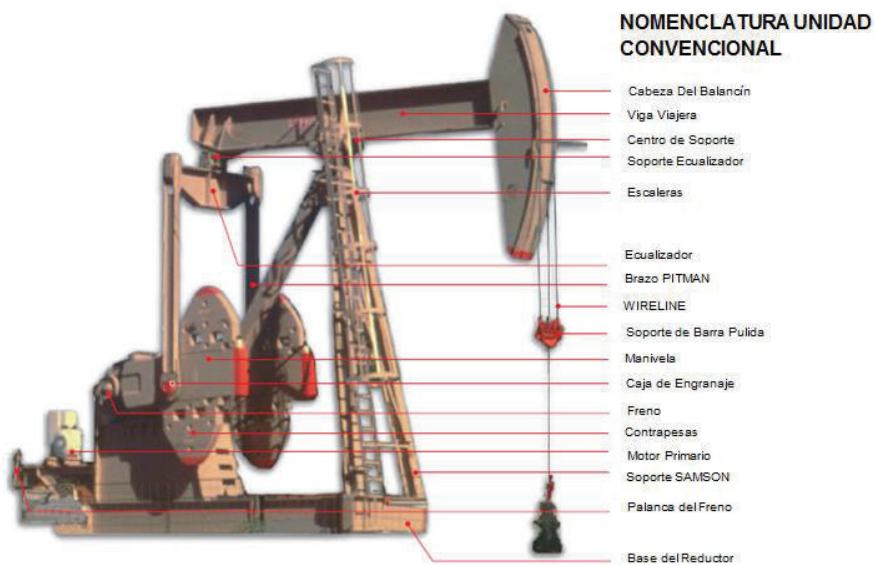
La Figura 2.3 muestra la unidad que utiliza un sistema de palanca de clase III, con un punto de apoyo en el extremo del balancín y es de empuje ascendente simétrico.

## UNIDAD DE GEOMETRÍA ESPECIAL (MARK II)

Esta unidad utiliza un sistema de palanca de clase III, de empuje ascendente asimétrico y contrapeso mecánico. Los elementos que componen ésta unidad se denominan como los de la unidad convencional con la diferencia que el conjunto de articulación del balancín se denomina cojinete del poste maestro.

La Figura 2.4 indica la unidad Mark II con sus partes.

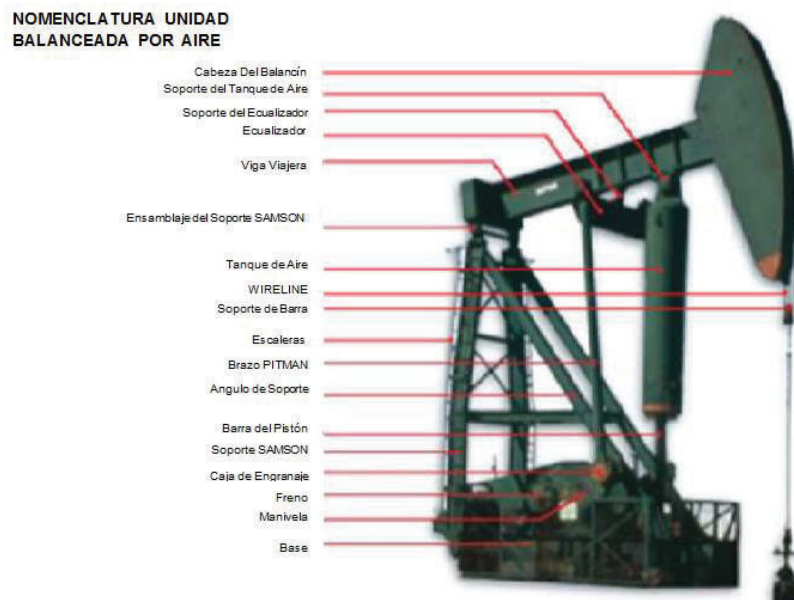
### FIGURA 2.2 ESQUEMA DE LA UNIDAD CONVENCIONAL



**Fuente:** Catálogo Lufkin Oilfield Products Group, 2009.

**Elaboración:** Lufkin Oilfield Products Group.

**FIGURA 2.3 ESQUEMA DE LA UNIDAD BALANCEADA POR AIRE**



**Fuente:** Catálogo Lufkin Oilfield Products Group, 2009

**Elaboración:** Lufkin Oilfield Products Group.

**FIGURA 2.4 ESQUEMA DE LA UNIDAD DE BOMBEO MARK II**



**Fuente:** Catálogo Lufkin Oilfield Products Group, 2009

**Elaboración:** Lufkin Oilfield Products Group.

## **UNIDAD ROTAFLEX**

Es una unidad de carrera larga diseñada por la compañía Weatherford para uso con bombas de pistón. Dicha tecnología está siendo implementada en el distrito Amazónico, posteriormente se realizará una descripción de esta unidad de bombeo.

### **2.2.1.3 Caja de engranes y contrapesos**

La caja de engranajes tiene como función convertir torque bajos y altas rpm de la unidad motriz en altos torques y bajas rpm necesarias para operar la unidad de bombeo. Una reducción típica de una caja de engranaje es 30:1. Esto significa que la caja de engranaje reduce los rpm a la entrada 30 veces mientras intensifica el torque de entrada 30 veces.

Si la caja de engranaje tuviera que suplir todo el torque que la unidad de bombeo necesita para operar, su tamaño sería demasiado grande. No obstante, al usar contrapesos, el tamaño de la caja de engranaje puede ser minimizado.

Se utilizan contrapesos para reducir el torque que la caja deba suministrar. Durante la carrera ascendente los contrapesos ayudan a la caja cuando las cargas en la barra pulida son las más grandes; en la carrera descendente, la caja de engranaje levanta los contrapesos con la ayuda de las cargas de las varillas, quedando listos para ayudar nuevamente en la carrera ascendente. Es decir, en la carrera ascendente, los contrapesos proporcionan energía a la caja de engranaje (al caer); en la carrera descendente estos almacenan energía (al subir). La condición para que opere idealmente es igualar el torque en la carrera ascendente y descendente usando la cantidad correcta del momento de contrabalanceo. Si esto ocurre se dice que la unidad esta Balanceada.

Si la unidad esta fuera de balance puede sobrecargar el motor y la caja de engranaje. Lo que puede resultar en fallas costosas y pérdidas de producción si no se corrige a tiempo.

#### **2.2.1.4 Barra pulida**

Es la única parte que es visible en la superficie, la cual tiene una superficie lisa y brillante; y tiene como función conectar la unidad de bombeo a la sarta de varillas.

Cuando el pozo no produce suficiente petróleo para mantener lubricada la barra pulida entonces un lubricador es usualmente instalado encima de la prensa estopa; este lubricador prevendrá daños en la prensa estopa y barra pulida. Se debe considerar que la función principal de la barra pulida es soportar el peso de la sarta de varillas, bomba y fluido; por ésta razón, experimenta cargas más altas que cualquier otra parte de la sarta.

#### **2.2.1.5 Prensa estopa**

La superficie de la barra pulida previene el desgaste de las empaaduras de la prensa estopa.

Las empaaduras de la prensa estopa están diseñadas para prevenir fugas de fluido. Pero, si se aprietan demasiado, se podrán incrementar las pérdidas de potencia en la barra pulida.

#### **2.2.1.6 Líneas de flujo**

Las líneas de flujo conectan el cabezal del pozo con el separador. Las altas presiones en la línea de flujo pueden provocar altas cargas en la barra pulida y una disminución en la eficiencia. Estas cargas adicionales en la barra pulida dependerán del diámetro del pistón, mientras más grande sea el tamaño del pistón, más grande será el efecto de la presión de la línea de flujo en el sistema.

En pozos con exceso de gas se tendrá que instalar un orificio (pressure back) en la línea de flujo, esto ayudará a evitar que se interrumpa la producción.

### **2.2.2 EQUIPO DE FONDO**

A continuación se detalla cómo está conformado el equipo de fondo:

- Sarta de varillas,
- Tubería de producción,
- Bomba de fondo,
- Ancla de gas (opcional),
- Niple de asentamiento,
- Niple perforado,
- Ancla de tubería

#### **2.2.2.1 Sarta de Varillas**

La sarta de varillas conecta la bomba de fondo con la barra pulida. La función principal es transmitir el movimiento oscilatorio de la barra pulida a la bomba. Esto proporciona la potencia necesaria a la bomba para bombear el petróleo hacia la superficie. Se utiliza diámetros mayores de varillas en el tope y diámetros pequeños en la base para minimizar los costos y las cargas tensionales.

Las varillas de succión son hechas de acero o fibra de vidrio. La mayoría de las varillas son fabricadas 100% en acero.

Las varillas tienen conexiones estándar, sin tomar en cuenta el fabricante y sus diámetros son de 1/2", 3/4", 7/8", 1" y 1 1/8" con longitudes de 25', 30' y 50'. Se fabrican de acuerdo a ciertas especificaciones y la forma de identificarlas es observando las marcas impresas en las caras planas del cuadro, éstas indican el año de fabricación, diámetro, grado de la varilla y composición química.



### **2.2.2.2 Tubería de Producción**

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

- Restricciones de flujo debido a parafinas y escalas.
- Cuellos de botella pueden ocurrir cuando la bomba tiene diámetros mayores que el diámetro interno de la tubería.
- Hoyos desviados que incrementan la fricción entre varillas y tubería.
- Tubería que es demasiado pequeña para la tasa de producción.

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

### **2.2.2.3 Bombas de Fondo**

Es una bomba de pistón utilizada para levantar el fluido desde el fondo del pozo a la superficie, accionada por el movimiento alternativo (arriba y abajo) de la sarta de varillas que son accionadas por la unidad de bombeo.

La bomba está formada por un pistón (embolo) y un cilindro (barril o camisa) donde se mueve el pistón. Contiene una válvula estacionaria (válvula fija) que permite o no la entrada del fluido del pozo al interior de la bomba y de una válvula móvil (válvula viajera) que permite o no la entrada del fluido de la bomba al interior del pistón.

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

#### *2.2.2.3.1 Clasificación API de las Bombas de Subsuelo*

Hay dos tipos básicos de bombas de subsuelo disponible. El principio de operación es el mismo para ambas, aunque difieren un poco en la construcción y aplicación.

### **BOMBAS DE TUBERÍA.**

Una bomba de tubos es una parte integral de la sarta de tubería. El barril de la bomba sirve como una sección de la tubería. El pistón y la válvula viajera se bajan en el pozo con la sarta de varillas. La válvula de pie puede ser de dos tipos, fija o recuperable.

La de tipo fijo se conecta debajo del barril de la bomba como parte de la sarta de la tubería. Una válvula más grande puede instalarse, en este tipo de jaula, que en una de tipo recuperable pero la tubería debe retirarse para reparar la bomba.

La válvula de pie del tipo recuperable descansa en un niple de asiento de tipo a copas o de tipo mecánico al fondo de la sarta de tubería. Este tipo puede retirarse con la sarta de varillas por medio de un pescador de la válvula que se conecta permanentemente al extremo inferior del pistón.

Las bombas de tubos son clasificadas como bombas de alto volumen para servicio pesado. Se puede esperar máxima producción con este tipo con respecto al tamaño de la tubería. Sin embargo, debido al gran diámetro del pistón, la carga de fluido será mayor que con una bomba insertable. Por consiguiente, dependiendo de la sarta de varillas y el tamaño del equipo de bombeo en superficie, la profundidad a la que una bomba de tubos puede bajarse está limitada. Cuando se requieren reparaciones de barril de una

bomba de tubos, toda la sarta de tubería debe retirarse. Esta es una operación más cara que una simple operación de retiro de varillas para reparar y reinsertar una bomba de varillas.

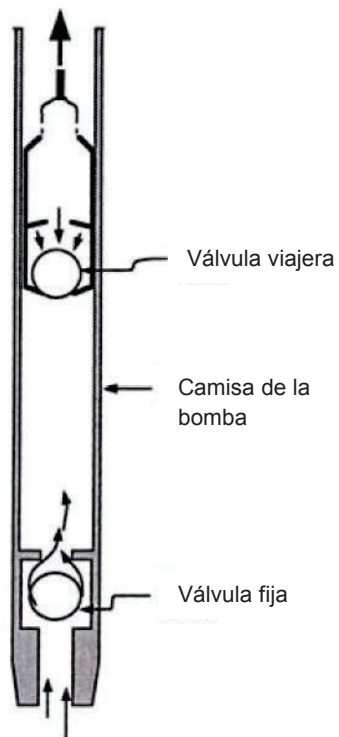
### **BOMBAS DE VARILLAS**

Las bombas de varillas se insertan dentro de la tubería y bajan junto con la sarta de varillas. Este tipo de bomba se fija en un niple de asiento a copas o mecánico que se baja como una parte de la sarta de tubería. Una bomba de varillas es retirada de la tubería cuando se retira la sarta de varillas.

Una bomba de varillas es necesariamente más pequeña en diámetro que una bomba de tubos y por consiguiente de capacidad más pequeña para un tamaño de tubería dado.

Para entender cómo trabaja la bomba se presenta en la Figura 2.5 el comportamiento de las válvulas viajeras y fijas durante el ciclo de bombeo, asumiendo que la bomba se llena con líquido incompresible tal como petróleo muerto o agua.

**FIGURA 2.5 COMPORTAMIENTO DE VÁLVULAS VIAJERAS Y FIJAS**



**Carrera Ascendente**



**Carrera Descendente**

**Fuente:** Manual de Optimización de Bombeo Mecánico, THETA Enterprise Inc., 2005

**Elaboración:** THETA Enterprise Inc

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

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

### 2.2.2.3.2 Nominación de las Bombas de Subsuelo

En su Norma 11AX, el API designa las bombas de varillas o insertables como “R” y la bomba de tubos como “T.” La segunda letra se refiere al tipo de barril. “H” indica pared gruesa, “W” los barriles de pared delgada, “X” Los barriles de pared gruesa con extremos hembra en bombas de metal - metal. “S” se refiere a las bombas de empaquetamiento blando. La tercera letra describe construcción de la bomba y posición del anclaje; como se indica en la Figura 2.6.

**FIGURA 2.6 DESIGNACIÓN DE LAS BOMBAS DE SUBSUELO**

	<u>Bombas Metal-Metal</u>		<u>Bombas de Empaq. Blando</u>	
	<u>Barriles de Pared Gruesa</u>	<u>Barriles de Pared Delgada</u>	<u>Barriles de Pared Gruesa</u>	<u>Barriles de Pared Delgada</u>
Bombas de Varillas				
Barriles Estacionarios				
Anclaje Superior	RHA	RWA	--	RSA
Barriles Estacionarios				
Anclaje Inferior	RHB	RWB	--	RSB
Anclaje Inferior	RXB	--	--	--
Barril Viajero				
Anclaje Inferior	RHT	RWT	--	RST
Bombas de Tubos	TH	--	TP	--

**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** Weatherford

### **BOMBAS METAL - METAL**

Mientras el costo inicial de las bombas metal - metal es mayor, ellas son más adaptables a las difíciles condiciones de operación y a los pozos más profundos. Ellas normalmente duran mucho más tiempo y requieren pocos trabajos de servicio de pozos.

Este tipo de bomba se compone de un barril con bruñido de precisión y un pistón de metal. La tolerancia entre el barril y pistón (luz del pistón) puede especificarse para lograr la más grande eficiencia volumétrica y la más larga vida posible de la bomba bajo las condiciones dadas.

Los barriles, pistones de metal, bolas, asientos, jaulas y partes conectantes están disponibles en una variedad de materiales para el uso en diferentes tipos de condiciones corrosivas del pozo.

Barriles de acero, latón y monel sencillos y con cromado interior para reducir la fricción y mejorar la vida de la bomba, están disponibles. Acero endurecido, para ayudar a superar la abrasión media a severa, también está disponible.

Los pistones de acero pueden ser recubiertos mediante rociado con una aleación de materiales resistente al desgaste para ayudar reducir la corrosión y el desgaste.

### **BOMBAS DE EMPAQUETAMIENTO BLANDO**

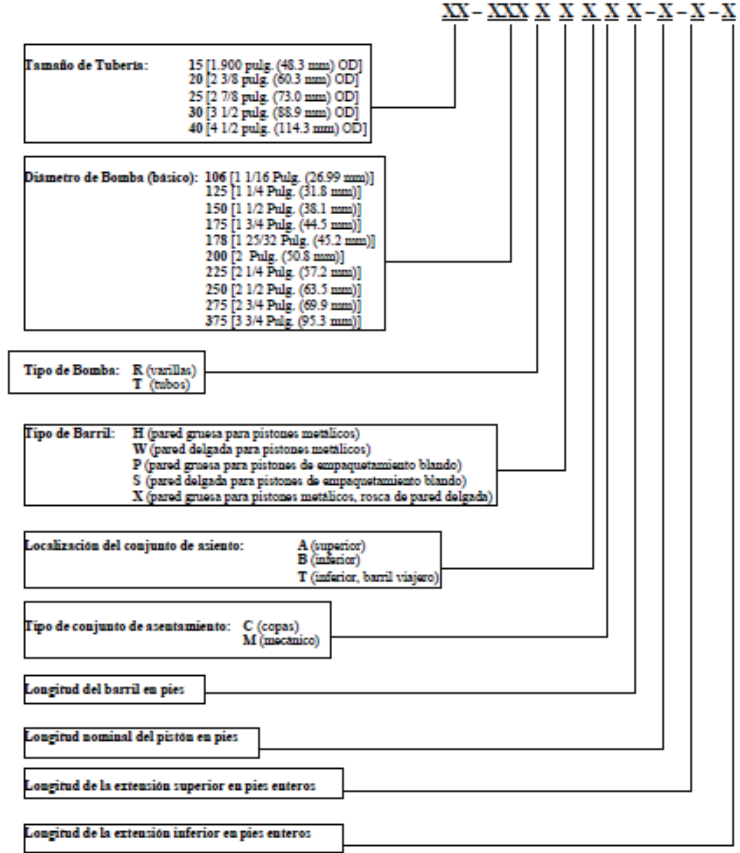
En las bombas de Empaquetamiento Blando, el sello positivo entre el barril y el pistón es controlado por los anillos.

Los Pistones de Anillos Actuados por Presión consisten de anillos de compuestos flexibles montados en un pistón con canales torneados. Los anillos que se construyen de materiales resistentes al petróleo, crean el sello con el barril lo cual es requerido para levantar el fluido. Debido a que los anillos se contraen en la carrera descendente, no hay carga de compresión sobre la sarta de varillas. Los anillos se desgastan lentamente y una disminución gradual en producción va advirtiendo de la necesidad de reemplazarlos.

Son muy eficaces para bombear fluido que contiene arena u otra materia abrasiva. Los anillos actúan como limpiadores para quitar la arena del barril. La acción abrasiva desgastará lentamente los anillos.

A continuación en la Figura 2.7 se presenta el significado de cada uno de los dígitos con los cuales se denomina a una bomba.

FIGURA 2.7 NOMENCLATURA DE LAS BOMBAS DE SUBSUELO



Fuente: Weatherford, Reciprocating Rod Lift. 2009

Elaboración: Weatherford

2.2.2.4 Ancla de gas

La bomba de varillas de succión está diseñada para bombear tan solo líquido. La presencia d gas en el fluido producido reduce la eficiencia de la bomba, en la carrera descendente, la bomba comprime el gas hasta que la presión dentro del cilindro es suficientemente alta para abrir la válvula viajera. Dependiendo de la cantidad de gas libre, una gran parte de la carrera ascendente puede desperdiciarse en la compresión del gas antes que algún líquido sea producido.

Debido a esto, existen eficiencias volumétricas menores al 50% que son comunes cuando el gas entra en la bomba.

En la carrera ascendente, como el gas entra en la bomba, éste ocupa una gran parte del volumen de la bomba. Las anclas de gas ayudarán a reducir la cantidad de gas libre que entra a la bomba. Esto ocurre al permitir que la separación de gas y su flujo hacia la superficie a través del anular (revestidor – tubería), antes de su entrada a la bomba.

Las anclas de gas son extensiones de bombas diseñadas para separar el gas libre del líquido producido antes de que éste entre a la bomba. Estas operan con el principio de que el gas es más ligero que el petróleo y por lo tanto se mueve hacia arriba mientras el crudo lo hace hacia abajo. El gas pasa la entrada de la bomba, fluye hacia arriba por el anular tubería – revestidor permitiendo que más líquido entre en la bomba. Ésta mejora la eficiencia volumétrica y aumenta la producción.

#### **2.2.2.5 Ancla de tubería y Niple de asentamiento**

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

El Niple de asentamiento (zapata) es un acople de tubería especialmente diseñado que es internamente ahusado (estrechamiento) y permite asentar la bomba con un fuerte sello. Los niples de asentamiento tienen por igual cierre mecánico o por copas de fricción. Cuando una bomba de tubería es ahusada, la válvula fija se conecta con la base de pistón.



## **2.3 UNIDAD DE BOMBEO ROTAFLEX**

La unidad de bombeo Rotaflex es una unidad de carrera larga creada por la compañía Weatherford que ha sido diseñada para ser usada con bombas de pistón. Las innovaciones y su probada tecnología en su diseño hacen que esta unidad ofrezca un bombeo eficiente y rentable en pozos profundos, complejos y de alto caudal. Con esta unidad de bombeo se puede utilizar bombas de pistón en pozos donde antes operaban bombas electrosumergibles o hidráulicas.

Tiene una carrera larga de hasta 366 pulgadas o 9,3 metros y la posibilidad de trabajar a muy bajos ciclos por minuto que permite un completo llenado de la bomba y menor carga dinámica. Los gráficos dinamométricos obtenidos en los pozos que están operados con Rotaflex son similares a un gráfico de carga ideal (modelo teórico). El bombeo con la unidad Rotaflex reduce la carga estructural sobre el equipo, alargando así la vida útil de la instalación de fondo del pozo, ya que la sarta de varillas trabaja a velocidades relativamente constantes. La 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.

Trabajar en un pozo con la unidad Rotaflex es simple y seguro. Después de desconectar la brida de seguridad y el colgador del vástago del bombeo pulido del pozo, la unidad se desplaza del cabezal del pozo sin necesidad de desarmarla. Terminada la intervención, la unidad Rotaflex vuelve a ser desplazada hasta su posición de trabajo (sobre la boca del pozo) y el vástago conectado.

### **2.3.1 DESCRIPCIÓN**

La unidad de bombeo Rotaflex también conocida como Unidad de Carrera Larga, es una unidad, de baja velocidad de bombeo y carrera larga. Su finalidad es transformar el movimiento de rotación del motor en un movimiento ascendente – descendente requerido para impulsar la bomba de fondo.

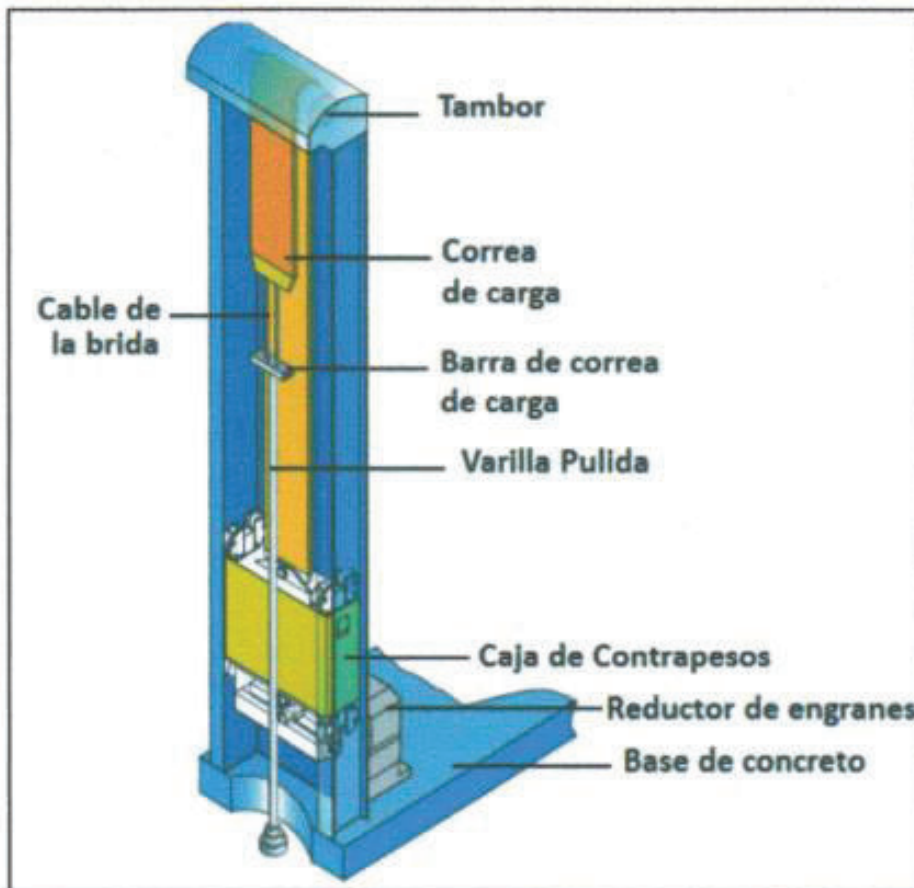
Como se muestra en la Figura 2.8 esta unidad está conformada como una torre vertical que se coloca próxima a la cabeza del pozo; está conformada por:

- Tambor de la carrera larga,
- Correa de carga,
- Cable de brida,
- Caja de contrapeso,
- Caja de engranaje,

### **PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

La unidad Rotaflex mantiene una velocidad relativamente constante durante la mayor parte de la carrera ascendente y descendente. La conexión del sistema resulta en un brazo de torque constante en la caja reductora. En el tope y en el fondo de la carrera, el momento en el brazo del torque se convierte en cero y los requerimientos de poder del motor son más bajos.

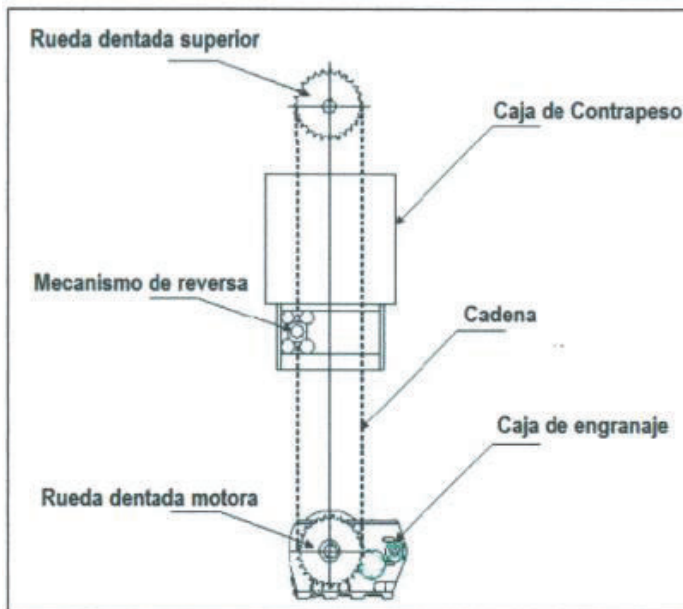
El peso de la caja de contrapesos (incluyendo las pesas auxiliares) debe ser aproximadamente igual al peso de las varillas más la mitad del peso del fluido. Así, la energía debe ser suministrada al sistema durante la carrera ascendente de la barra pulida porque el peso de las varillas más el peso del fluido, excede el peso de la caja de contrapesos. En la carrera descendente, el peso de la caja de contrapesos excede el peso de las varillas, por lo que debe suministrarse una fuente de poder que ayude a subir a la caja de contrapesos, mientras las varillas son bajadas.

**FIGURA 2.8 COMPONENTES DE LA UNIDAD DE BOMBEO ROTAFLEX**

**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** Weatherford

El motor está conectado directamente en la caja reductora, la cual transmite el movimiento de rotación a una rueda dentada motora que conduce una cadena a velocidad relativa constante. Dicha cadena viaja entre la rueda dentada mencionada anteriormente y otra fija en la parte superior de la torre, que impulsa la caja de contra peso y el mecanismo de reversa. En la Figura 2.9 se puede observar el funcionamiento.

**FIGURA 2.9 SISTEMA DE CADENA Y CONTRAPESO**

**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** Weatherford

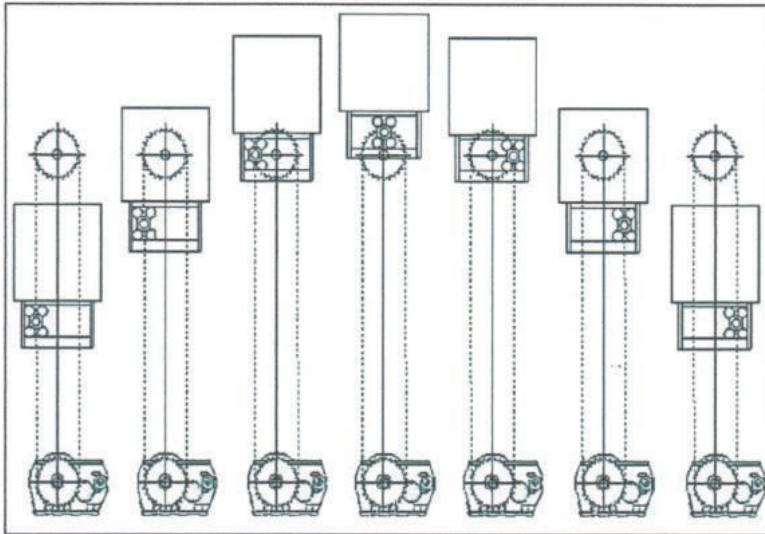
En la Figura 2.10 se observa como durante la carrera ascendente y descendente, la caja de contrapeso del equipo se encuentra fija en uno de los eslabones de la cadena, por medio del mecanismo de reversa se mueve solidariamente con éste.

La caja de contrapeso se encuentra conecta a una correa de carga (banda flexible) que se desliza sobre el tambor giratorio durante el ciclo de bombeo y transmite la fuerza a la barra pulida mediante el cable de brida, como se muestra en la Figura 2.11.

Así, en la carrera ascendente, el contrapeso baja, mientras tanto que en la carrera descendente el contrapeso sube.

La correa de carga de alta resistencia tiene una capacidad hasta de 40000 libras y actúa como un amortiguador de choques, absorbiendo las cargas de impacto de los componentes dentro del pozo para reducir así la fatiga del sistema. Por otro lado ayuda a la bomba a que trabaje más eficientemente y produzca fluido.

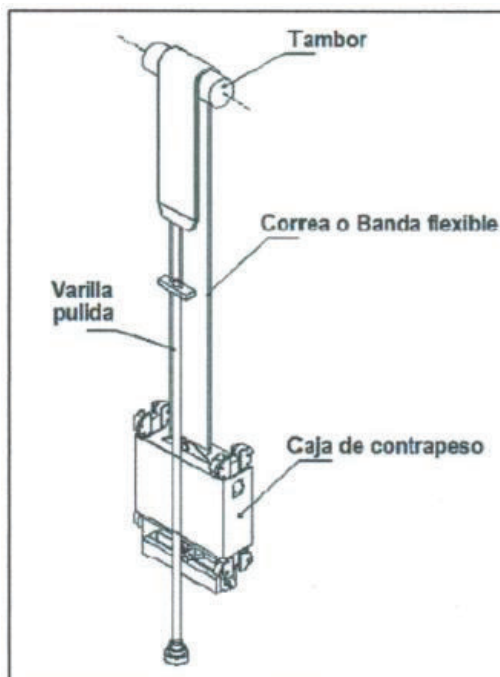
**FIGURA 2.10 MOVIMIENTO DEL CONTRAPESO**



**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** Weatherford

**FIGURA 2.11 CONEXIÓN ENTRE LA CAJA DE CONTRAPESO Y LA BANDA FLEXIBLE**



**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift. 2009

**Elaboración:** Weatherford

Los cambios de sentido se producen en las ruedas dentadas cuando dicho eslabón (fijo al mecanismo de reversa) pasa a través de ellas. Mientras la cadena siempre viaja a una velocidad constante, un rápido cambio en la velocidad de la caja de contrapeso y la barra pulida ocurre en el tope y en el fondo de cada embolada. Dichos cambios de velocidad originan que en la caja de contrapeso y la barra pulida desaceleren al final de cada mitad de carrera y aceleren al principio de cada mitad.

El mecanismo de reversa desacelera verticalmente mientras el eslabón cambia horizontalmente de posición. De ésta manera, a medida que el mecanismo de reversa desacelera, la caja de contrapeso y la barra pulida también lo hacen.

### **2.3.2 PARTES DE LA UNIDAD DE BOMBEO ROTAFLEX.**

#### **2.3.2.1 Tambor de la Carrera Larga.**

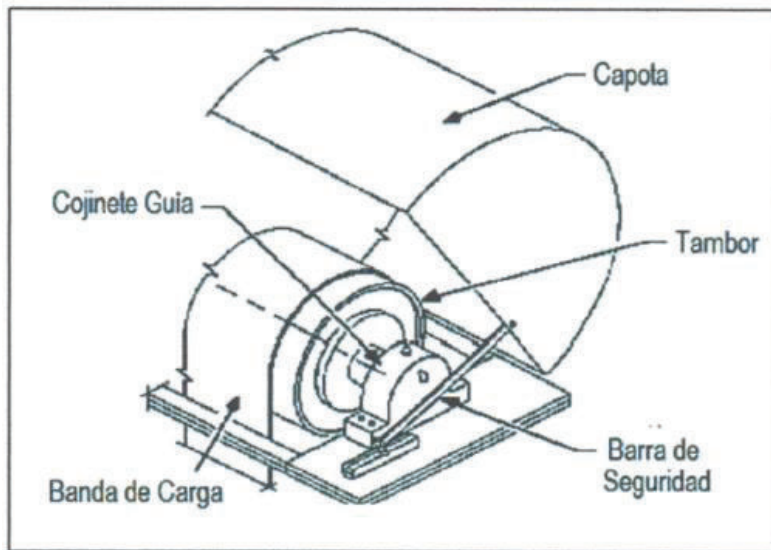
En la parte superior de la torre se encuentra la capota de la corona, donde se tiene acceso al tambor, la correa o banda de carga y a los dos cojinetes guías que soportan el tambor. El tambor soporta el peso combinado de la caja de contrapesos y de la carga del pozo, por lo que es importante verificar periódicamente el estado del mismo (Figura 2.12).

#### **2.3.2.2 Correa de carga.**

Es una banda flexible de alta resistencia con capacidad de hasta 40000 libras, que absorbe los esfuerzos de tensión y compresión.

#### **2.3.2.4 Cable de brida.**

Es un cable de acero trenzado que sirve de eslabón entre la correa de carga y la barra pulida, transmitiendo el movimiento alternativo de la sarta de varillas de succión.

**FIGURA 2.12 PARTE SUPERIOR DEL TAMBO DE LA CARRERA LARGA**

**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** Weatherford

### 2.3.2.5 Caja de contrapeso.

Debido a que 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, que permitan reducir el consumo de energía.

La caja de contrapeso posee tres guías en cada esquina para mantenerla apropiadamente posicionada dentro de la torre. Una guía tiene como función alinear la caja de lado a lado. Las otras dos guías (en cada esquina) alinean de atrás hacia adelante.

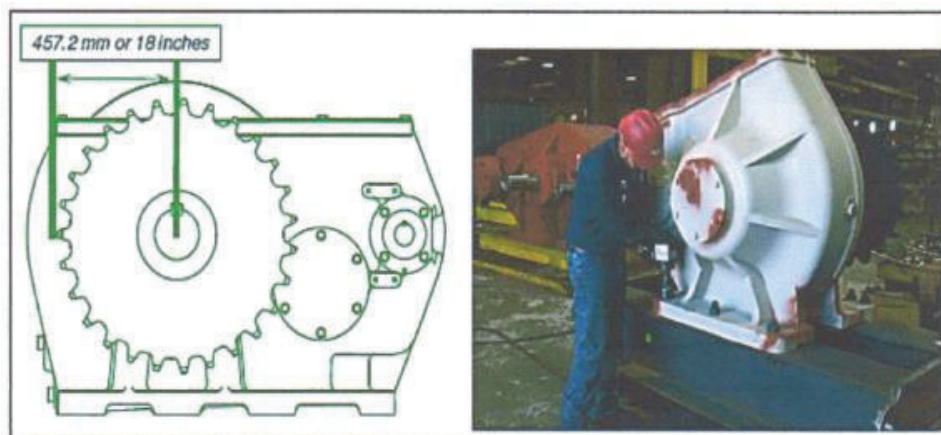
### 2.3.2.6 Caja de engranaje

La caja de engranaje tiene como función convertir la elevada velocidad rotacional del motor en una velocidad adecuada de bombeo.

Los reductores de velocidad utilizan un engranaje doble o triple, en la Figura 2.13 se muestra uno con tres ejes; donde el eje de entrada es de alta

velocidad, un eje intermedio y el eje de baja velocidad. El eje de alta velocidad es impulsado por el motor a través de una correa y el eje de baja impulsa una cadena, a través de una coona de 18 pulgadas de diámetro que acciona el mecanismo de reversa del sistema. Al tener un brazo impulsor corto, se requiere menos esfuerzo y se puede obtener una caja reductora más pequeña y con lo mismo se mejora la eficiencia del sistema.

**FIGURA 2.13 CAJA DE ENGRANAJES, REDUCTORA DE VELOCIDAD**



**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** Weatherford

### 2.3.2.7 Sistema de frenado

En las unidades de bombeo Rotaflux encontramos dos tipos de frenos, automático y manual. Estos frenos constan de discos de pastillas, montados en el eje de la entrada de la caja reductora. La operación de cada sistema es independiente uno del otro. Las dos pastillas se encuentran montadas en un solo disco y ambas son idénticas.

El freno manual se activa por medio de una palanca, la cual se muestra en la Figura 2.14 en donde el movimiento es transmitido por un tornillo – palanca, que al extenderse frena el sistema. El interruptor ubicado al lado derecho de la palanca puede ser accionado de manera manual.



**FIGURA 2.14 FRENO MANUAL**

**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** Weatherford

El freno automático actúa por medio de un motor eléctrico que impulsa a un engranaje, para que al contraerse frene y al extenderse libere el freno. La Figura 2.15 muestra el freno automático.

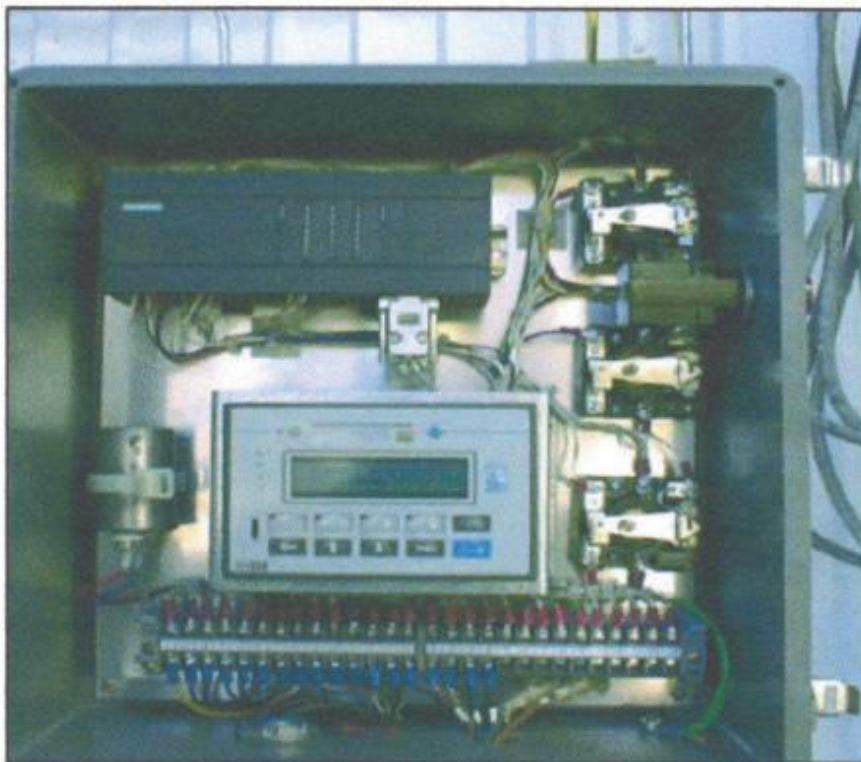
Este es controlado por el Speed – Sentry o Panel de Control (Figura 2.16), el cual es programarle y monitorea la velocidad de la unidad, la unidad se apagará automáticamente, actuando el freno y quitando la energía eléctrica al motor para velocidades mayores o menores a la configurada.

El panel muestra la velocidad de operación y acciona automáticamente el sistema de freno, una vez que la velocidad supere el rango de operación del equipo.

**FIGURA 2.15 FRENO AUTOMÁTICO**

**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** Weatherford

**FIGURA 2.16 PANEL DE CONTROL (SPEED-SENTRY)**

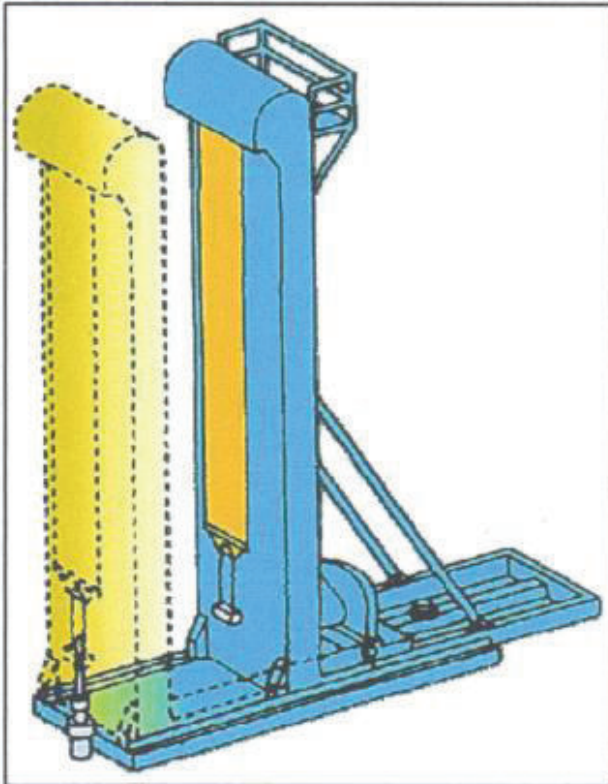
**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** Weatherford

### 2.3.2.8 Rieles

En la Figura 2.17 se observa los rieles montados en la base de concreto facilitan el desplazamiento de la unidad hacia adelante y hacia atrás, esto puede suceder cuando en el pozo se requiera realizar algún trabajo de Workover.

**FIGURA 2.17 MOVIMIENTO DE LA UNIDAD DE BOMBEO**



**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** Weatherford

Para realizar el levantamiento de la unidad se utiliza una grúa (Figura 2.18) debido a su peso y estructura. Luego se procede a realizar la conexión con la sarta de varillas.

## FIGURA 2.18 LEVANTAMIENTO DE LA UNIDAD DE BOMBEO DE CARRERA LARGA MEDIANTE LA GRÚA



**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** Weatherford

### MONTAJE

La unidad de bombeo Rotaflex posee una versatilidad para su traslado e instalación. Para instalar la unidad se debe construir una base de cemento de suficiente tamaño y peso, con la finalidad que soporte a la unidad de bombeo (el concreto debe tener una Resistencia a la compresión de 4,000 psi a los 28 días).

Esta base debe estar apropiadamente alineada y posicionada al lado del pozo. Adicional al equipo y partes suministradas con la unidad Rotaflex, el operador necesitará equipo adicional para completar la instalación:

- a) Para las unidades 800 DX y 900 es necesaria una grúa de 50 toneladas, con un mástil de 65 pies de altura. Para la Unidad 1100 es necesario un grúa de 70 toneladas de capacidad de carga, con un mástil de 75 pies de altura.
- b) La grúa debe estar equipada con:
  - 4 guayas de 20 pies cada una.

- 2 guayas de 3 pies cada una, con grilletes de suficiente tamaño para trabajar con cojinetes de 2". La grúa debe ser usada para cargar la base de concreto, la unidad Rotaflex y levantar la torre de la unidad. La base de la unidad pesa aproximadamente 29.000 lbs, las unidades 800DX y 900 pesan aproximadamente 43000 lbs y la 1100 pesa 58000 lbs.
- c) Una cuadrilla mínimo de tres personas.
  - d) Un Montacargas.
  - e) Barra lisa de 36 pies.
  - f) Dos grapas para barra lisa.
  - g) Un Motor, Polea para el motor y pernos.
  - h) Correa para la polea.
  - i) Panel eléctrico y servicio eléctrico para el movimiento primario.
  - j) Gato hidráulico de 25 toneladas.
  - k) Electricista y equipo para la instalación del movimiento primario y el Speed Sentry.

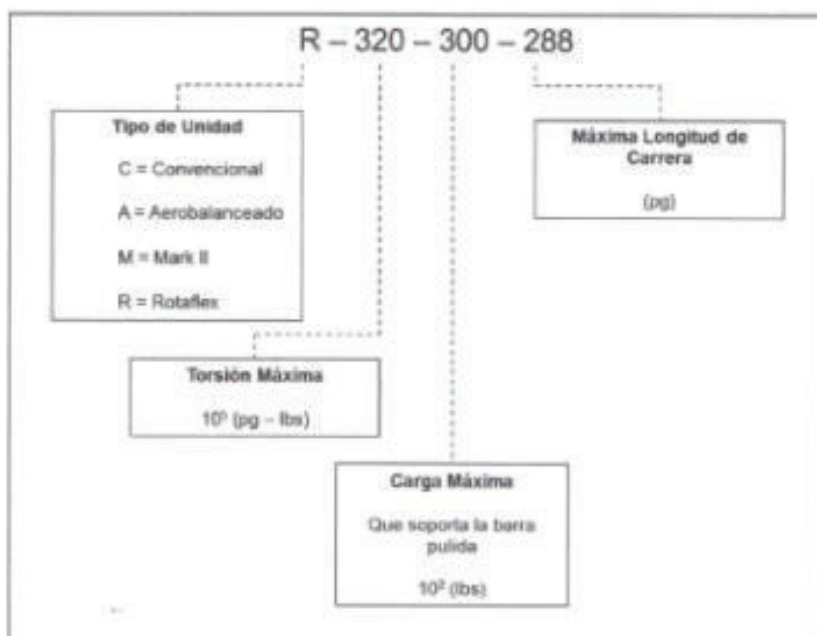
### **2.3.3 COMPARACIÓN DE LA UNIDAD DE BOMBEO ROTAFLEX CON UNIDADES DE BOMBEO CONVENCIONALES**

Las unidades de bombeo Rotaflex (carrera larga), pueden ser de 288 pulgadas (7,32 metros) hasta 366 pulgadas (9,30 metros) de longitud. Es decir entre 200 y 254% más larga que una unidad convencional comparándola con una carrera de 144 pulgadas (3,7 metros).

Existen diferentes tipos de unidades con respecto a la torsión a la máxima de la caja de engranajes y la carga máxima que soporta la barra pulida. Sin embargo, entre los modelos más utilizados se encuentran el 800DX, 900 y 1100.

Se tiene que tomar en cuenta que las unidades de bombeo mecánico se identifican de acuerdo a especificaciones API que se han desarrollado. En la Figura 2.19 se muestra un ejemplo como es la identificación de una unidad.

**FIGURA 2.19 DESIGNACIÓN DE UNA UNIDAD DE BOMBEO**



**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** Weatherford

En la Tabla 2.1 se muestra la designación API de algunos modelos de unidad de carrera larga

**TABLA 2.1**

**UNIDADES DE CARRERA LARGA SEGÚN SU DESIGNACIÓN 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
1200	R-456-600-306

**Fuente:** Weatherford, Reciprocating Rod Lift., 2009

**Elaboración:** José Brasales

El equipo de la unidad de bombeo Rotaflex trabaja a muy bajos ciclos por minutos (cuando se requiera). Esto logra un mejor llenado de barril de la bomba (mayor producción) y una reducción de tensión y compresión sobre la sarta de varillas.

Incrementa la producción debido a que la barra pulida opera a velocidades constantes durante la carrera ascendente y descendente, lo que reduce el desgaste entre las partes móviles y los problemas por golpe de fluido. De igual modo reduce la carga estructural sobre el equipo, alargando la vida útil del mismo.

A continuación en la Figura 2.20 se presentan las especificaciones para los diferentes modelos de unidad Rotaflex.

## FIGURA 2.20 ESPECIFICACIONES DE LAS UNIDADES DE BOMBEO ROTAFLEX

Modelo	1151	1150	1100	900
Capacidad Caja de Engranajes, in.lb (N.m)	420.000 (47.458)	320.000 (36.158)	320.000 (36.158)	320.000 (36.158)
Longitud de Carrera, in (m)	366 (1,44)	366 (1,44)	306 (1,20)	288 (1,13)
Carga Máx. en la Barra Pulida, lbs (Kg)	50.000 (22.700)	50.000 (22.700)	50.000 (22.700)	36.000 (16.344)
Velocidad Máx. (spm)*	3,75	3,64	4,3	4,5
Velocidad Mín. (spm)	No hay un mínimo absoluto**			
Caja de Contrapeso, lbs (Kg)	9.800 (4.449)	9.800 (4.449)	9.800 (4.449)	9.400 (4.268)
Contrapesos Adicionales, lbs (Kg)	30.200 (13.711)	30.200 (13.711)	30.200 (13.711)	21.980 (9.979)
Contrapeso Total, lbs (Kg)	40.000 (18.160)	40.000 (18.160)	40.000 (18.160)	31.380 (14.247)
Ancho de la Correa de Carga, in (m)	50 (1,27)	50 (1,27)	50 (1,27)	42 (1,07)
Longitud de la Correa de Carga (m)	38ft 10 in (11,84)	38ft 10 in (11,84)	33ft 10in (10,31)	32ft 6in (9,91)
Resist-Tensión Correa de Carga (PIW)	10000	10000	10000	10000
Dimensiones Unidad (LxAnxAlt), ft	23.6x8.5x49.3	23.6x8.5x49.3	23.6x8.5x44.3	21.6x7.6x40.5
Dimensiones Transporte (LxAnxAlt), ft	49.3x8.3x10.2	49.3x8.3x10.2	44.3x8.3x10.2	40.5x7.4x9.2
Peso Transporte, lb (Kg)	55.000 (24.970)	53.880 (24.462)	52.300 (23.744)	42.900 (19.477)
Peso Base de Concreto, lb (Kg)	29.000 (13.166)	29.000 (13.166)	29.000 (13.166)	29.000 (13.166)
Dimensiones Base de Concreto, (LxAn), ft	24x8.5	24x8.5	24x8.5	24x8.5
Temperatura de Operación	-40°C hasta +59°C		-40°F hasta 140°F	
Dimensiones Correa de Carga, in x ft in	50 in x 38 ft 10 in	50 in x 38 ft 10 in	50 in x 33 ft 10 in	42 in x 32 ft 6 in
Sistema de Freno Automático	Si	Si	Si	Si

\*Máximo cuando se opera la unidad a velocidad constante. La velocidad promedio máxima puede ser incrementada hasta un 25% con el uso de un variador de frecuencia.

\*\*No hay un mínimo absoluto basado en el lubricamiento de los engranajes pero está limitado a la habilidad de la unidad de lubricar los elementos internos.

**Fuente:** Manual Instalación y Operación Rotaflex, Weatherford International., 2007

**Elaboración:** Weatherford

## 2.4 DINAMOMETRÍA<sup>3</sup>

Una carta dinamométrica es un diagrama de carga vs el desplazamiento 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 diagrama registrado está dado con la posición de la varilla pulida en la abscisa y la carga en la ordenada.

El instrumento utilizado para registrar este tipo de cartas es conocido como Dinamómetro; el cuál toma un registro continuo del patrón de fuerzas a través del desplazamiento de la varilla pulida. De éste es posible obtener la siguiente información:

1. Cargas en el equipo superficial: Debido a que el dinamómetro proporciona una gráfica continua de carga y desplazamiento de la varilla pulida vs tiempo, es posible determinar:
  - Carga máxima y mínima en la estructura de la unidad de bombeo.
  - Torsión en el reductor de engranes y en el motor principal, cuando se conocen los factores de torsión.
  - Trabajo realizado por la varilla pulida para elevar el fluido y vencer la fricción.
  - Contrabalanceo apropiado.
  
2. Cargas en la sarta de varilla:
  - Carga máxima, mínima, esfuerzos en las varillas y rango de cargas.
  - Número de inversiones de carga por ciclo de la manivela.
  
3. Comportamiento de la bomba superficial: el sistema de bombeo mecánico puede compararse con un sistema de transmisión, la bomba como transmisor y el dinamómetro en la varilla pulida como receptor.

---

<sup>3</sup> Manual de Capacitación de Dinamometría, 2011, O&A Dinamometría

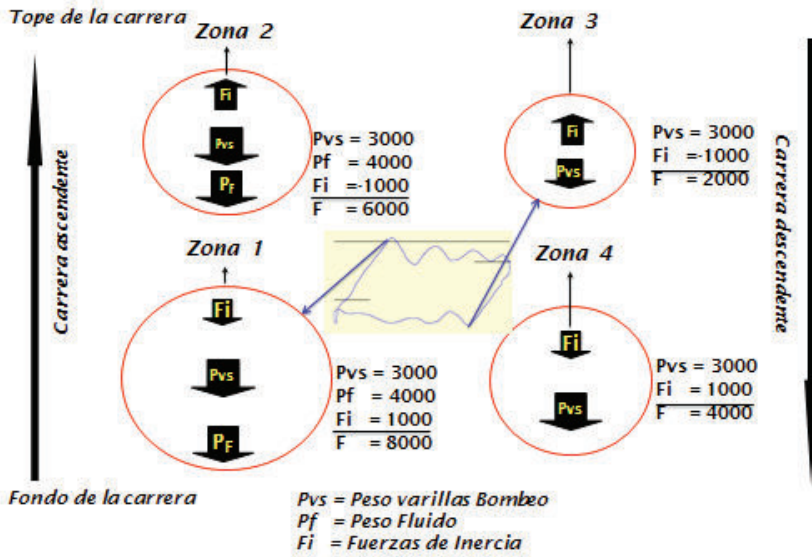


La Figura 2.21 muestra una carta ideal en la cual podemos observar cuatro círculos de distintos tamaños, el mayor se da en la carrera ascendente cuando se cierra la válvula móvil, y la sarta de varillas toma el peso de fluido, además se suma la inercia de la misma, que en este caso es positiva, por esta causa se registra la mayor carga de la carta dinamométrica en el inicio, en  $\frac{1}{4}$  aproximadamente de la carrera total desarrollada en el vástago pulido, una vez que la sarta de varilla se encuentra en la mitad de la carrera ascendente, la inercia se vuelve negativa, disminuyendo los valores de carga en el vástago pulido, cuando se inicia la carrera descendente ocurre lo contrario de la carrera ascendente, la inercia se vuelve negativa en el inicio, produciéndose las mínimas cargas registradas en la carta, luego la inercia cambia de signo, incrementando levemente las cargas mínimas hasta que llega al punto muerto inferior.

### **COMPORTAMIENTO ELÁSTICO DE LA SARTA DE VARILLAS**

Una de las propiedades del acero es la elasticidad, en el comienzo de la carrera ascendente cuando se cierra la válvula móvil, la sarta adquiere el peso de fluido, lo que esto provoca un estiramiento de la sarta, si observamos la Figura 2.22, vemos que la carrera ascendente en el vástago pulido recorre desde A hasta C, pero en el vástago de la bomba es más corta, ocurre lo contrario en la carrera descendente cuando se abre la válvula móvil, transfiriendo el peso de fluido al tubing, produciéndose un acortamiento de la sarta, el recorrido del vástago pulido es de C hasta A, siendo el recorrido en el vástago de la bomba desde D hasta A (menor desplazamiento).

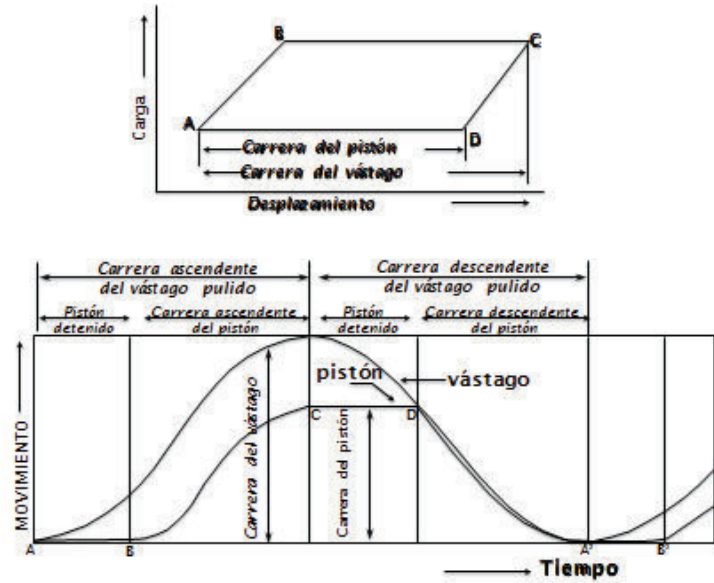
FIGURA 2.21 CARTA DINAMOMÉTRICA IDEAL



Fuente: Manual de Capacitación de Dinamometría, 2011

Elaboración: O&A Dinamometría

FIGURA 2.22 GRÁFICO DEL COMPORTAMIENTO ELÁSTICO DE LA SARTA DE VARILLAS

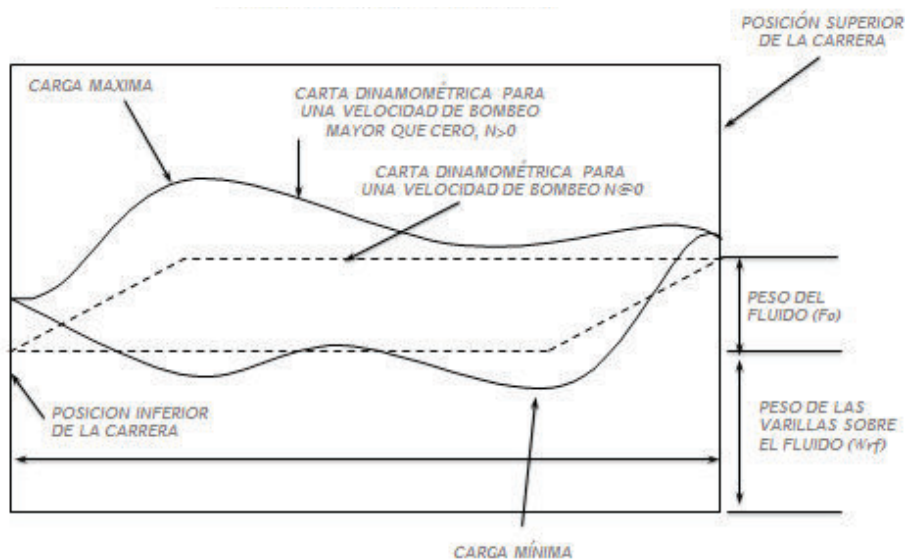


Fuente: Manual de Capacitación de Dinamometría, 2011

Elaboración: O&A Dinamometría

En la Figura 2.23, se observa dos cartas dinamométricas, una con velocidad de bombeo aproximadamente 0, (línea de punto) y la otra con velocidad de bombeo mayor a 0, comienzan actuar fuerzas generadas por el rozamiento, fricción y la generación de armónicas, aumentando el área de trabajo y la deformación del grafico inicial.

**FIGURA 2.23 DIAGRAMA BÁSICO DE UNA CARTA DINAMOMÉTRICA**



**Fuente:** Manual de Capacitación de Dinamometría, 2011

**Elaboración:** O&A Dinamometría

#### 2.4.1 INTERPRETACIONES DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS

Para interpretar una carta dinamométrica es indispensable tener un conocimiento adecuado y correcto sobre el significado de cada una de las figuras que estas pueden adoptar. Debido a que mediante la interpretación de dichas cartas se puede determinar si existen problemas en el pozo y tomar la adecuada decisión para remediarlo. A continuación se describen algunos de los problemas más típicos que se presentan en los pozos de bombeo mecánico.

#### **2.4.1.1 Bomba Desasentada**

Ocurre cuando la bomba se ha salido de la zapata de anclaje, y la carta solo muestra el peso de las varillas en el fluido.

#### **2.4.1.2 Bomba Bloqueada Por Gas**

El problema es el exceso de gas en la cámara de la bomba, lo que no permite la apertura de las válvulas. Cuando existe gas se produce una disminución de la eficiencia volumétrica de la bomba de subsuelo. Esto lo podemos solucionar si colocamos un ancla de gas

#### **2.4.2.3 Varillas Desconectadas O Partidas**

En este caso la bomba no trabaja, ya que está desconectada.

#### **2.4.2.4 Golpe De Fluido**

En el golpe de fluido el llenado de la bomba es incompleto y la presión en la cámara inferior al pistón es baja. Esto indica que la bomba no está llena de líquido, además no tiene mucha presencia de gas (gas baja presión).

#### **2.4.2.5 Bomba Arenada**

La forma de esta carta es el 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.

#### **2.4.2.6 Fuga Válvula Viajera**

Se puede determinar la falla en la válvula viajera porque la transferencia de carga de la tubería a las varillas no se produce a principio de la embolada ascendente del pistón.

#### **2.4.2.7 Fuga Válvula Fija**

Cuando la válvula fija presenta daño al final de la carrera ascendente, se abre la válvula viajera y la transferencia de carga de la tubería a las varillas se presenta en forma progresiva.

#### **2.4.2.8 Barril Partido**

Depende de la ubicación del anclaje, se produce en la carrera ascendente una caída de carga en forma repentina. Algunas de las causas son: excesiva corrosión, desprendimiento del cromo en la pared del barril, corrientes parasitarias, severo golpe de fluido.

#### **2.4.2.9 Golpe De Bomba**

Cuando el pistón esta espaciado muy bajo, puede estar golpeando el fondo al final de la carrera descendente; al golpear el pistón el fondo, un gran golpe compresivo reduce la carga del pistón y explica la punta al final de la carrera descendente.

#### **2.4.2.10 Agitación**

Cuando el pozo produce por agitación inducida por la bomba, el pozo fluye dejando las válvulas abiertas en ambas emboladas, ya que la presión de fondo fluyente mantiene las bolas de las válvulas separadas de sus asientos.

A continuación se indican algunos ejemplos de cartas que representan a cada problema que podemos encontrar en los pozos

**TABLA 2.2**  
**INTERPRETACIÓN DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS**

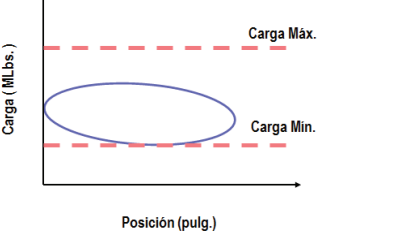
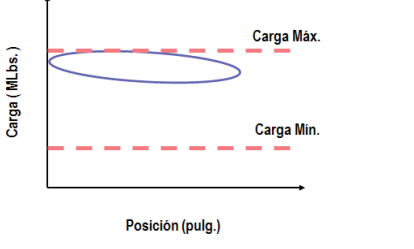
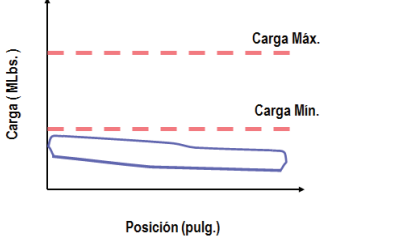
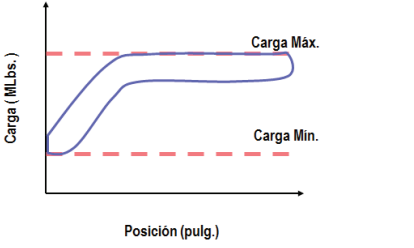
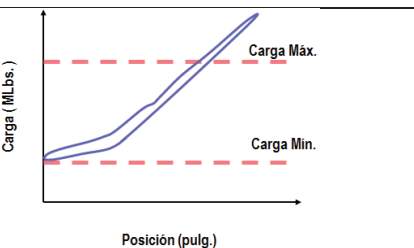
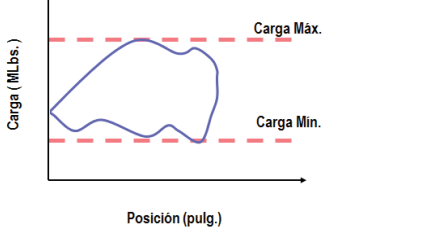
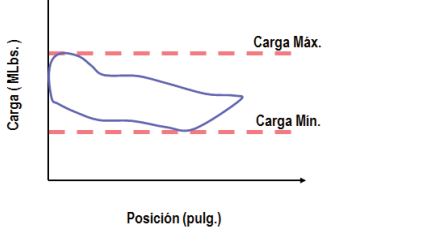
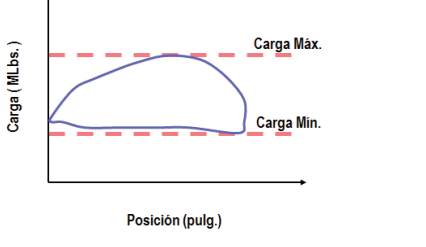
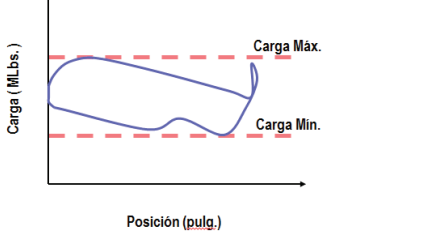
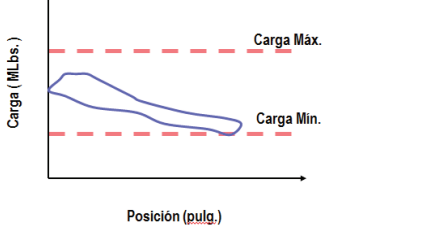
PROBLEMA	CARTA DINAMOMÉTRICA
Bomba Desasentada	 <p>Gráfico de Carga (MLbs.) vs. Posición (pulg.) que muestra un ciclo de carga elíptico. La carga oscila entre un nivel mínimo (Carga Min.) y un nivel máximo (Carga Máx.) constantes a lo largo de la posición.</p>
Bomba Bloqueada Por Gas	 <p>Gráfico de Carga (MLbs.) vs. Posición (pulg.) que muestra un ciclo de carga elíptico. La carga máxima (Carga Máx.) es significativamente más alta que la carga mínima (Carga Min.), indicando un punto de bloqueo.</p>
Varillas Desconectadas O Partidas	 <p>Gráfico de Carga (MLbs.) vs. Posición (pulg.) que muestra una línea de carga que comienza en un nivel bajo y se eleva gradualmente a un nivel más alto, pero no alcanza un ciclo completo.</p>
Golpe De Fluido	 <p>Gráfico de Carga (MLbs.) vs. Posición (pulg.) que muestra un ciclo de carga con una carga máxima (Carga Máx.) que es mucho más alta que la carga mínima (Carga Min.), indicando un golpe de fluido.</p>
Bomba Arenada	 <p>Gráfico de Carga (MLbs.) vs. Posición (pulg.) que muestra un ciclo de carga con una carga máxima (Carga Máx.) que aumenta continuamente a lo largo de la posición, indicando la presencia de arena.</p>

TABLA 2.2 CONTINUACIÓN

PROBLEMA	CARTA DINAMOMÉTRICA
Fuga Válvula Viajera	
Fuga Válvula Fija	
Barril Partido	
Golpe De Bomba	
Agitación	

**FUENTE:** Diseño, Análisis y Diagnóstico de Bombeo Mecánico, 2012

**ELABORACIÓN:** José Brasales

## **CAPÍTULO 3**

### **SELECCIÓN DE LOS POZOS DEL ÁREA LIBERTADOR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL BOMBEO MECÁNICO CON ROTAFLEX**

En la selección de los pozos candidatos para implementar cualquier sistema de levantamiento artificial, se debe realizar un estudio profundo de las condiciones de los pozos, necesidad de la empresa, disponibilidad y capacidad de equipos, costos asociados en la implementación de un sistema de levantamiento artificial; con lo cual se llegará al criterio más eficiente y rentable para la empresa. Puesto que lo que se desea obtener con una implementación de un sistema de levantamiento artificial es incrementar la producción y obtener mayor ingresos para la empresa.

#### **3.1 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN**

En el Área Libertador no existen pozos que produzcan por flujo natural debido a que es un campo maduro, y la presión del mismo con el pasar de los años ha sufrido una caída, lo que impide que el fluido llegue a superficie de manera natural; para lo cual, es necesaria la utilización de un sistema de levantamiento artificial. El sistema de levantamiento artificial que predomina es el bombeo electrosumergible seguido por el bombeo hidráulico.

El sistema de bombeo electrosumergible permite manejar cantidades altas de volumen de fluido, lo cual incrementa el caudal con el que trabaja la bomba; pero puede causar problemas por fallas eléctricas asociadas con el cable tanto en superficie como en la tubería, posee una limitada tolerancia a altas temperaturas y las unidades tienen un alto costo para ser reemplazadas a medida que el yacimiento declina.

Las instalaciones de superficie utilizadas en el sistema de bombeo hidráulico tienen un alto costo de mantenimiento (Sistema Power Oil), así como también presentan un alto riesgo para la comunidad debido a que se manejan altas



presiones en las líneas. En el área Libertador la implementación de bombeo hidráulico en nuevos pozos tendría un alto costo debido a que no se disponen de unidades para bombear el fluido inyectado y sería necesario construir nuevas líneas para bombear el fluido inyectado tomando en cuenta la distancia a la que se encuentran las unidades de bombeo.

Tomando en cuenta los caudales, presiones, profundidad del pozo se ha realizado la selección de los pozos candidatos para la implementación de unidades de Bombeo Mecánico con Rotaflex.

Los pozos que se encuentran produciendo con Bombeo Mecánico con Balancín no son tomados en cuenta, pues se consideran que continuarán con el mismo mecanismo debido a su caudal de producción.

Por lo mencionado anteriormente los criterios utilizados para el siguiente estudio son:

- Tasas de producción hasta 600 BFPD
- Profundidades de las formaciones productoras entre 8000-10300 pies

### **3.2 SELECCIÓN DE LOS POZOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL BOMBEO MECÁNICO CON ROTAFLEX**

Tomando en cuenta caudales, profundidad del pozo, presiones, estado actual de los pozos y criterios mencionados anteriormente los pozos candidatos para la implementación se muestran la tabla 3.1

**TABLA 3.1**  
**POZOS CANDIDATOS**

POZO	ARENA	BFPD	BPPD	% BSW	Api	PROF
ARZA-004D	US	218	148	34.0	27.2	9815'-9823'
ATC-007	US	169	153	9.6	29.8	9260'-9274' 9280'-9288'
ATC-008	US	252	232	8.0	24.5	9286'-9308'
ATC-014	US	249	233	6.3	29.5	9265'-9272' 9275'-9280'
ATC-016	US	180	147	18.6	29.8	9205'-9214'
ATC-019D	UI	244	74	70.0	30.2	9670'-9680'
ATC-020D	US	222	206	7.5	25.8	9638'-9650'
ATC-021D	UI	273	259	5.0	29	9976'-9980' 9984'-9989' 9992'-10004' 10008'-10016'
PYA-004	UI+BT	448	381	16.0	24.7	9096'-9102' 9106'-9120'
PCH-002	UI	433	348	20.0	28.1	9006'-9102' 9016'-9024'
PCH-005	UI + US	150	11	92.0	27	8844'-8956' (Us) 9030'- 9039' (Ui)
PCH-013D	US	248	223	10.0	30.5	9382'-9396'
SCY-002	US	141	126	10.6	29	8890'-8896'
SCY-023	BT + US	248	183	26.0	27	8363'-8370' (BT) 8992'- 9010' (Us)
SCY-033B	UI	311	236	24.0	28.6	8973'-8986'
SHA-003	US	445	188	60	28.9	8884'-8898'
SHA-036D	TS	353	113	70.0	31.7	9511'-9525' 9536'-9542'
SHH-012	UI	330	108	67.1	24.1	9148'-9158'
SHH-013	BT	244	141	42.0	26	8410'-8424'
SHH-015	UI	434	111	74.3	27.9	9060'-9073' 9088'-9098'
SHH-018	UI	382	102	73.3	24.1	9136'-9146'
SHH-021	UI	437	199	54.3	26.5	9138'-9144' 9204'-9209'
SHH-022D	BT	217	195	10.0	25.9	8852'-8862'

**FUENTE:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM

**ELABORADO POR:** José Brasales

### **3.3 ESTUDIO TÉCNICO DE LOS POZOS SELECCIONADOS**

Para realizar el estudio técnico de los pozos, se tomará en cuenta los datos PVT, diagrama de completación de los pozos, historiales de producción, historiales de reacondicionamientos.

#### Diagrama de completación

Para el diseño de los equipos es importante tener en cuenta el estado mecánico del pozo los cuales se muestran en el Anexo N° 2

#### Historial de producción

El historial de producción proporciona la información sobre el comportamiento y la caída de producción desde el inicio del pozo.

#### Historial de reacondicionamiento

El historial de reacondicionamiento indica los trabajos realizados en el pozo, problemas existentes, equipos utilizados para producir los fluidos, desde su completación inicial.

#### Producción de los pozos

La tabla 3.1 muestra la producción de los pozos de acuerdo a las pruebas de producción.

### 3.4 ANÁLISIS NODAL

Para realizar un análisis del sistema<sup>4</sup>, se requiere el cálculo de las caídas de presión en función de la tasa de flujo para cada uno de los componentes. El rocedimiento para el análisis requiere la selección de un nodo, en donde se calcularán las presiones que satisfagan la física del sistema.

Los nodos son ubicados generalmente en el separador, el cabezal del pozo, las perforaciones o el yacimiento. En los métodos de levantamiento artificial por bombeo los nodos de mayor interés durante la etapa de diseño se ubican en la succión y en la descarga de la bomba.

Los criterios que se deben cumplir en un análisis nodal son:

- El flujo hacia el nodo debe ser igual al flujo que sale del mismo.
- Solo puede existir una presión en el nodo, a una tasa de flujo dada.

En el caso del bombeo mecánico, el sistema puede considerarse compuesto por los siguientes elementos principales:

- El yacimiento,
- El pozo, incluyendo los componentes y elementos de este tipo de levantamiento ubicados en el fondo del pozo, y
- La línea de flujo, la cual incluye separadores y tanques de almacenamiento.

Los nodos entre los elementos principales del sistema son:

- El tope de las perforaciones, este es el nodo común entre el yacimiento y el pozo

---

<sup>4</sup> Diseño de Instalaciones de Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico, CIED 2002, Primera Edición

- El cabezal del pozo, el cual es el nodo común entre el pozo y la línea de flujo.

A su vez, el sistema puede tener más divisiones unidos por nodos, el número de estas divisiones no tiene limitación, pueden estar tan lejos o tan cerca como se quiera, con tal que sea posible establecer entre ellas la correspondiente relación flujo-presión.

La relación de presión a lo largo del sistema se indica en la figura 3.1 y puede ser escrita de la siguiente manera:

$$P_{\text{yac}} - \Delta P_{\text{nodo a}} - \Delta P_{\text{nodo c}} + \Delta P_{\text{bomba}} - \Delta P_{\text{nodo d}} - \Delta P_{\text{línea de flujo}} - P_{\text{sepa}} = 0$$

Siendo:

$P_{\text{yac}}$  = presión del yacimiento

$\Delta P_{\text{nodo a}}$  = diferencial de presión del nodo ubicado entre el yacimiento y el tope de las perforaciones

$\Delta P_{\text{nodo c}}$  = diferencial de presión del nodo ubicado entre el tope de las perforaciones y la entrada de la bomba

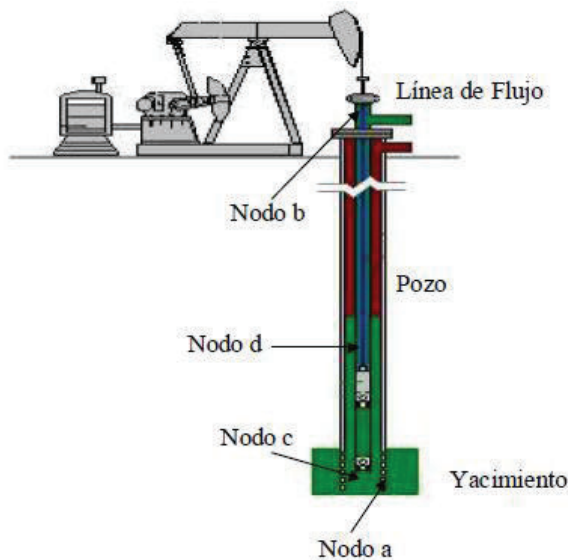
$\Delta P_{\text{bomba}}$  = diferencial de presión originada por la bomba

$\Delta P_{\text{nodo d}}$  = diferencial de presión del nodo ubicado entre la descarga de la bomba y el cabezal del pozo

$\Delta P_{\text{línea de flujo}}$  = diferencial de presión del nodo ubicado entre el cabezal del pozo y el separador

$P_{\text{sepa}}$  = presión del separador

### FIGURA 3.1 UBICACIÓN DE NODOS EN UN SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO



**Fuente:** Diseño de Instalaciones de Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico, CIED 2002, Primera Edición.

**Elaboración:** Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED)

En el análisis nodal de un sistema completo se usa una combinación de:

- Comportamiento de flujo del pozo (IPR),
- Comportamiento de la tubería de flujo multifásico en el fondo del pozo,
- Comportamiento de los componentes de superficie
- Comportamiento de la bomba.

#### 3.4.1 CURVA IPR (INFLOW PERFORMANCE RELATIONSHIP)<sup>5</sup>

Es la representación gráfica de las presiones fluyentes,  $P_{wf}$ , y las tasas de producción de líquido que el yacimiento puede aportar al pozo para cada una de dichas presiones. La IPR representa la capacidad de aporte del yacimiento hacia el pozo en un momento dado de su vida productiva, dicha capacidad disminuye a través del tiempo por reducción de la permeabilidad en la cercanía del pozo y por el aumento de la viscosidad del crudo en la medida en que se

<sup>5</sup> "The Technology Of Artificial Lift Methods, Vol 4". Kermit Brown 1984

vaporizan sus fracciones livianas, como también con la disminución de la presión de reservorio debido a la producción de los fluidos.

Es decir para cada  $P_{wf}$  existe una tasa de producción de líquido  $q$ , que se puede obtener de la definición del índice de productividad:

$$IP = \frac{q_f}{P_{ws} - P_{wf}} \quad (3.1)$$

Dónde:

$q_f$  = caudal de producción de fluido (BFPD)

$P_{ws}$  = presión promedio en el reservorio (psi)

$P_{wf}$  = presión de fondo fluyente en el pozo (psi)

La construcción de la curva IPR se puede realizar por varios métodos como:

- Índice de productividad
- Método de Vogel
- Método de Standing
- Método de Fetkovich
- Curva IPR compuesta (Método de Petrobras)

### **CURVA IPR COMPUESTA (MÉTODO DE PETROBRAS)**

Este método fue desarrollado para determinar la curva IPR en casos que exista producción de agua. Se basa en la combinación de la ecuación de Vogel para el flujo de petróleo y el índice de productividad constante para el flujo de agua.

Las ecuaciones para la determinación de la curva IPR pueden ser obtenidas a base de:

- El cálculo de la presión dinámica de fondo a determinados caudales totales de flujo
- El cálculo del caudal total de flujo a determinadas presiones dinámicas de fondo.

*Cálculo de la presión dinámica de fondo a determinados caudales totales de flujo*

De la figura 3.2 La curva IPR puede ser dividida en tres intervalos, que son:

1. El intervalo entre cero hasta el caudal de flujo al punto de burbuja ( $0 < q_t < q_b$ ). en este intervalo se emplea la siguiente ecuación para el cálculo de  $P_{wf}$ .

$$P_{wf} = P_{ws} - \frac{q_t}{J} \quad (3.2)$$

2. El intervalo entre el caudal de flujo al punto de burbuja hasta el caudal máximo de petróleo ( $q_b < q_t < q_{om\acute{a}x}$ ). En este intervalo se emplea la siguiente ecuación para el cálculo de  $P_{wf}$

$$P_{wf} = f_w * \left( P_{ws} - \frac{q_t}{J} \right) + 0,125 f_o * P_b * \left[ -1 + \sqrt{81 - 80 \left( \frac{q_t - q_b}{q_{om\acute{a}x} - q_b} \right)} \right] \quad (3.3)$$

Donde  $f_w$  y  $f_o$  son las fracciones de petróleo y agua

3. El intervalo entre el caudal máximo de petróleo y el máximo caudal total de flujo ( $q_{om\acute{a}x} < q_t < q_{m\acute{a}x}$ ). En este intervalo la curva IPR tendrá una pendiente casi constante debido a la influencia de la producción de agua. Así,  $\tan\beta$  debe ser determinada (figura 3.2) para calcular  $P_{wf}$ .

- a) Debido a que el caudal total es muy cercano al caudal total máximo de petróleo,



$$q_t = 0,999q_{om\acute{a}x}$$

b) Dado que la diferencia entre  $q_t$  y  $q_{om\acute{a}x}$  es muy corta, podemos asumir que  $\alpha_2 = \alpha_1$  y  $\beta_2 = \beta_1$ , y la tangente de esos ángulos puede ser calculada geoméricamente.

c) Del triángulo que se forma en la Figura 3.2 obtenemos:

$$\tan \beta_1 = CD/CG \quad (3.4a)$$

$$\tan \alpha_1 = CG/CD \quad (3.4b)$$

De la figura 3.2  $P_{wfC} = P_{wfG}$  para  $q_t = q_{om\acute{a}x}$

$$P_{wfG} = f_o(P_{wfoil}) + f_w(P_{wfwater})$$

Como,  $q_t = q_{om\acute{a}x}$ ,  $P_{wfoil} = 0$ ; entonces:

$$P_{wfG} = f_w(P_{wfwater}) = f_w\left(P_r - \frac{q_{om\acute{a}x}}{J}\right)$$

$$P_{wfC} = P_{wfG} = f_w\left(P_r - \frac{q_{om\acute{a}x}}{J}\right) \quad (3.5)$$

Siendo;

$$CD = f_w\left(\frac{0,001 * q_{om\acute{a}x}}{J}\right) + 0,125 f_o P_b \left[ -1 + \sqrt{81 - 80 \left( \frac{0,999 q_{om\acute{a}x} - q_b}{q_{om\acute{a}x} - q_b} \right)} \right] \quad (3.6)$$

$$CG = 0,001 q_{om\acute{a}x} \quad (3.7)$$

En este intervalo se emplea la siguiente ecuación para el cálculo de  $P_{wf}$

$$P_{wf} = f_w * \left( P_{ws} - \frac{q_{omax}}{J} \right) - \left( q_t - \frac{q_{omax}}{J} \right) (\tan \beta) \quad (3.8)$$

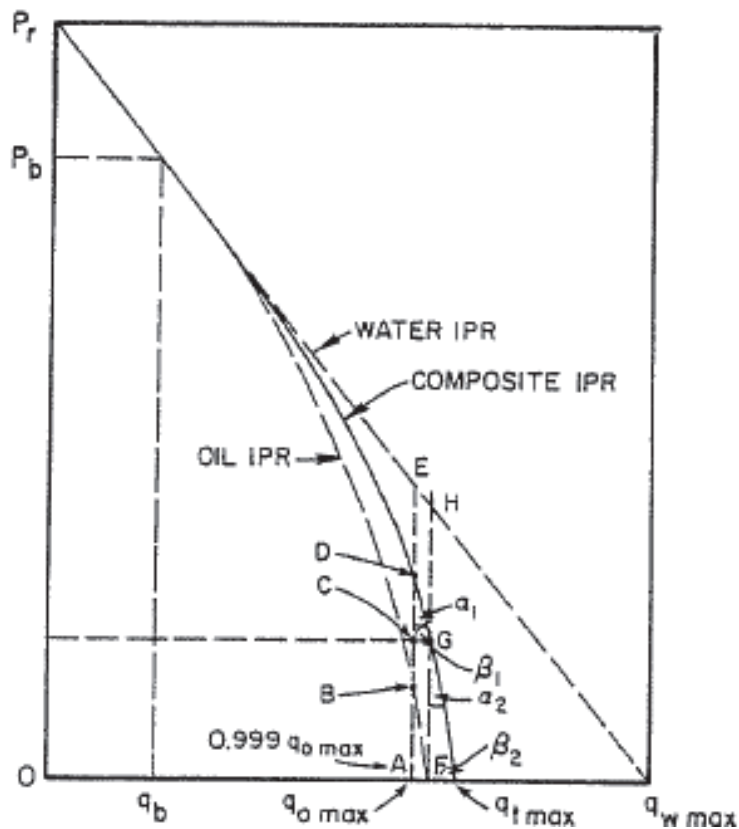
Donde  $\tan \beta$  se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$\tan \beta = \frac{1}{\tan \alpha}$$

El caudal total máximo de flujo se calcula usando la siguiente ecuación:

$$q_{tmax} = q_{omax} + f_w \left( P_r - \frac{q_{omax}}{J} \right) (\tan \alpha) \quad (3.9)$$

**FIGURA 3.2 CURVA IPR COMPUESTA - CÁLCULO DE Pwf**



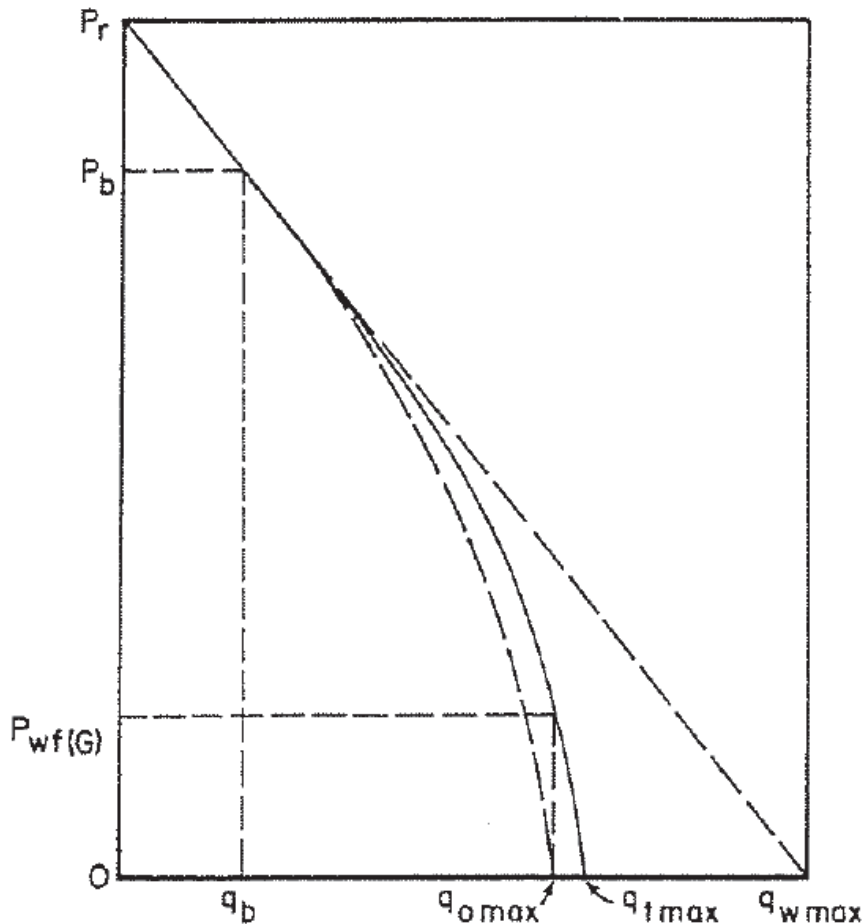
**Fuente:** "The Technology Of Artificial Lift Methods, Vol 4". Kermit Brown 1984

**Elaboración:** Pudjo Sukarno y Jim Lea

*Cálculo del caudal total de flujo a determinadas presiones dinámicas de fondo.*

Similar al caso anterior la Figura 3.3 Puede dividirse en tres intervalos, los cuales son:

**FIGURA 3.3 CURVA IPR COMPUESTA – CÁLCULO DE  $q_t$**



**Fuente:** "The Technology Of Artificial Lift Methods, Vol 4". Kermit Brown 1984

**Elaboración:** Pudjo Sukarno y Jim Lea

1. Para presiones entre la presión de reservorio y la presión de burbuja ( $P_b < P_{wf} < P_{ws}$ ). La rata total puede ser determinada empleando la ecuación 3.1
2. Para presiones entre la presión de burbuja y la presión donde la rata de flujo es igual a la rata máxima de petróleo ( $P_{wfG} < P_{wf} < P_b$ ). la rata total de flujo se la determina empleando la ecuación:

$$q_t = \frac{-C + \sqrt{C^2 - 4B^2D}}{2B^2} \quad \text{si } B \neq 0 \quad (3.10)$$

$$q_t = D/C \quad \text{si } B = 0 \quad (3.11)$$

Dónde:

$$A = \frac{P_{wf} + 0,125 * f_o * P_b - f_w * P_{ws}}{0,125 * f_o * P_b} \quad (3.12)$$

$$B = \frac{f_w}{0,125 * f_o * P_b * J} \quad (3.13)$$

$$C = 2 * A * B + \frac{80}{q_{om\acute{a}x} - q_b} \quad (3.14)$$

$$D = A^2 - 80 * \frac{q_b}{q_{om\acute{a}x} - q_b} - 81 \quad (3.15)$$

3. Para presiones entre  $P_{wfG}$  y 0 ( $0 < P_{wf} < P_{wfG}$ ), la rata de flujo total se calcula con la siguiente expresión:

$$q_t = \frac{P_{wfG} + q_{om\acute{a}x} * \tan \beta - P_{wf}}{\tan \beta} \quad (3.16)$$

*Cálculos preliminares para construir la curva IPR desde los datos de prueba.*

Para el cálculo del índice de productividad en cualquiera de los dos métodos anunciados anteriormente, existen dos posibilidades:

1. La presión dinámica de fondo (prueba) es mayor a la presión de burbuja ( $P_{wf\text{test}} > P_b$ ). En donde:

$$J = \frac{q_{itest}}{P_{ws} - P_{wf\text{test}}} \quad (3.17)$$

$$q_b = J(P_r - P_b) \quad (3.18)$$

$$q_{om\acute{a}x} = q_b + \frac{JP_b}{1,8} \quad (3.19)$$

$$q_{im\acute{a}x} = q_{om\acute{a}x} + f_w \left( P_r - \frac{q_{om\acute{a}x}}{J} \right) (\tan \alpha) \quad (3.20)$$

2. La presión dinámica de fondo (prueba) es menor a la presión de burbuja ( $P_{wf\text{test}} < P_b$ ). En donde:

$$A = 1 - 0,2 \left( \frac{P_{wf\text{test}}}{P_b} \right) - 0,8 \left( \frac{P_{wf\text{test}}}{P_b} \right)^2 \quad (3.21)$$

$$J = \frac{q_i}{f_o * \left( P_{ws} - P_b + \frac{P_b * A}{1,8} \right) + f_w * (P_{ws} - P_{wf})} \quad (3.22)$$

### 3.5 CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS IPR DE LOS POZOS SELECCIONADOS

Para el estudio se procedió a utilizar el método de Petrobras, con ayuda de los datos que se indica en la tabla 3.2

**TABLA 3.2**

#### **DATOS UTILIZADOS PARA CONSTRUIR LAS CURVAS IPR**

<b>POZO</b>	<b>Pr</b>	<b>Pb</b>	<b>Pwf</b>	<b>qt</b>	<b>fw</b>
ARZA-004D	2909	1113	1390	218	0.34
ATC-007	1899	750	994	169	0.09
ATC-008	1233	750	393	252	0.08
ATC-014	1726	1080	338	249	0.63
ATC-016	2579	1116	1142	180	0.18
ATC-019D	3107	1116	1251	244	0.70
ATC-020D	2290	1116	1198	222	0.07
ATC-021D	2805	1116	800	273	0.05
PYA-004	2320	1245	1005	448	0.16
PCH-002	2380	1031	1078	433	0.2
PCH-005	2013	773	1603	150	0.92
PCH-013D	2167	747	766	248	0.10
SCY-002	2006	940	617	141	0.10
SCY-023	2866	1085	2112	248	0.26

TABLA 3.2 CONTINUACIÓN

POZO	Pr	Pb	Pwf	qt	fw
SCY-033B	2469	1085	2146	311	0.24
SHA-003	2854	1100	2012	445	0.60
SHA-036D	3137	1120	2888	353	0.70
SHH-012	3154	1157	1384	330	0.67
SHH-013	2866	1085	2112	244	0.42
SHH-015	2387	1119	1074	434	0.74
SHH-018	2696	1157	1567	382	0.73
SHH-021	2167	1157	975	437	0.54
SHH-022D	1059	778	672	217	0.10

**FUENTE:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM

**ELABORACIÓN:** José Brasales

A continuación se describe el cálculo de la curva IPR tomando como ejemplo al pozo Arazá-004.

1. De los historiales de producción, análisis PVT y pruebas de presión se obtiene los valores de presión para el pozo Arazá-004, tabla 3.2.
2. Se calcula el caudal de petróleo máximo de prueba ( $q_{t\text{máx}}$ ) mediante la ecuación 3.19

$$J = \frac{q_{itest}}{P_{ws} - P_{wf\text{test}}}$$

$$J = \frac{218}{2909 - 1390} \quad \text{BFPD/psi}$$

$$J = 0.14 \quad \text{BFPD/psi}$$

$$q_b = J(P_r - P_b)$$

$$q_b = 0.14(2990 - 1113)$$

$$q_b = 257.75 \quad \text{BFPD}$$

$$q_{omáx} = q_b + \frac{JP_b}{1.8}$$

$$q_{omáx} = 257.75 + \frac{0.1419 * 1113}{1.8} \quad \text{BPPD}$$

$$q_{om\acute{a}x} = 346.49 \quad \text{BPPD}$$

Usando la ecuación 3.6 Y 3.7 se calcula CD Y CG, con las ecuaciones 3.4a y 3.4b se calcula  $\tan\beta$  y  $\tan\alpha$  respectivamente.

$$CD = 0.34 \left( \frac{0.001 * 346.49}{0.14} \right) + 0.125 * 0.66 * 1113 \left[ -1 + \sqrt{81 - 80 \left[ \frac{0.999 * (364.49 - 257.75)}{364.49 - 257.75} \right]} \right]$$

$$CD = 14.19$$

$$CG = 0.001 * 346.49$$

$$CG = 0.35$$

$$\tan \alpha = \frac{0.35}{14.19}$$

$$\tan \alpha = 0.02$$

$$\tan \beta = \frac{1}{\tan \alpha} = \frac{1}{0.02}$$

$$\tan \beta = 40.95$$

De la ecuación 3.20

$$q_{tm\acute{a}x} = 346.49 + 0.34 \left( 2909 - \frac{346.49}{0.34} \right) (0.02)$$

$$q_{tm\acute{a}x} = 350.6 \quad \text{BFPD}$$

3. Se calcula el caudal total de flujo a una cierta presión de fondo.

a) Usando la ecuación 3.5 a un caudal  $q_t = q_{om\acute{a}x} = 346.49$  BFPD

$$P_{wfG} = 0.34 \left( 2909 - \frac{346.49}{0.14} \right)$$

$$P_{wfG} = 168.19 \quad \text{psi}$$

b) Para  $P_{wf} > P_b$  ;  $P_{wf} = 2400$  PSI

$$q = 0.14 * (2909 - 2400) = 73.05 \quad \text{BFPD}$$

Para  $P_{wfG} < P_{wf} < P_b$ , se usa la ecuación 3.10 o la ecuación 3.11.  
Cálculo para  $P_{wf} = 1000$  PSI

$$A = \frac{1000 + (0.125 * 0.66 * 1113) - (0.34 * 2909)}{0.125 * 0.66 * 1113} = 1.11$$

$$B = \frac{0.34}{0.125 * 0.66 * 1113 * 0.14} = 0,026$$

$$C = 2 * 1.11 * 0.026 + \frac{80}{346.49 - 257.75} = 0.96$$

$$D = 1.11^2 - 80 * \frac{257.75}{346.49 - 257.75} - 81 = -312.11$$

Como  $B \neq 0$  se usa la ecuación 3.10 (a)

$$q_t = \frac{-0.96 + \sqrt{0.96^2 - 4 * (0,026)^2 * (-312.11)}}{2 * 0,026^2}$$

$$q_t = 273.47 \quad \text{BFPD}$$

4. Se calcula el valor de  $q_t$  cuando:  $0 < P_{wf} < P_{wfG}$ ; mediante la ecuación 3.16

$$q_t = \frac{168.19 + (346.49 * 40.95) - 60}{40.95}$$

$$q_t = 349.14 \quad \text{BFPD}$$

Con los datos obtenidos se construye la tabla 3.3 la cual servirá para dibujar nuestra curva IPR.



TABLA 3.3

## VALORES USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA IPR

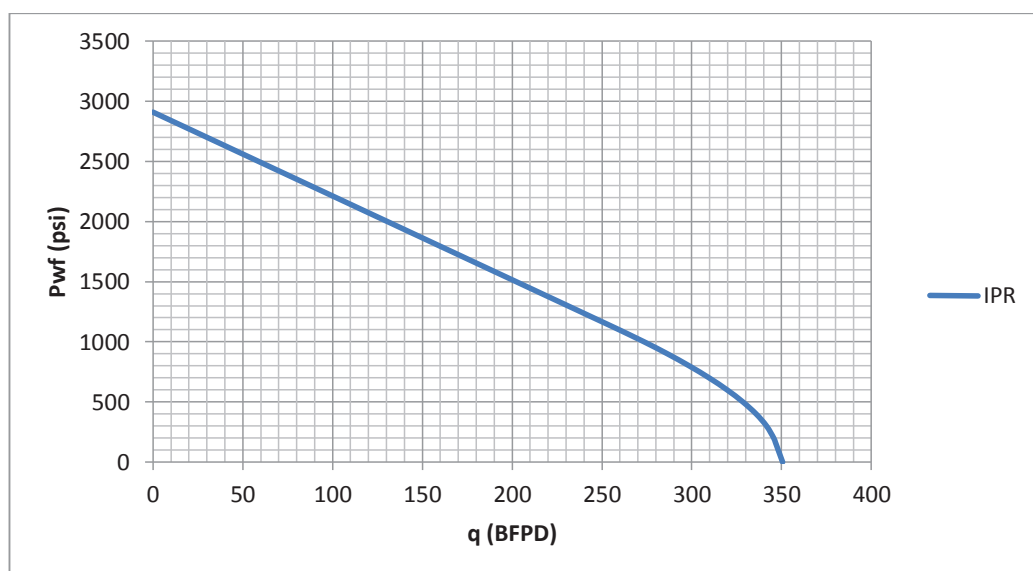
Pwf	Q	A	B	C	D
2909	0				
2900	1.34				
2800	16.29				
2700	31.23				
2600	46.18				
2500	61.12				
2400	76.07				
2300	91.01				
2200	105.95				
2100	120.90				
2000	135.84				
1900	150.79				
1800	165.73				
1700	180.67				
1600	195.62				
1500	210.56				
1400	225.51				
1300	240.45				
1200	255.39				
1113	268.39				
1113	268.39	6.8985	0.0078	0.9738	-265.7774
1000	284.62	5.9541	0.0078	0.9590	-277.9158
900	297.84	5.1183	0.0078	0.9459	-287.1699
800	309.96	4.2825	0.0078	0.9328	-295.0270
700	320.93	3.4467	0.0078	0.9197	-301.4869
600	330.72	2.6109	0.0078	0.9066	-306.5498
500	339.27	1.7751	0.0078	0.8936	-310.2156
400	346.54	0.9393	0.0078	0.8805	-312.4843
300	352.48	0.1035	0.0078	0.8674	-313.3559
200	357.04	-0.7323	0.0078	0.8543	-312.8304
100	360.14	-1.5680	0.0078	0.8412	-310.9078
90	360.37	-1.6516	0.0078	0.8399	-310.6387
80	360.59	-1.7352	0.0078	0.8386	-310.3557
69.25	360.80	-1.8250	0.0078	0.8372	-310.0358
69.25	360.80				
60	360.99				
50	361.19				
40	361.39				

**TABLA 3.3 CONTINUACIÓN**

Pwf	Q	A	B	C	D
30	361.60				
20	361.80				
10	362.00				
0	362.21				

**ELABORACIÓN:** José Brasales

La curva IPR para el campo Arazá-004 está representada en la figura 3.3.

**FIGURA 3.3 CURVA IPR – ARAZA 004**

**ELABORACIÓN:** José Brasales

En el Anexo 3 se indican las figuras que representan las curvas IPR's para los pozos seleccionados. En los cuales se observa los caudales máximos que pozos pueden aportar.

## **CAPÍTULO 4**

### **DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ROTAFLEX Y PRONÓSTICO DE PRODUCCIONES**

#### **INTRODUCCIÓN**

Para el diseño de los equipos de bombeo mecánico se utiliza la Norma API RP 11L. Este método involucra correlaciones con variables adimensionales para la optimización de los parámetros de diseño. Con el paso de los tiempos y el avance de la tecnología se realizaron arreglos en las ecuaciones y se crearon diferentes softwares para lograr métodos más exactos. En el presente proyecto se utilizó el programa SROD v 6.8.4 de Lufkin.

El software SROD v 6.8.4 se basa en un modelo matemático de un sistema de bombeo y en las condiciones de funcionamiento. Su propósito es hacer una predicción de cargas de los equipos, tasas de producción y los requisitos de energía para diversos tipos de equipos y condiciones de operación de fondo de pozo. El programa ofrece un análisis del consumo de energía y el costo de electricidad proyectado del sistema. Con las últimas mejoras en la versión 6.8.4, SROD se pueden diseñar varillas telescopiadas equilibradas para un pozo vertical o desviado, calcular un tamaño del motor Nema D, calcular la velocidad de bombeo, recomendar un tamaño de la unidad de bombeo.

#### **4.1 INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL PROGRAMA SROD V6.8.4 UTILIZADO PARA EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS ROTAFLX**

La tabla 4.1 muestra la información utilizada para el desarrollo del diseño de los equipos de bombeo mecánico con Rotaflex, como ejemplo se tomó el pozo Atacapi 14.

La información utilizada fue obtenida de los diferentes diagramas de completación, historiales de reacondicionamiento, historiales de producción y

B'Ups proporcionados por Ingeniería de Operaciones del área Libertador – PAM.

**TABLA 4.1**

**INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO MECÁNICO CON ROTAFLEX**

<b>INFORMACIÓN DEL POZO</b>	Nombre de la Compañía	SHE
	Nombre del pozo	ATACAPI 14
	Analista	JOSE BRASALES
	Comentario	Tesis
<b>DATOS DEL POZO</b>	Diámetro del tubing (pg)	3 1/2
	Profundidad media de las perforaciones (pies)	9270
	Profundidad de la bomba (pies)	9064
	Diámetro de la bomba (pg)	1 3/4
	Profundidad del ancla (pies)	9033
<b>DATOS DE PRODUCCIÓN</b>	Presión de fondo fluyente (psi)	338
	Presión del tubing (psi)	200
	Eficiencia de la bomba (%)	70
<b>DATOS DE LOS FLUIDOS</b>	Gravedad API	29.5
	Corte de agua (%)	6.3
	Gravedad específica del agua	1

**FUENTE:** Ingeniería de Operaciones del área Libertador – PAM

**ELABORADO POR:** José Brasales

#### **4.2 SECUENCIA DE INGRESO DE LA INFORMACIÓN AL PROGRAMA SROD V6.8.4**

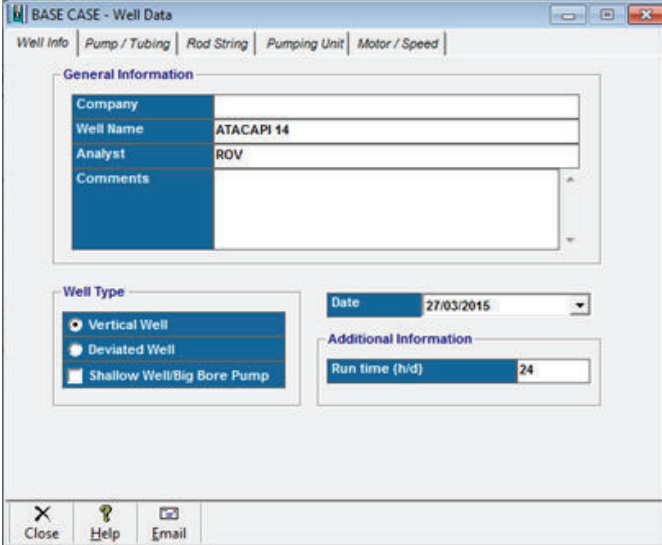
El ingreso de la información al programa SROD V6.8.4 de Lufkin, se describe a continuación; con ayuda de la tabla 4.1, se toma como ejemplo al pozo Atacapi 14.

Este procedimiento se siguió para todos los demás pozos.

#### 4.2.1 INFORMACIÓN DEL POZO ATACAPI 14

La figura 4.1 muestra la primera ventana, donde se elige si el pozo es vertical o desviado, el nombre de la compañía, nombre del pozo, nombre de la persona que utiliza el programa, se puede incluir algún comentario referente al pozo. Se considera que el sistema operará las 24 horas.

**FIGURA 4.1 INFORMACIÓN DEL POZO ATACAPI 14**



**Fuente:** Software SROD v 6.8.4

**Elaboración:** José Brasales

#### 4.2.2 INFORMACIÓN DE PRODUCCIÓN

Como segundo paso figura 4.2 el programa pide ingresar la profundidad a la cual se va a sentar la bomba (mitad de las perforaciones), el diámetro de la bomba (depende del diámetro del tubing), la eficiencia a la cual se quiere que trabaje la bomba, la presión de fondo fluyente del sistema. Además el programa pide el ingreso del diámetro de la tubería de producción (tubing), la profundidad a la cual se va a colocar el ancla de la bomba, así como también la presión de la tubería de producción.

En los criterios de fricción se considera que el factor de amortiguamiento en la carrera ascendente será 0.15, en la carrera descendente 0.25, la fricción de la stuffing box de 100 lb y la fricción de la bomba 300 lb, esto para todos los casos.

#### FIGURA 4.2 INFORMACIÓN DE LA BOMBA Y LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN

The screenshot shows the 'BASE CASE - Well Data' window with the 'Pump / Tubing' tab selected. The interface is divided into several sections:

- Pump Section:**
  - Pump Depth (ft): 9064
  - Pump Diameter (in): 1.75
  - Pump Efficiency (%): 70
  - Pump Fillage Option: INCOMPLETE
  - Incomplete Fillage (in)
  - Pump Fillage %: 85
  - Pump Intake Pressure (psi): 994
  - Buttons: 'Let SROD Calculate Pump Intake Pressure' and 'Advanced'
- Tubing Section:**
  - Tubing Size: 3 1/2 in
  - Tubing Anchor Depth (ft): 9033
  - Tubing Head Pressure (psi): 200
  - Tubing Gradient (psi/ft): 0.386
  - Button: 'Let SROD Calculate Tubing Gradient'
- Friction Information Section:**
  - Upstroke Damping Factor: 0.05
  - Downstroke Damping Factor: 0.15
  - Stuffing Box Friction (lbs): 100
  - Pump Friction (lbs): 200

At the bottom, there are 'Close', 'Help', and 'Email' icons.

**Fuente:** Software SROD v 6.8.4

**Elaboración:** José Brasales

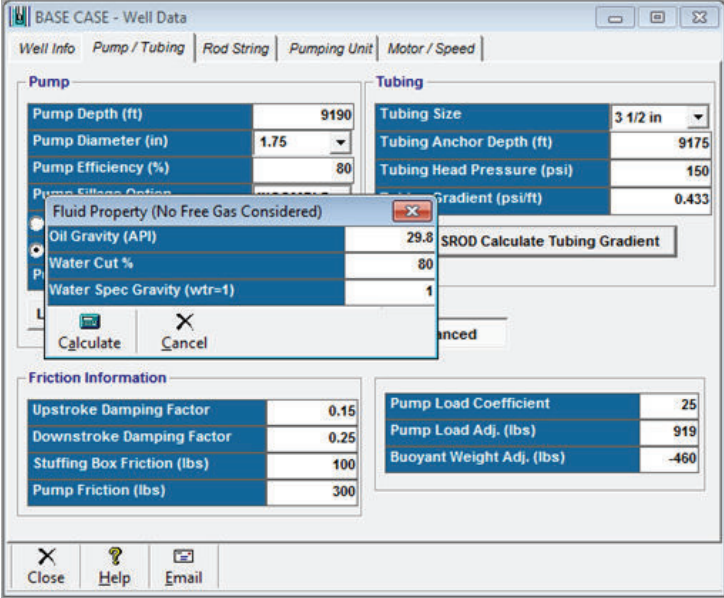
Se presiona en la opción Advanced y se abre una mini ventana en la cual se ingresa los datos del fluido como: la gravedad API, el corte de agua y la gravedad específica del agua (para todos los casos se considera 1.0). como se indica en la Figura 4.3.

#### 4.2.3 SELECCIÓN DE LA SARTA DE VARILLAS

Para la selección de la sarta de las varillas figura 4.4, el programa indica los diferentes tipos de varillas existentes en el mercado, para el presente proyecto se utiliza las varillas de acero específicamente Weatherford T-66 las cuales existen en el mercado, pide el ingreso del diámetro tanto máximo como mínimo de las varillas en pulgadas (0.875 – 0.75).

Se considera un factor de servicio de las varillas que varían desde 0 (para varias usadas) hasta 1 (para varillas nuevas).

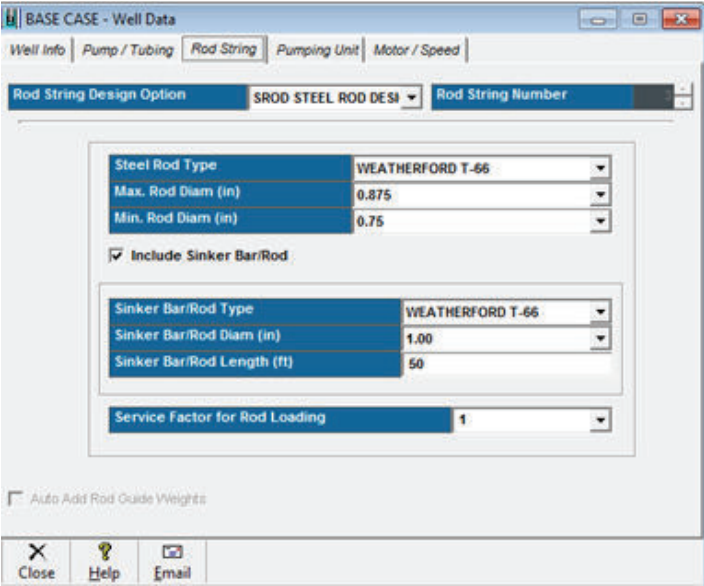
**FIGURA 4.3 INFORMACIÓN DEL FLUIDO**



**Fuente:** Software SROD v 6.8.4

**Elaboración:** José Brasales

**FIGURA 4.4 SELECCIÓN DE LA SARTA DE LAS VARILLAS**



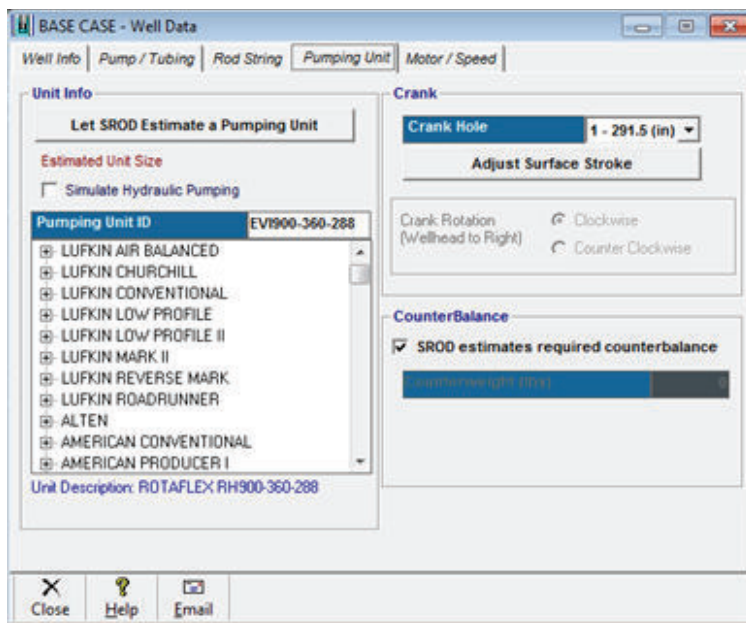
**Fuente:** Software SROD v 6.8.4

**Elaboración:** José Brasales

#### 4.2.4 SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE BOMBEO DE SUPERFICIE

En la figura 4.5 se observa que el programa da una opción para calcular automáticamente el modelo de la bomba que se puede utilizar, pero en este proyecto se procede a seleccionar manualmente tomando en cuenta el caudal a producir y el modelo seleccionado para nuestro caso es EVI 900-360-288, que corresponde al modelo Rotaflex 900.

**FIGURA 4.5 SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE BOMBEO DE SUPERFICIE**



**Fuente:** Software SROD v 6.8.4

**Elaboración:** José Brasales

#### 4.2.5 SELECCIÓN DEL MOTOR

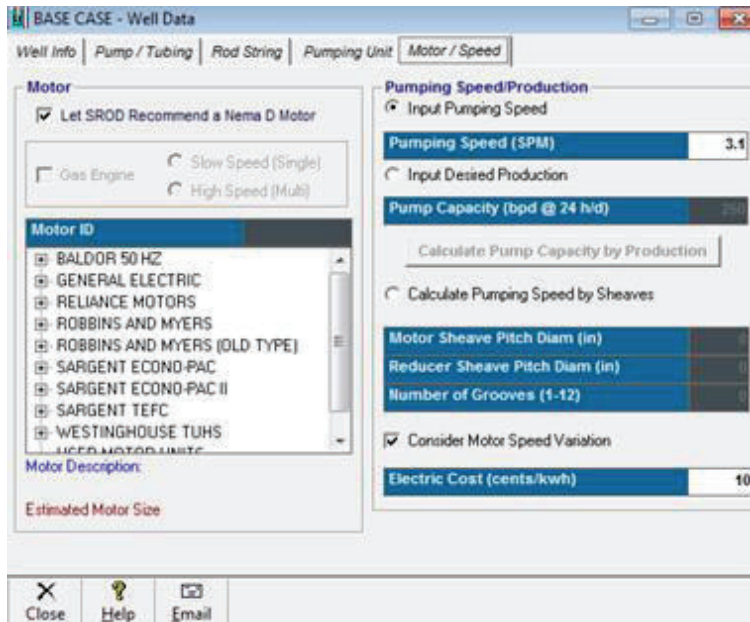
En esta ventana figura 4.6 se puede ingresar el valor del costo de la energía por KWh, se considera el valor de 10 ctvs/kWh. El motor que el software recomienda es un motor tipo Nema D, el cual es utilizado para los sistemas Rotaflex.

Terminado el ingreso de datos en el software se procede a correr el programa. Se tiene que verificar que los resultados sean los mejores y adecuados en el análisis, si los resultados son erróneos se procede a realizar modificaciones en



el programa tomando en cuenta los objetivos del análisis para que el diseño sea el adecuado.

**FIGURA 4.6 SELECCIÓN DEL MOTOR**



**FUENTE:** Software SROD v 6.8.4

**ELABORADO POR:** José Brasales

### 4.3 RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ROTAFLEX

Los resultados que nos proporciona el software son:

- Tipo de motor (hp)
- Velocidad (spm)
- Carga del motor (%)
- Carga sobre la unidad Rotaflex (lb)
- Diámetro de las varillas (pg)
- Longitud de las varillas (pies)
- Carga sobre las varillas (%)

Una manera para determinar si el diseño es el mejor para el trabajo, es fijarse que la eficiencia de la carga sobre la unidad Rotaflex oscile entre los valores de 60 y 90 %. Si el diseño cumple con estos valores y dependiendo del valor que resulte del análisis y las especificaciones de la unidad se pueden aumentar las emboladas por minuto para producir más fluido.

En la Figura 4.7 se indica los resultados obtenidos para el pozo Atacapi-014.

Los resultados de la simulación para los pozos seleccionados se indican en el Anexo 4 para una eficiencia de la bomba del 70%.

En el Anexo 5 se observan los resultados para los pozos seleccionados para una eficiencia de la bomba del 80%.



Las condiciones a las cuales la unidad va a operar se muestran en las tablas 4.2 y 4.3, para una eficiencia de la bomba del 70% y 80% respectivamente.

En este proyecto se seleccionó bombas tipo insertables debido a su facilidad para realizar algún mantenimiento o cambio de bomba, las varillas a utilizarse son de acero de tipo Weatherford T-66.

Se considera que las unidades trabajen las 24 horas del día, si se trabaja a una velocidad constante y bajos ciclos por minuto se considera aumentar la vida útil de la unidad así como el llenado del barril.

En la tabla 4.4 se indican las condiciones a las que operarían las unidades que podrán ser implementadas, en el caso de que el presente proyecto sea viable.

**TABLA 4.2**  
**CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LAS UNIDADES A UNA EFICIENCIA DE TRABAJO DEL 70% DE LA BOMBA**

POZOS	MOTOR (hp)	UNIDAD ROTAFLEX	VELOCIDAD (spm)	COMBINACIÓN DE VARILLAS (pg)	CARGA UNIDAD (%)	CARGA VARILLAS (%)
ARZA-004D	60	RH900-360-288	3.99	1"-7/8"-3/4"-1"	88.9	63-63-64-17
ATC-007	30	RH900-360-288	3.09	7/8"-3/4"-1"	68.9	52-53-19
ATC-008	50	RH900-360-288	3.69	1"-7/8"-3/4"-1"	99.5	66-66-67-32
ATC-014	50	RH900-360-288	3.63	1"-7/8"-3/4"-1"	97.4	64-63-63-30
ATC-016	30	RH900-360-288	3.27	7/8"-3/4"-1"	70.3	54-55-19
ATC-019D	60	RH900-360-288	3.7	1"-7/8"-3/4"-1"	97.5	70-70-69-23
ATC-020D	100	RH900-360-288	3.99	1"-7/8"-3/4"-1"	122.2	101-100-102-22
ATC-021D	60	RH1100-500-306	2.94	1"-7/8"-3/4"-1"	77	83-83-82-25
PYA-004	60	RH900-360-288	3.96	7/8"-3/4"	83.3	80-79
PCH-002	60	RH1100-500-306	3.5	1"-7/8"-3/4"-1"	67.9	62-62-63-30
PCH-005	30	RH900-360-288	2.9	7/8"-3/4"	65.2	49-50
PCH-013D	60	RH900-360-288	3.81	7/8"-3/4"-1"	85.7	85-83-24
SCY-002	30	RH900-360-288	2.66	7/8"-3/4"	69.5	66-67
SCY-023	30	RH900-360-288	3.29	7/8"-3/4"	65.7	52-53
SCY-033B	40	RH900-360-288	3.42	7/8"-3/4"	69.7	56-57
SHA-003	50	RH900-360-288	3.99	7/8"-3/4"	74.4	78-78
SHA-036D	60	RH1100-500-306	3.49	1"-7/8"-3/4"-1"	60.1	58-59-59-14
SHH-012	60	RH900-360-288	3.99	7/8"-3/4"	82.4	77-77
SHH-013	30	RH900-360-288	3.24	7/8"-3/4"	61.8	48-49
SHH-015	60	RH900-360-288	3.99	7/8"-3/4"	87.2	87-86

TABLA 4.2 CONTINUACIÓN

POZOS	MOTOR (hp)	UNIDAD ROTAFLEX	VELOCIDAD (spm)	COMBINACIÓN DE VARILLAS (pg)	CARGA UNIDAD (%)	CARGA VARILLAS (%)
SHH-018	60	RH900-360-288	3.96	7/8"-3/4"	81.6	76-75
SHH-021	60	RH900-360-288	3.99	7/8"-3/4"	87.1	86-86
SHH-022D	75	RH1100-500-306	3.82	1"-7/8"-3/4"-1"	64.9	66-65-65-19

FUENTE: Software SROD v 6.8.4

ELABORACIÓN: José Brasales

**TABLA 4.3**  
**CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LAS UNIDADES A UNA EFICIENCIA DE TRABAJO DEL 80% DE LA BOMBA**

POZOS	MOTOR (hp)	UNIDAD ROTAFLEX	VELOCIDAD (spm)	COMBINACIÓN DE VARILLAS (pg)	CARGA UNIDAD (%)	CARGA VARILLAS (%)
ARZA-004D	60	RH900-360-288	3.99	1"-7/8"-3/4"-1"	88.9	63-63-64-17
ATC-007	30	RH900-360-288	3.09	7/8"-3/4"-1"	68.9	52-53-19
ATC-008	50	RH900-360-288	3.69	1"-7/8"-3/4"-1"	99.5	66-66-67-32
ATC-014	50	RH900-360-288	3.9	1"-7/8"-3/4"-1"	89.9	58-58-59-24
ATC-016	30	RH900-360-288	3.27	7/8"-3/4"-1"	70.3	54-55-19
ATC-019D	60	RH900-360-288	3.99	1"-7/8"-3/4"-1"	92.2	66-66-67-19
ATC-020D	100	RH1100-500-306	3.49	1"-7/8"-3/4"-1"	82.7	93-92-93-17
ATC-021D	60	RH1100-500-306	2.94	1"-7/8"-3/4"-1"	77	83-83-82-25
PYA-004	60	RH900-360-288	3.96	7/8"-3/4"	83.3	80-79
PCH-002	60	RH1100-500-306	3.99	7/8"-3/4"-1"	82.6	78-78-28
PCH-005	30	RH900-360-288	2.9	7/8"-3/4"	65.2	49-50
PCH-013D	60	RH900-360-288	3.81	7/8"-3/4"-1"	85.7	85-83-24
SCY-002	30	RH900-360-288	2.66	7/8"-3/4"	69.5	66-67
SCY-023	30	RH900-360-288	3.29	7/8"-3/4"	65.7	52-53
SCY-033B	40	RH900-360-288	3.42	7/8"-3/4"	69.7	56-57
SHA-003	50	RH900-360-288	3.99	7/8"-3/4"	74.4	78-78
SHA-036D	60	RH1100-500-306	3.49	1"-7/8"-3/4"-1"	60.1	58-59-59-14

TABLA 4.3 CONTINUACIÓN

POZOS	MOTOR (hp)	UNIDAD ROTAFLEX	VELOCIDAD (spm)	COMBINACIÓN DE VARILLAS (pg)	CARGA UNIDAD (%)	CARGA VARILLAS (%)
SHH-012	60	RH900-360-288	3.99	7/8"-3/4"	82.4	77-77
SHH-013	30	RH900-360-288	3.24	7/8"-3/4"	61.8	48-49
SHH-015	60	RH900-360-288	3.99	7/8"-3/4"	87.2	87-86
SHH-018	60	RH900-360-288	3.96	7/8"-3/4"	81.6	76-75
SHH-021	60	RH900-360-288	3.99	7/8"-3/4"	87.1	86-86
SHH-022D	75	RH1100-500-306	3.82	1"-7/8"-3/4"-1"	64.9	66-65-65-19

FUENTE: Software SROD v 6.8.4

ELABORACIÓN: José Brasales



**TABLA 4.4**  
**CONDICIONES DE OPERACIÓN Y UNIDADES A INTALARSE A UNA EFICIENCIA DE TRABAJO DEL 80% DE LA BOMBA**

POZOS	MOTOR (hp)	UNIDAD ROTAFLEX	VELOCIDAD (spm)	COMBINACIÓN DE VARILLAS (pg)	BOMBA INSERTABLE	CARGA UNIDAD (%)	CARGA VARILLAS (%)
ARZA-004D	60	RH900-360-288	3.99	1"-7/8"-3/4"-1"	30-200-RHBC-20-6-1	88.9	63-63-64-17
ATC-007	30	RH900-360-288	3.09	7/8"-3/4"-1"	30-175-RHBC-20-6-2	68.9	52-53-19
ATC-008	50	RH900-360-288	3.69	1"-7/8"-3/4"-1"	30-200-RHBC-20-6-2	99.5	66-66-67-32
ATC-014	50	RH900-360-288	3.9	1"-7/8"-3/4"-1"	30-175-RHBC-20-6-2	89.9	58-58-59-24
ATC-016	30	RH900-360-288	3.27	7/8"-3/4"-1"	30-175-RHBC-20-6-2	70.3	54-55-19
ATC-019D	60	RH900-360-288	3.99	1"-7/8"-3/4"-1"	30-200-RHBC-20-6-1	92.2	66-66-67-19
ATC-020D	100	RH1100-500-306	3.49	1"-7/8"-3/4"-1"	30-200-RHBC-20-6-1	82.7	93-92-93-17
ATC-021D	60	RH1100-500-306	2.94	1"-7/8"-3/4"-1"	30-200-RHBC-20-6-1	77	83-83-82-25
PYA-004	60	RH900-360-288	3.96	7/8"-3/4"	30-175-RHBC-20-6-2	83.3	80-79
PCH-002	60	RH1100-500-306	3.99	7/8"-3/4"-1"	30-175-RHBC-20-6-2	82.6	78-78-28
PCH-005	30	RH900-360-288	2.9	7/8"-3/4"	30-175-RHBC-20-6-1	65.2	49-50
PCH-013D	60	RH900-360-288	3.81	7/8"-3/4"-1"	30-200-RHBC-20-6-1	85.7	85-83-24
SCY-002	30	RH900-360-288	2.66	7/8"-3/4"	30-175-RHBC-20-6-1	69.5	66-67
SCY-023	30	RH900-360-288	3.29	7/8"-3/4"	30-175-RHBC-20-6-2	65.7	52-53
SCY-033B	40	RH900-360-288	3.42	7/8"-3/4"	30-175-RHBC-20-6-2	69.7	56-57
SHA-003	50	RH900-360-288	3.99	7/8"-3/4"	30-175-RHBC-20-6-2	74.4	78-78
SHA-036D	60	RH1100-500-306	3.49	1"-7/8"-3/4"-1"	30-200-RHBC-20-6-1	60.1	58-59-59-14
SHH-012	60	RH900-360-288	3.99	7/8"-3/4"	30-175-RHBC-20-6-2	82.4	77-77

TABLA 4.4 CONTINUACIÓN

POZOS	MOTOR (hp)	UNIDAD ROTAFLEX	VELOCIDAD (spm)	COMBINACIÓN DE VARILLAS (pg)	BOMBA INSERTABLE	CARGA UNIDAD (%)	CARGA VARILLAS (%)
SHH-013	30	RH900-360-288	3.24	7/8"-3/4"	30-175-RHBC-20-6-2	61.8	48-49
SHH-015	60	RH900-360-288	3.99	7/8"-3/4"	30-175-RHBC-20-6-2	87.2	87-86
SHH-018	60	RH900-360-288	3.96	7/8"-3/4"	30-175-RHBC-20-6-2	81.6	76-75
SHH-021	60	RH900-360-288	3.99	7/8"-3/4"	30-175-RHBC-20-6-2	87.1	86-86
SHH-022D	75	RH1100-500-306	3.82	1"-7/8"-3/4"-1"	30-200-RHBC-20-6-1	64.9	66-65-65-19

FUENTE: Software SROD v 6.8.4

ELABORACIÓN: José Brasales

#### 4.4 PRONÓSTICO DE PRODUCCIONES

En el presente proyecto se realizaron dos corridas para cada pozo variando el valor de la eficiencia para las bombas, la primera corrida se lo realizó para una eficiencia del 70%, mientras tanto que la segunda corrida se realizó para una eficiencia del 80%. Los resultados de la segunda corrida se muestran en el anexo 4.

En el caso del pozo Atacapi-20D se utilizó una eficiencia del 80%, la segunda corrida cambiando a una unidad de bombeo Rotaflex más grande RH1100-500-306, tomando en cuenta la carga sobre las varillas que se producen en la primera corrida, la cual se observa en la tabla 4.2.

Con los datos obtenidos del Software SROD v 6.8.4 y la producción de los pozos se procede a realizar la tabla 4.4.

**TABLA 4.5 CAUDALES DE LOS POZOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE SROD V 6.8.4**

POZO	CAUDALES BPPD		
	q dato	q @ 70%	q @ 80%
<b>ARZA-004D</b>	218	223	255
<b>ATC-007</b>	169	172	196
<b>ATC-008</b>	252	253	289
<b>ATC-014</b>	249	250	253
<b>ATC-016</b>	180	182	208
<b>ATC-019D</b>	244	246	251
<b>ATC-020D</b>	222	273	210
<b>ATC-021D</b>	273	190	217
<b>PYA-004</b>	448	323	370
<b>PCH-002</b>	433	327	378
<b>PCH-005</b>	150	160	183
<b>PCH-013D</b>	248	244	279
<b>SCY-002</b>	141	140	160
<b>SCY-023</b>	248	247	282
<b>SCY-033B</b>	311	315	360

TABLA 4.3 CONTINUACIÓN

POZO	CAUDALES BPPD		
	q dato	q @ 70%	q @ 80%
SHA-003	445	370	422
SHA-036D	353	347	397
SHH-012	330	330	378
SHH-013	244	244	279
SHH-015	434	315	360
SHH-018	382	332	379
SHH-021	437	314	358
SHH-022D	217	223	255

**FUENTE:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM Y Software SROD v 6.8.4

**ELABORACIÓN:** José Brasales

Como se observa en la tabla 4.3 existen 8 pozos en los cuales la producción disminuye, lo cual no favorece a la empresa; debido a que el objetivo es incrementar la producción y con esto las ganancias. Por lo que se procede a realizar el análisis económico solo para los pozos donde se observa un incremento en la producción en el siguiente capítulo.

## **CAPÍTULO 5**

### **ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO**

#### **INTRODUCCIÓN**

El análisis económico del presente proyecto tiene como objetivo determinar la factibilidad de la implementación del sistema de bombeo mecánico con Rotaflex en el Área Libertador para los pozos seleccionados y el beneficio económico que se obtendrá en caso de ser implementado.

Existen varios indicadores económicos utilizados para verificar la viabilidad de un proyecto, entre los más usados se tiene: el valor actual neto, la tasa interna de retorno, la relación costo beneficio, tasa promedio de rentabilidad, tiempo de recuperación de la inversión.

#### **5.1 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO**

Los métodos utilizados en el presente proyecto son:

- Valor actual neto (VAN),
- Tasa interna de retorno (TIR),
- Relación costo beneficio (RCB),
- Tiempo de recuperación de la inversión.

A continuación se presenta una definición de cada uno de los indicadores económicos mencionados.

##### **5.1.1 FLUJO NETO DE CAJA**

El flujo neto de caja (FNC), representa el movimiento neto de caja o la generación neta de fondos durante cierto período que generalmente es el año.

Es indispensable anotar que para la determinación del flujo neto se debe considerar solamente los ingresos y los gastos reales o efectivos; es decir; aquellos que se traducen por movimientos de dinero entre la empresa y el exterior y no de productos y cargas en el sentido de la contabilidad.

Si  $R_k$  es el monto previsto de los ingresos correspondientes al año  $k$ , asociados a un determinado proyecto y  $D_k$  el monto previsto de los desembolsos efectivos correspondientes, se tiene que el flujo neto de caja del año  $k$  asociado al proyecto es:

$$FNCK = Rk - Dk \quad (5.1)$$

### 5.1.2 VALOR ACTUAL NETO (VAN)<sup>6</sup>

Es un indicador de recuperación de valores, ya que compara el valor presente de los beneficios futuros esperados de un proyecto con el valor presente del costo esperado.

El valor actual neto es el valor presente de los rendimientos futuros descontados al costo de capital de la empresa, menos el de la inversión y para su determinación se utiliza la expresión siguiente:

$$VAN = \left[ \frac{C_1}{(1+r_1)^1} + \frac{C_2}{(1+r_2)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+r_n)^n} \right] - C_0 \quad (5.2)$$

Donde,

$C_1, C_2, \dots, C_n$ : Flujos netos de efectivo en cada período

$r_i$ : Tasa de descuento apropiada o costo de capital del proyecto en cada período

$C_0$ : Costo inicial del proyecto (inversión inicial)

$n$ : Cantidad de períodos de duración del proyecto (vía esperada).

---

<sup>6</sup> VEGA CELIO O., Ingeniería Económica 1983

Según el criterio del VAN:

Si el VAN > 0, el proyecto debe aceptarse,

Si el VAN = 0, no existen pérdidas ni ganancias,

Si el VAN < 0, el proyecto debe rechazarse.

### 5.1.2 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)<sup>7</sup>

Este indicador es el máximo beneficio que puede esperarse del proyecto y se basa en obtener la tasa que iguale el valor presente de los beneficios con el costo (desembolso inicial), es decir, es la tasa de descuento que hace que el VAN del proyecto sea igual a cero.

La TIR es la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos futuros de efectivo esperados, o ingresos, con el costo inicial del proyecto, que matemáticamente se expresa según la ecuación donde  $r$  es un valor tal que la suma de los ingresos descontados sea igual al costo inicial del proyecto con lo que se iguala la ecuación a cero.

Matemáticamente, el valor de la TIR se obtiene resolviendo la ecuación:

$$\frac{C_1}{(1+TIR)^1} + \frac{C_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{C_n}{(1+TIR)^n} - C_0 = 0 \quad (5.3)$$

Donde,

$C_1, C_2, \dots, C_n$ : Flujos netos de efectivo en cada período

$C_0$ : Costo inicial del proyecto (inversión inicial)

$n$ : Cantidad de períodos de duración del proyecto (vía esperada).

Según el criterio de la TIR:

---

<sup>7</sup> <http://www.gestiopolis.com/metodos-para-la-evaluacion-financiera-de-proyectos/>

TIR > i, la inversión interesa,

TIR = i, la inversión es indiferente,

TIR < i, la inversión se rechaza.

### 5.1.3 RELACIÓN COSTO BENEFICIO (RCB)

La relación costo – beneficio se calcula dividiendo, el valor actual de los beneficios entre el valor actual de los costos. Esta relación se calcula con la ecuación

$$RCB = \frac{B}{C} = \frac{\text{ValorActualdeBeneficio}}{\text{ValorActualdeCostos}} \quad (5.4)$$

Si B/C es mayor que 1 el proyecto es rentable, es capaz de generar ganancias a partir de la inversión. Por el contrario, si la relación es menor que 1, el proyecto no es capaz de cubrir la totalidad de sus gastos, por lo que el proyecto no es rentable. Si la B/C es igual a 1 se considera que, los beneficios y los costos se igualan, cubriendo apenas el costo mínimo atribuible a la tasa de actualización.

### 5.1.3 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Es el tiempo transcurrido hasta que el Van se hace cero, que como su nombre lo indica ocurre cuando el flujo de caja neto iguala al valor de la inversión. Se lo calcula con la ecuación

$$PRI = T_1 + \frac{SFNC_1(T_2 - T_1)}{SFNC_1 + SFNC_2} \quad (5.5)$$

Dónde:

SFNC= Suma acumulada de los flujos de netos de caja

T= Período



## 5.2 INVERSIÓN DEL PROYECTO

Los costos estimados para realizar los trabajos de reacondicionamiento para el cambio de sistema de bombeo mecánico con unidades Rotaflex a los pozos seleccionados se describen en la tabla 5.1.

**TABLA 5.1**  
**COSTOS ESTIMADOS PARA REALIZAR EL REACONDICIONAMIENTO DE UN POZO SELECCIONADO**

<b>TRABAJOS</b>	<b>COSTOS ESTIMADOS \$</b>
Movimiento de la Torre	10000
Trabajo de la Torre	40000
Supervisión y Transporte	10000
Químicos	8000
Supervisión + Instalación Unidad Bombeo Mecánico	10000
Equipo de Superficie	300000
Equipo de Subsuelo	100000
Contingencias	23900
<b>TOTAL</b>	<b>501900</b>

**FUENTE:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM

**ELABORACIÓN:** José Brasales

## 5.3 ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN

La producción tiene un papel muy importante en el proyecto, debido a que está estrechamente relacionada con las ganancias. El período de análisis es de 12 meses, para la cual se realiza una proyección de producción.

Para el cálculo de la producción mensual se considerará la declinación exponencial, la cual está dada por la siguiente ecuación:

$$q = q_i e^{-Dt} \quad (5.6)$$

Dónde:

q = Tasa de flujo calculada (BFPD)

$q_i$  = Tasa de flujo inicial (BFPD)

D = Declinación de producción (adimensional)

t = Tiempo considerado para la declinación (días, meses, años).

Se estima una declinación de producción promedio de 12% anual, 1% mensual. El período mensual considerado es equivalente a 30 días. Con estas consideraciones y tomando en cuenta los valores obtenidos en la tabla 4. Con la eficiencia del 80%. Se realiza la proyección de la producción la cual se indica en la tabla 5.

### 5.3 PRECIOS

En el análisis del proyecto se toma en cuenta tres escenarios sobre el precio del petróleo, debido al constante cambio en el precio del crudo. En la Figura 5.1 Se indica el valor actual del crudo, se toma en cuenta el castigo para el petróleo ecuatoriano que es de aproximadamente 10%.

- Precio del crudo 30 USD, (escenario pesimista),
- Precio del crudo 45.50 USD, (escenario real),
- Precio del crudo 70 USD, (escenario optimista).

**FIGURA 5.1 PRECIO DEL PETRÓLEO**

**Fuente:** [www.preciopetroleo.net](http://www.preciopetroleo.net)

**Elaboración:** [www.preciopetroleo.net](http://www.preciopetroleo.net)

## 5.4 INGRESOS

Los ingresos del presente proyecto se los obtiene multiplicando el precio del barril por el número de barriles producidos.

Se tiene diferentes ingresos, debido a que existen tres escenarios por el precio del crudo, para ejemplo de cálculo se procede a utilizar los valores del pozo ARZA-004D en el escenario pesimista.

## 5.5 EGRESOS

El costo de producción de un barril de petróleo se le considera como un egreso, debido a que es la cantidad que la empresa debe pagar por producirlo. La figura 5.2 Indica el precio de barril producido a 8.59 USD, información tomada de la página oficial de PETROAMAZONAS EP.

**FIGURA 5.2 COSTO DE PRODUCCIÓN DE UN BARRIL DE PETRÓLEO**

**Fuente:** [www.petroamazonas.gob.ec](http://www.petroamazonas.gob.ec)

**Elaboración:** PETROAMAZONAS EP

## **5.5 CRITERIOS UTILIZADOS PARA EL ANÁLISIS ECONÓMICO**

Los criterios utilizados para el análisis económico se listan a continuación:

- El período de análisis económico es de 12 meses.
- El costo de producción del barril es de 8.59 USD
- Se considera la declinación exponencial para determinar la producción mensual; se estima una declinación promedio anual de 12% y la mensual de 1%. El período correspondiente a cada pozo por mes es de 30 días.
- La actualización anual se considera de 12% y la mensual de 1%, según Petroamazonas EP.
- Para el análisis económico se emplea un precio de 30, 45.50 y 70 USD/barril.
- Se estima un porcentaje de contingencias del 5%.
- No se considera la realización de trabajos de reacondicionamiento dentro del período de análisis económicos.
- Se considera un plazo de 6 días para el reacondicionamiento de un pozo e instalación del equipo de fondo y superficie del sistema de bombeo mecánico Rotaflex.
- Se considera intervenir 3 pozos por cada período, con lo cual en el quinto período se tendrán produciendo los 15 pozos seleccionados para la implementación del bombeo mecánico con Rotaflex.
- La inversión total del proyecto es de 7528500 USD.

### **5.5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO**

Para el análisis económico del proyecto, se tomaron en cuenta tres escenarios variando el costo del barril de petróleo.

La tabla 5.2 indica la producción de los pozos y la producción objetivo que se alcanzará, si se decide implementar el sistema de bombeo mecánico con Rotaflex, a una eficiencia de trabajo de la bomba del 80%.

En las tablas 5.3, 5.4 y 5.5 se indican los cálculos de ingresos y egresos, flujo de caja generados por la producción de los pozos seleccionados, en los escenarios pesimista, real y optimista respectivamente; en un período de 12 meses, con una declinación anual del 12%. En la tabla 5.6 se indica los resultados del análisis económico con los indicadores económicos usados en el estudio VAN, TIR, B/C, PRI.

**TABLA 5.2**  
**PRODUCCIONES DE LOS POZOS**

<b>POZOS</b>	<b>q BFPD</b>	<b>q @ 80% de Eficiencia de la bomba BFPPD</b>	<b>BPPD</b>	<b>BPPD @ 80% de Eficiencia de la bomba</b>
<b>ARZA-004D</b>	218	255	144	168
<b>ATC-007</b>	169	196	153	177
<b>ATC-008</b>	252	289	231	266
<b>ATC-014</b>	249	253	233	237
<b>ATC-016</b>	180	208	147	169
<b>ATC-019D</b>	244	251	73	75
<b>PCH-005</b>	150	183	12	15
<b>PCH-013D</b>	248	279	223	251
<b>SCY-002</b>	141	160	126	143
<b>SCY-023</b>	248	282	184	209
<b>SCY-033B</b>	311	360	237	274
<b>SHA-036D</b>	353	397	106	119
<b>SHH-012</b>	330	378	109	124
<b>SHH-013</b>	244	279	142	162
<b>SHH-022D</b>	217	255	195	230
<b>TOTAL</b>			<b>2314</b>	<b>2619</b>

**FUENTE:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM Y Software SROD v 6.8.4

**ELABORACIÓN:** José Brasales

**TABLA 5.3**  
**CÁLCULO DE INGRESOS, EGRESOS Y FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO ESCENARIO PESIMISTA**

MESSES	PERÍODO	POZOS PRODUCIENDO	PRODUCCIÓN DIARIA (BPPD)	PRODUCCIÓN MENSUAL (BPPM)	INGRESO MENSUAL (USD)	INGRESO TOTAL ACUMULADO (USD)	EGRESO TOTAL MENSUAL (USD)	EGRESO TOTAL ACUMULADO (USD)
1	0	0	0	0	0	0	1505700	1505700
2	1	3	611	18341	550228	550228	1663248.50	3168948.50
3	2	6	1087	32608.61	978258	1528486	1785808.00	4954756.50
4	3	9	1251	37536.61	1126098	2654584	1828139.50	6782896.00
5	4	12	1816	54468.64	1634059	4288644	1973585.60	8756481.60
6	5	15	2260	67803.35	2034101	6322744	2088130.79	10844612.39
7	6	15	2150	64496.54	1934896	8257640	554025.31	11398637.69
8	7	15	2128	63854.79	1915644	10173284	548512.66	11947150.35
9	8	15	2107	63219.43	1896583	12069867	543054.87	12490205.22
10	9	15	2086	62590.38	1877711	13947578	537651.38	13027856.61
11	10	15	2066	61967.60	1859028	15806606	532301.66	13560158.27
12	11	15	2045	61351.01	1840530	17647137	527005.17	14087163.44

ELABORACIÓN: José Brasales

TABLA 5.3 CONTINUACIÓN

FLUJO DE CAJA (USD)	INGRESO ACTUALIZADO MENSUAL (USD)	INGRESO TOTAL ACTUALIZADO ACUMULADO (USD)	EGRESO TOTAL ACTUALIZADO MENSUAL (USD)	EGRESO TOTAL ACTUALIZADO ACUMULADO (USD)	FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO CON 1% (USD)	FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO ACUMULADO (USD)
-1505700	0	0	1505700	1505700	-1505700	-1505700
-1113020.90	544779.80	544779.80	1646780.70	3152480.70	-1102000.89	-2607700.89
-257321.96	958982.89	1503762.69	1750620.53	4903101.22	-246857.84	-2854558.73
826444.91	1092979.97	2596742.66	1774374.18	6677475.41	822368.48	-2032190.25
2315057.93	1570298.70	4167041.36	1896576.97	8574052.37	2270464.40	238274.14
4234613.28	1935376.88	6102418.24	1986784.80	10560837.17	4115633.44	4353907.58
7703615.06	1822759.83	7925178.07	521916.90	11082754.07	7403261.17	11757168.75
9624771.46	1786755.52	9711933.59	511607.66	11594361.73	9200325.92	20957494.68
11526812.03	1751462.38	11463395.97	501502.06	12095863.80	10961893.90	31919388.58
13409926.98	1716866.37	13180262.34	491596.07	12587459.87	12688666.27	44608054.85
15274304.63	1682953.73	14863216.07	481885.75	13069345.62	14381330.31	58989385.16
17120131.41	1649710.95	16512927.02	472367.24	13541712.85	16040559.78	75029944.94

ELABORACIÓN: José Brasales

**TABLA 5.4**  
**CÁLCULO DE INGRESOS, EGRESOS Y FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO ESCENARIO REAL**

<b>MES</b>	<b>PERÍODO</b>	<b>POZOS PRODUCIENDO</b>	<b>PRODUCCIÓN DIARIA (BPPD)</b>	<b>PRODUCCIÓN MENSUAL (BPPM)</b>	<b>INGRESO MENSUAL (USD)</b>	<b>INGRESO TOTAL ACUMULADO (USD)</b>	<b>EGRESO TOTAL MENSUAL (USD)</b>	<b>EGRESO TOTAL ACUMULADO (USD)</b>
1	0	0		0	0	0	1505700	1505700
2	1	3	611	18341	834512	834512	1663248.50	3168948.50
3	2	6	1087	32608.61	1483692	2318204	1785808.00	4954756.50
4	3	9	1251	37536.61	1707916	4026120	1828139.50	6782896.00
5	4	12	1816	54468.64	2478323	6504443	1973585.60	8756481.60
6	5	15	2260	67803.35	3085052	9589495	2088130.79	10844612.39
7	6	15	2150	64496.54	2934593	12524088	554025.31	11398637.69
8	7	15	2128	63854.79	2905393	15429481	548512.66	11947150.35
9	8	15	2107	63219.43	2876484	18305965	543054.87	12490205.22
10	9	15	2086	62590.38	2847862	21153827	537651.38	13027856.61
11	10	15	2066	61967.60	2819526	23973353	532301.66	13560158.27
12	11	15	2045	61351.01	2791471	26764824	527005.17	14087163.44

**ELABORACIÓN:** José Brasales



TABLA 5.4 CONTINUACIÓN

FLUJO DE CAJA (USD)	INGRESO ACTUALIZADO MENSUAL (USD)	INGRESO TOTAL ACTUALIZADO ACUMULADO (USD)	EGRESO TOTAL ACTUALIZADO MENSUAL (USD)	EGRESO TOTAL ACTUALIZADO ACUMULADO (USD)	FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO CON 1% (USD)	FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO ACUMULADO (USD)
-1505700	0	0	1505700	1505700	-1505700	-1505700
-828736.64	826249.37	826249.37	1646780.70	3152480.70	-820531.33	-2326231.33
532395.83	1454457.38	2280706.75	1750620.53	4903101.22	530086.22	-1796145.11
2197980.18	1657686.29	3938393.04	1774374.18	6677475.41	2164018.85	367873.74
4530857.08	2381619.69	6320012.73	1896576.97	8574052.37	4423435.77	4791309.51
7501364.39	2935321.60	9255334.33	1986784.80	10560837.17	7268549.53	12059859.04
11970062.58	2764519.08	12019853.41	521916.90	11082754.07	11497936.51	23557795.55
14880968.26	2709912.53	14729765.94	511607.66	11594361.73	14218158.28	37775953.83
17762909.93	2656384.61	17386150.55	501502.06	12095863.80	16884648.49	54660602.31
20616175.81	2603914.00	19990064.54	491596.07	12587459.87	19498468.47	74159070.78
23441051.21	2552479.82	22542544.37	481885.75	13069345.62	22060658.62	96219729.40
26237818.64	2502061.61	25044605.97	472367.24	13541712.85	24572238.74	120791968.14

ELABORACIÓN: José Brasales

**TABLA 5.5**  
**CÁLCULO DE INGRESOS, EGRESOS Y FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO ESCENARIO OPTIMISTA**

MES	PERÍODO	POZOS PRODUCIENDO	PRODUCCIÓN DIARIA (BPPD)	PRODUCCIÓN MENSUAL (BPPM)	INGRESO MENSUAL (USD)	INGRESO TOTAL ACUMULADO (USD)	EGRESO TOTAL MENSUAL (USD)	EGRESO TOTAL ACUMULADO (USD)
1	0	0	0	0	0	0	1505700	1505700
2	1	3	611	18341	1283864	1283864	1663248.50	3168948.50
3	2	6	1087	32608.61	2282603	3566467	1785808.00	4954756.50
4	3	9	1251	37536.61	2627563	6194030	1828139.50	6782896.00
5	4	12	1816	54468.64	3812805	10006835	1973585.60	8756481.60
6	5	15	2260	67803.35	4746235	14753070	2088130.79	10844612.39
7	6	15	2150	64496.54	4514758	19267828	554025.31	11398637.69
8	7	15	2128	63854.79	4469835	23737663	548512.66	11947150.35
9	8	15	2107	63219.43	4425360	28163023	543054.87	12490205.22
10	9	15	2086	62590.38	4381327	32544350	537651.38	13027856.61
11	10	15	2066	61967.60	4337732	36882081	532301.66	13560158.27
12	11	15	2045	61351.01	4294571	41176652	527005.17	14087163.44

**ELABORACIÓN:** José Brasales

TABLA 5.4 CONTINUACIÓN

FLUJO DE CAJA (USD)	INGRESO ACTUALIZADO MENSUAL (USD)	INGRESO TOTAL ACTUALIZADO ACUMULADO (USD)	EGRESO TOTAL ACTUALIZADO MENSUAL (USD)	EGRESO TOTAL ACTUALIZADO ACUMULADO (USD)	FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO CON 1% (USD)	FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO ACUMULADO (USD)
-1505700	0	0	1505700	1505700	-1505700	-1505700
-379384.10	1271152.87	1271152.87	1646780.70	3152480.70	-375627.82	-1881327.82
1780659.43	2237626.74	3508779.61	1750620.53	4903101.22	1758159.08	-123168.74
4365890.78	2550286.60	6059066.21	1774374.18	6677475.41	4284692.03	4161523.28
8033249.30	3664030.30	9723096.51	1896576.97	8574052.37	7826519.54	11988042.83
12664938.71	4515879.38	14238975.89	1986784.80	10560837.17	12252191.09	24240233.92
18713802.22	4253106.28	18492082.17	521916.90	11082754.07	17970165.27	42210399.19
23189150.29	4169096.20	22661178.37	511607.66	11594361.73	22149570.71	64359969.90
27619967.90	4086745.55	26747923.92	501502.06	12095863.80	26246421.86	90606391.75
32006698.14	4006021.53	30753945.45	491596.07	12587459.87	30262349.38	120868741.14
36349779.69	3926892.03	34680837.49	481885.75	13069345.62	34198951.74	155067692.87
40649646.85	3849325.55	38530163.04	472367.24	13541712.85	38057795.80	193125488.67

ELABORACIÓN: José Brasales

Usando la ecuación 5.5 se calcula el tiempo en el cual se recupera la inversión, para ejemplo de cálculo se utiliza los valores de la tabla 5.3 y se obtiene:

$$PRI = 5 + \frac{4523907.58 * (6 - 15)}{4523907.58 + 11757168.75} = 5.27 \text{ meses}$$

Los datos obtenidos para cada escenario se presentan en la tabla 5.5.

**TABLA 5.6**  
**RESULTADOS ANÁLISIS ECONÓMICO**

CRITERIOS DE ANÁLISIS	ESCENARIOS		
	PESIMISTA CRUDO=30 USD	REAL CRUDO=45.50USD	OPTIMISTA CRUDO=70USD
INVERSIÓN TOTAL (USD)	7528500	7528500	7528500
VALOR ACTUAL NETO, VAN (USD)	75029945	24572239	38057796
TASA INTERNA DE RETORNO, TIR (%)	61%	85%	120%
RELACIÓN COSTO BENEFICIO	1.22	5.30	8.15
PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE INVERSIÓN, PRI (MES)	5.27	4.28	3.26

**ELABORACIÓN:** José Brasales

La tabla 5.6 indica que el proyecto de implementación del sistema de bombeo mecánico con Rotaflex se considera económicamente rentable, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- El Valor actual neto (VAN), es mayor a 1 en los tres escenarios.
- La tasa interna de retorno (TIR) es mayor a la tasa de actualización mensual considerada (1%), en los tres casos.
- La razón costo-beneficio calculada es mayor a 1 en los tres casos.
- El período de recuperación de la inversión (PRI), para el escenario 1 es de 5.27 meses, para el escenario 2 es de 4.28 meses y para el escenario 3 es de 3.26 meses.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- La producción del Área Libertador es de 106978 BFPD, producción aportada por 94 pozos que producen por levantamiento artificial, de los cuales 62 producen mediante bombeo electrosumergible, 22 mediante bombeo hidráulico y 10 mediante bombeo mecánico; al 30 de septiembre del 2014.
- El proyecto fue aplicado a una totalidad de 23 pozos, detectándose una disminución de la producción de crudo en 8 pozos, como ejemplo en el pozo Atacapi 020D, en la simulación existe una sobrecarga en la varillas,
- Luego de ejecutar el plan de investigación se determina que el incremento de la producción es de 305 BPPD cuando se trabaja con una eficiencia de la bomba del 80%.
- El manejo de las unidades de superficie Rotaflex se realizó dentro de los parámetros establecidos, garantizando la vida útil de las unidades.
- Para la selección se tomó en cuenta que los pozos tengan una tasa de producción hasta los 600 BFPD, y las profundidades de las formaciones productoras se encuentren entre 8000-10300 pies.
- De acuerdo al análisis económico el TIR 85%, el VAN es de 24572239 USD y la relación costo beneficio es de 5.30; para el escenario real por lo que se concluye que el proyecto es rentable.

- El estudio económico realizado para el período de 12 meses con un precio del barril de 45.50 USD (escenario real), determina que la inversión se recuperará en aproximadamente 4.28 meses.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la realización de nuevas pruebas de restauración de presión de los pozos analizados, ya que un buen diseño del sistema de levantamiento depende de los datos proporcionados a la fecha de la ejecución.
- Se recomienda utilizar separador de gas en todos los pozos que produzcan cerca o debajo de la presión de burbuja, para que la bomba no se bloquee por la presencia excesiva de gas.
- En el presente proyecto se recomienda utilizar velocidades bajas de bombeo, es decir, trabajar con el menor número de emboladas por minuto; para garantizar una óptima y duradera vida útil de las mismas, previniendo daños prematuros que vayan a dificultar la ejecución del proyecto.
- Se recomienda utilizar las varillas WFT T66XD ya que estas están fabricadas con una aleación especial de cromo-molibdeno característica que les proporciona alta resistencia a la corrosión y abrasión, son tratadas técnicamente para obtener características mecánicas y metalúrgicas uniformes en toda su extensión, de esta manera se evita la deformación en las varillas.
- Se recomienda implementar el bombeo mecánico con la unidad de Rotaflex en los 15 pozos, del total seleccionado; ya que se logrará un incremento de 305(BPPD) con una inversión estimada 7528500 (USD).

- Terminado la aplicación del presente proyecto se ha demostrado que es un sistema de bombeo mecánico rentable, el mismo que a corto y mediano plazo permitirá a la empresa poder recuperar en primera instancia su inversión y además poder generar utilidades de la explotación de crudo.

## GLOSARIO

**Abandono de pozos:** Es la actividad final en la operación de un pozo cuando se cierra permanentemente bajo condiciones de seguridad y preservación del medio ambiente

**Anticlinal:** Configuración estructural de un paquete de rocas que se pliegan, y en la que las rocas se inclinan en dos direcciones diferentes a partir de una cresta.

**Bombeo mecánico:** Sistema artificial de producción en el que una bomba de fondo localizada en o cerca del fondo del pozo, se conecta a una sarta de varillas de succión para elevar los fluidos de este a la superficie

**Campo:** Área geográfica bien delimitada donde se lleva a cabo la perforación de pozos profundos para la explotación de yacimientos petrolíferos.

**Densidad API:** Es la medida de la densidad de los productos líquidos del petróleo, derivado de la densidad relativa de acuerdo con la siguiente ecuación:  $Densidad\ API = (141.5 / \text{densidad relativa}) - 131.5$ . La densidad API se expresa en grados; la densidad relativa 1.0 es equivalente a 10 grados API.

**Diagrama de pozo:** Un diagrama esquemático que identifica los componentes principales de la terminación instalados en un pozo. La información incluida en el diagrama de pozo se refiere a las dimensiones principales de los componentes y a la profundidad en la que éstos se localizan.

**Espesor neto (hn):** Resulta de restar al espesor total las porciones que no tienen posibilidades de producir hidrocarburos.

**Espesor total (h):** Espesor desde la cima de la formación de interés hasta un límite vertical determinado por un nivel de agua o por un cambio de formación.



**Factibilidad económica:** Se refiere a los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar o llevar a cabo las actividades o procesos y/o para obtener los recursos básicos que deben considerarse en todas las etapas del proyecto

**Falla:** Superficie de ruptura de las capas geológicas a lo largo de la cual ha habido movimiento diferencial.

**Litología:** Parte de la geología dedicada al estudio de las rocas; básicamente su estructura y composición.

**Mapa estructural:** Un tipo de mapa del subsuelo cuyas curvas de contorno representan la elevación de una determinada formación, yacimiento o marcador geológico en el espacio, de modo que los pliegues, fallas y otras estructuras geológicas se muestran con claridad.

**Petróleo:** Mezcla de carburos de hidrógeno líquidos, resultantes de la descomposición de materia orgánica (fermentación bioquímica), ocurrida en paleocuevas bajo condiciones específicas de presión y temperatura. El petróleo comúnmente se encuentra asociado con gases.

**Pozo petrolero:** Perforación efectuada por medio de barrenas de diferentes diámetros y a diversas profundidades, con el propósito de definir las condiciones geológico-estructurales de la corteza terrestre, para la prospección o explotación de yacimientos petrolíferos.

**PVT:** Abreviatura para presión, volumen, temperatura. El término se usa en evaluaciones de propiedades de los fluidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

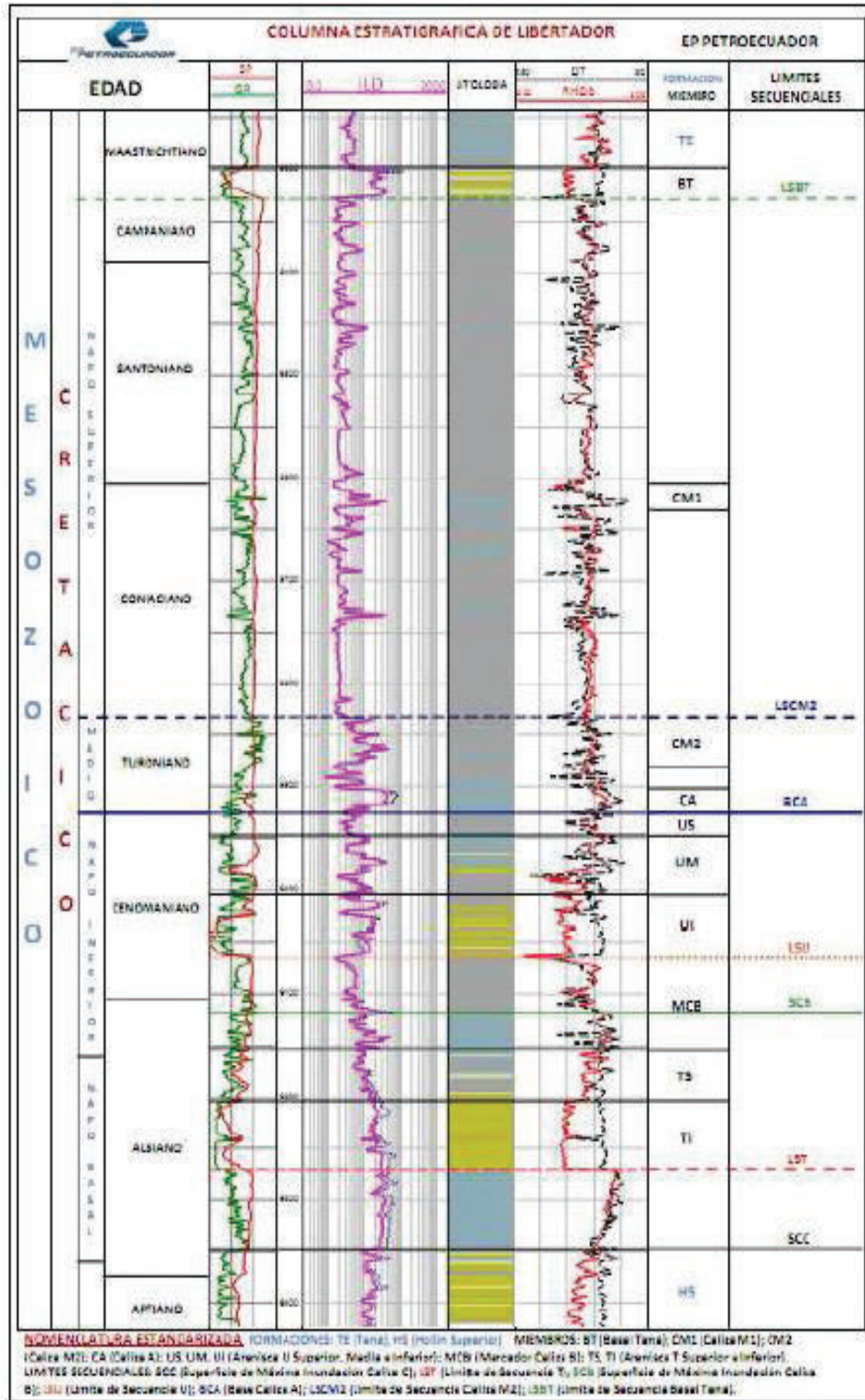
- **BROWN KERMIT E.**, The Technology of Artificial Lift Methods. Volume 2b Petroleum Publishing Co. 1980.
- **THETA ENTERPRISE Inc.**, Manual de Optimización de Bombeo Mecánico. 2005
- **WEATHERFORD.** Manual de Instalación y mantenimiento de Rotaflex.
- **WEATHERFORD.** Unidad Rotaflex de Bombeo de carrera larga. 2007
- **MAROTO H., VINLSACA D.**, Estudio para optimizar el sistema de bombeo electrosumergible en la producción de petróleo en el Área Libertador. 2012.
- **VEGA CELIO O.**, Ingeniería Económica 1983.
- **CIED.**, Diseño de Instalaciones de Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico. 2002
- **Lufking Oilfield Products Group.**
- **THETA ENTERPRISE Inc.**, Manual de Optimización de Bombeo Mecánico.
- **WEATHERFORD.** Reciprocating Rod Lift.
- **WEATHERFORD INTERNATIONAL.**, Manual de Instalación y Operación Rotaflex.
- **O&A DINAMOMETRÍA.**, Manual de Capacitación de Dinamometría. 2011.
- **SOFTWARE SROD v 6.8.4**
- **MIRANDA BOLÍVAR,** (1977) Producción 2 Bombeo Mecánico, Quito, Departamento de Ingeniería de Minas y Petróleos del Ecuador.
- **ROTAFLEX,** Potencias en Sistemas Bombeo Mecánico. Recuperado 23 de septiembre, 2011,
- **ALMEIDA RAMIRO** (1999) Curso de Bombeo Mecánico, Quito, Petroecuador
- **ARTIFICIAL LIFT SYSTEMS,** Unidades Rota Flex, Recuperado 3 de Octubre 2011,
- <http://empleospetroleros.org/2012/08/31/sistemas-de-levantamiento-bombeo-mecanico-convencional/>
- <http://es.scribd.com/doc/68715718/Capitulo-2-Bombeo-Mecanico>

- <http://www.slideshare.net/adalbertomorquechorobles/dinamometria-y-cartas-dinamometricas>
- <http://es.scribd.com/doc/7383100/Optimizacion-de-La-Produccion-Mediante-Analisis-Nodal-ESPOIL>
- <http://www.gestiopolis.com/metodos-para-la-evaluacion-financiera-de-proyectos/>

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA**

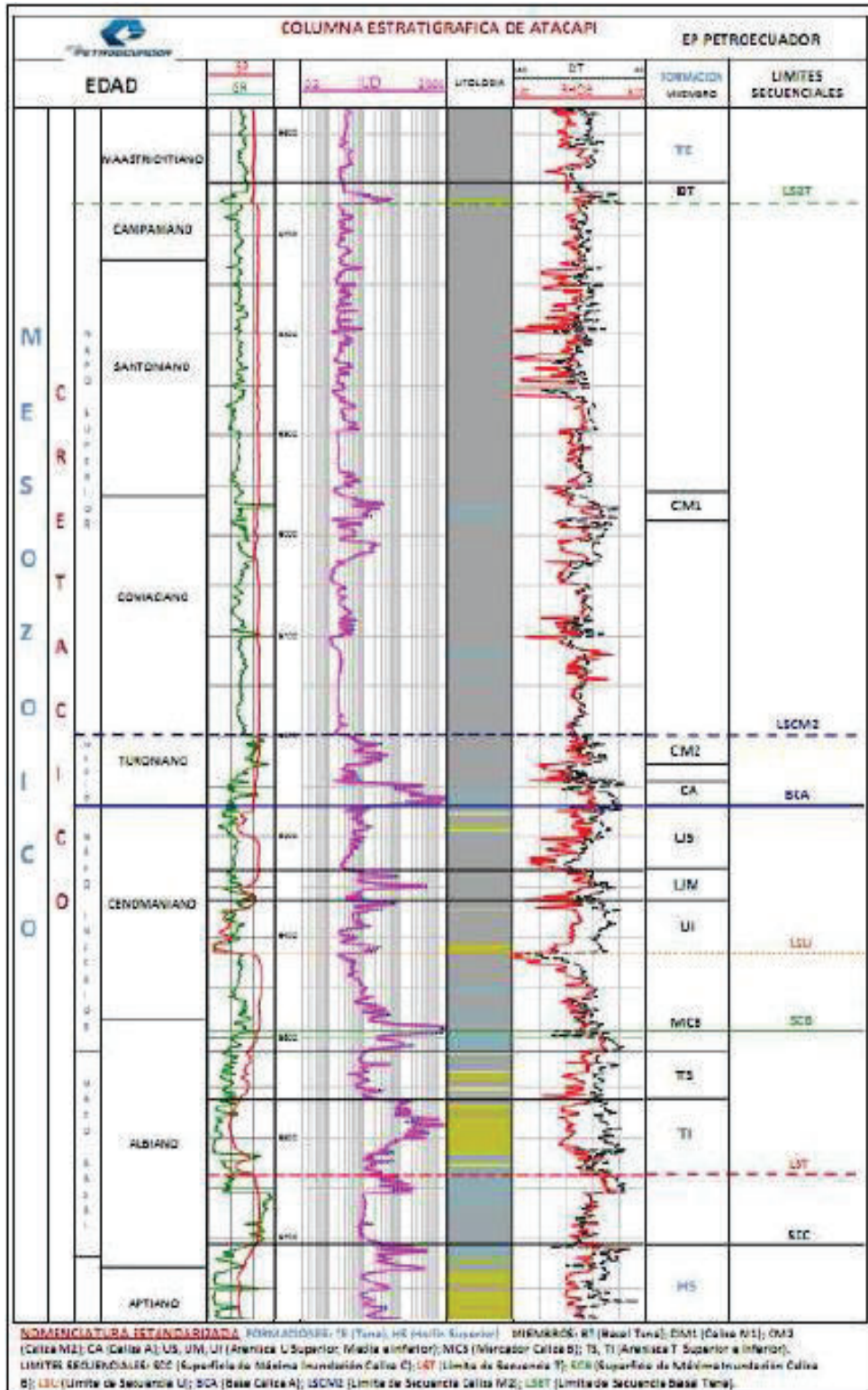
### COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CAMPO LIBERTADOR



FUENTE: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador, 2010

ELABORACIÓN: PETROAMAZONAS EP

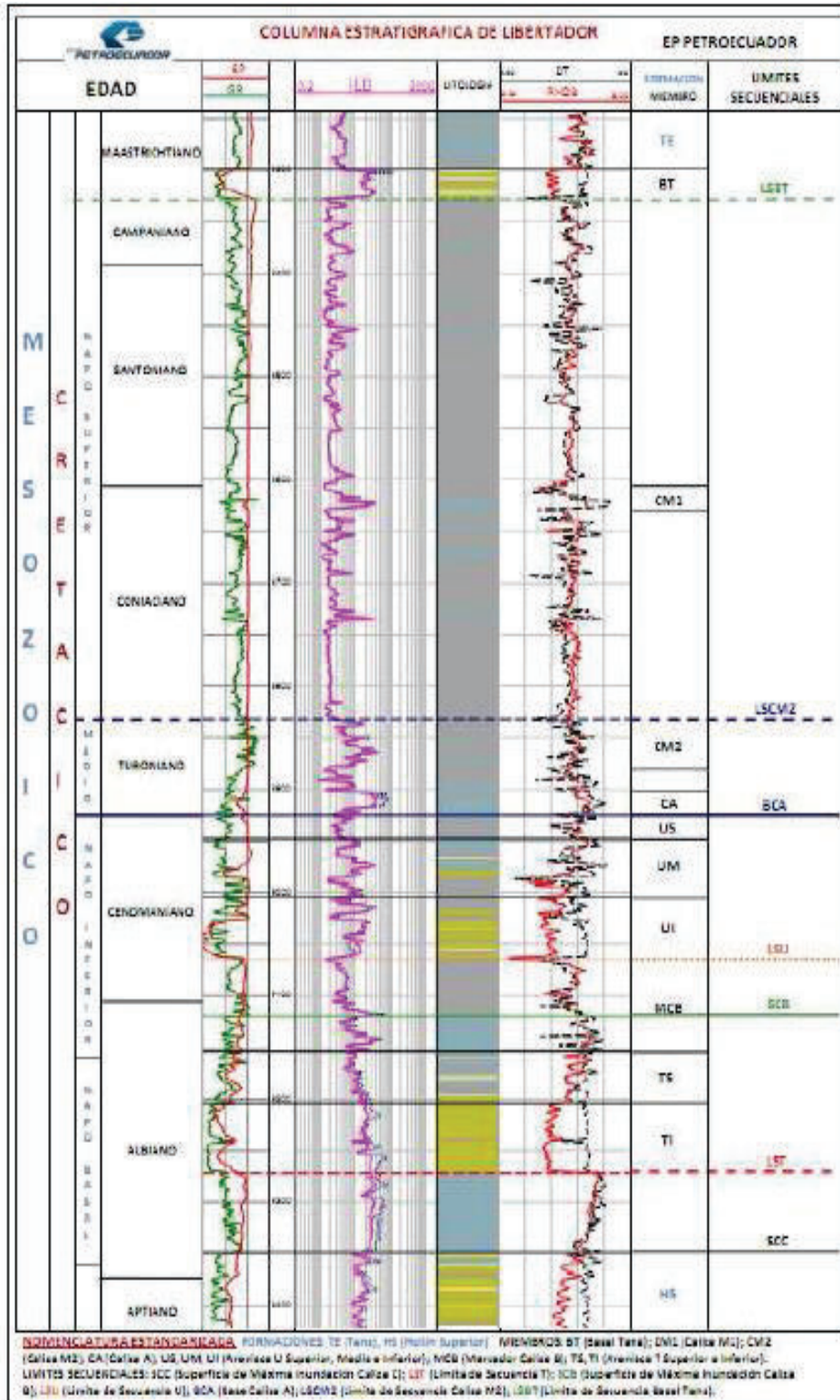
**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CAMPO ATACAPI**



**FUENTE:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador, 2010

**ELABORACIÓN:** PETROAMAZONAS EP

**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CAMPO LIBERTADOR**



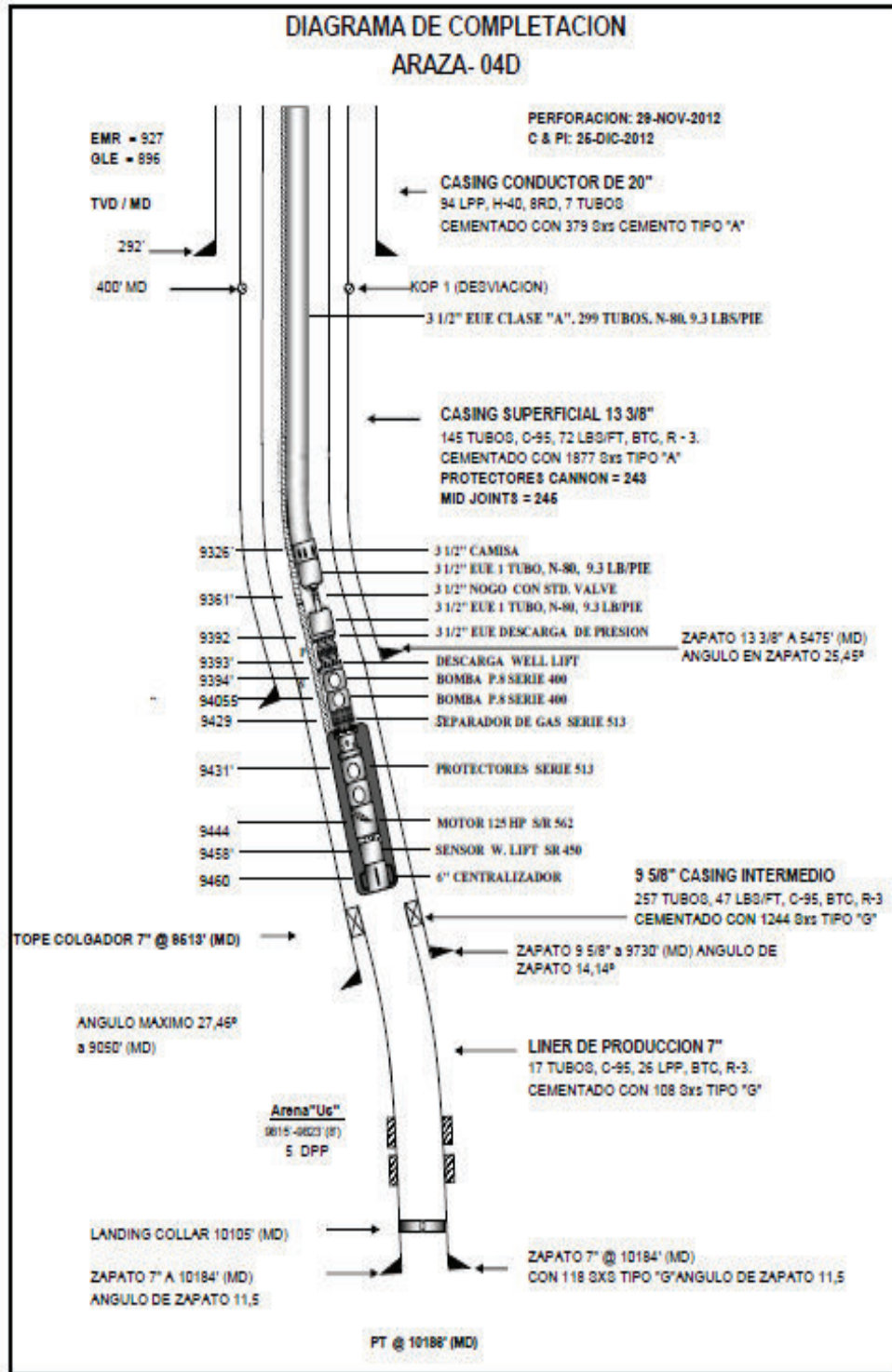
**FUENTE:** Ingeniería de Operaciones del Área Libertador, 2010

**ELABORACIÓN:** PETROAMAZONAS EP



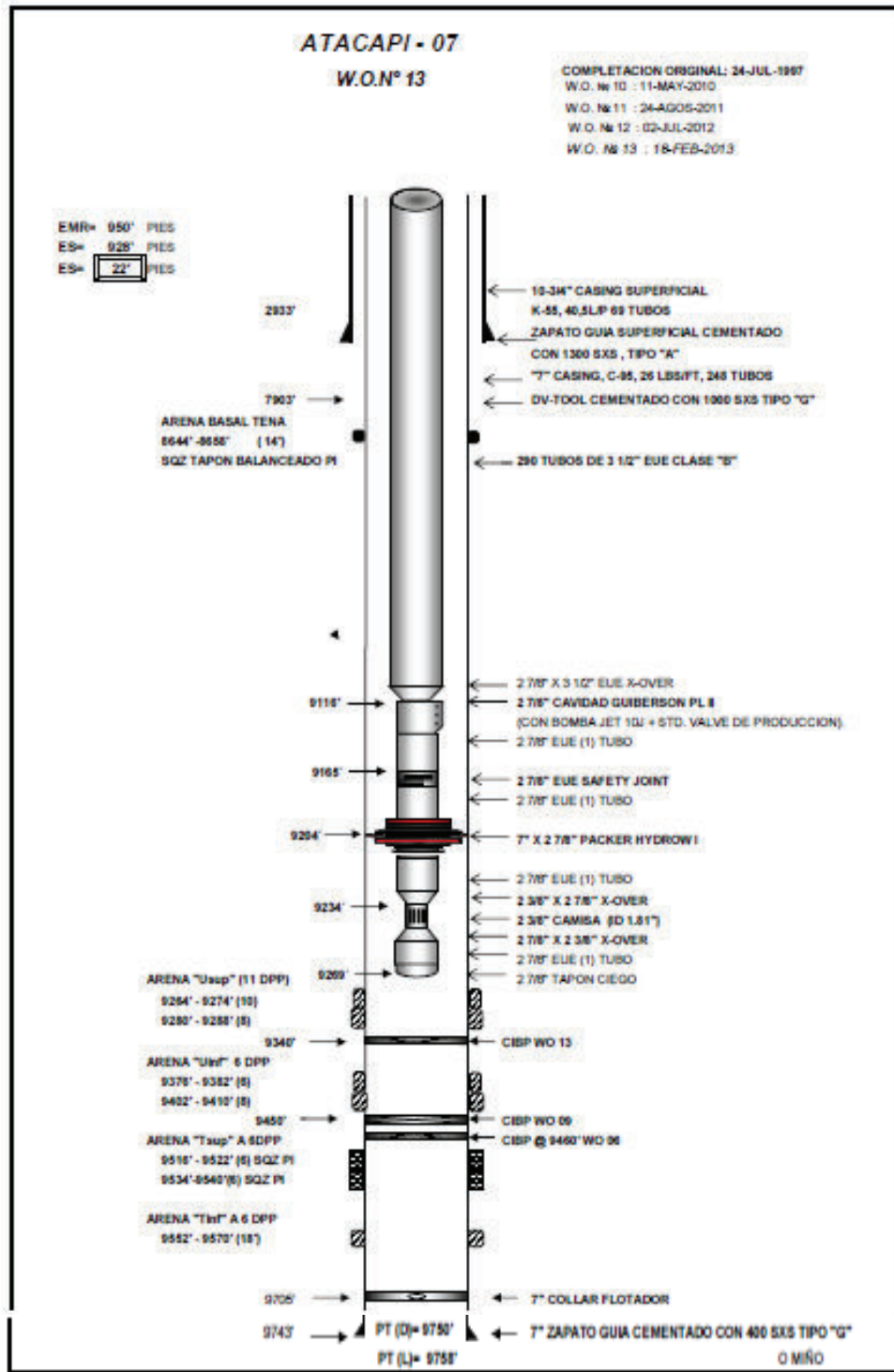
**ANEXO 2**  
**DIAGRAMAS DE COMPLETACIÓN DE LOS POZOS**  
**SELECCIONADOS**

DIAGRAMA POZO ARZA-004D



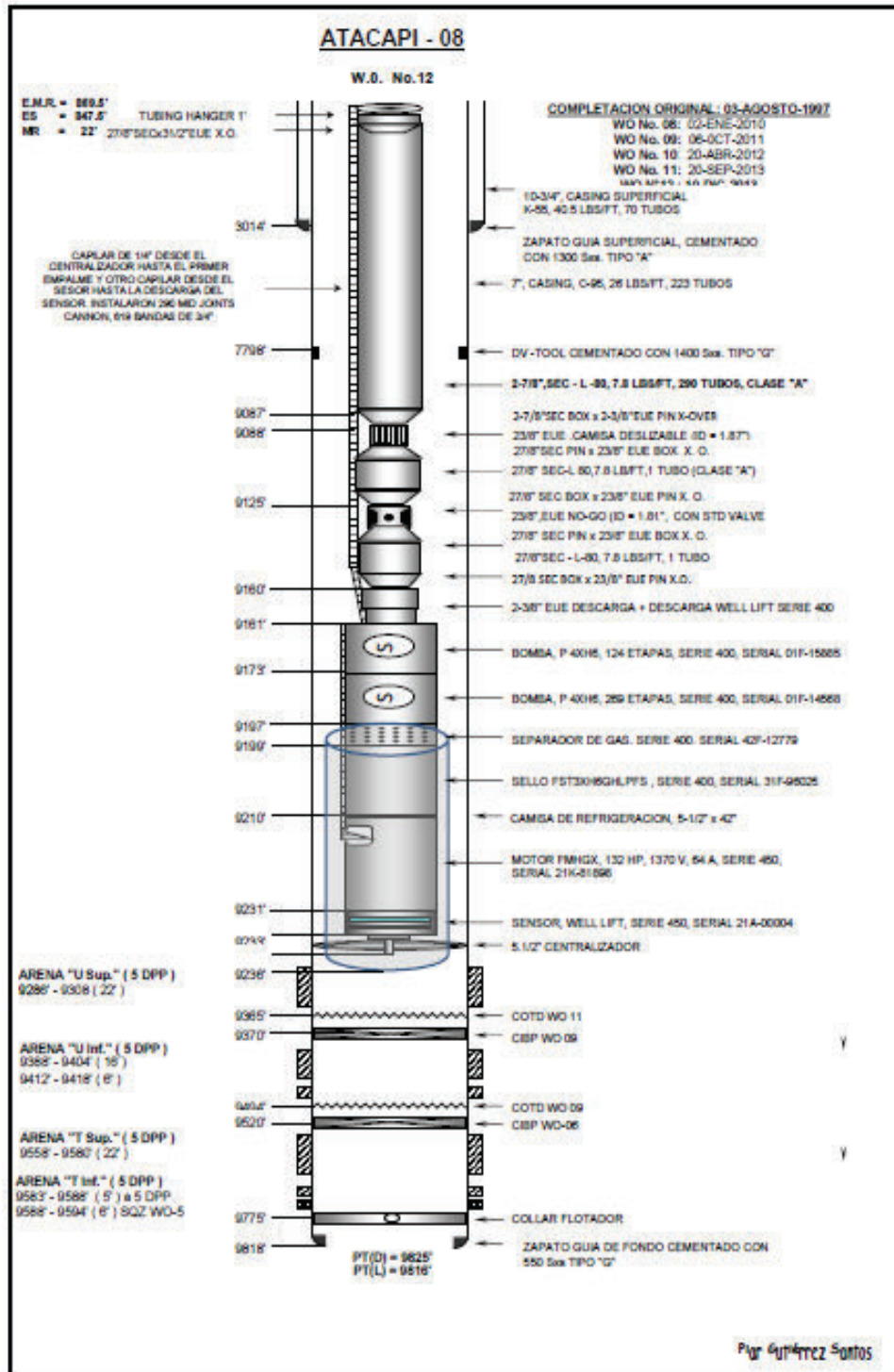
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2012

DIAGRAMA POZO ATC-007



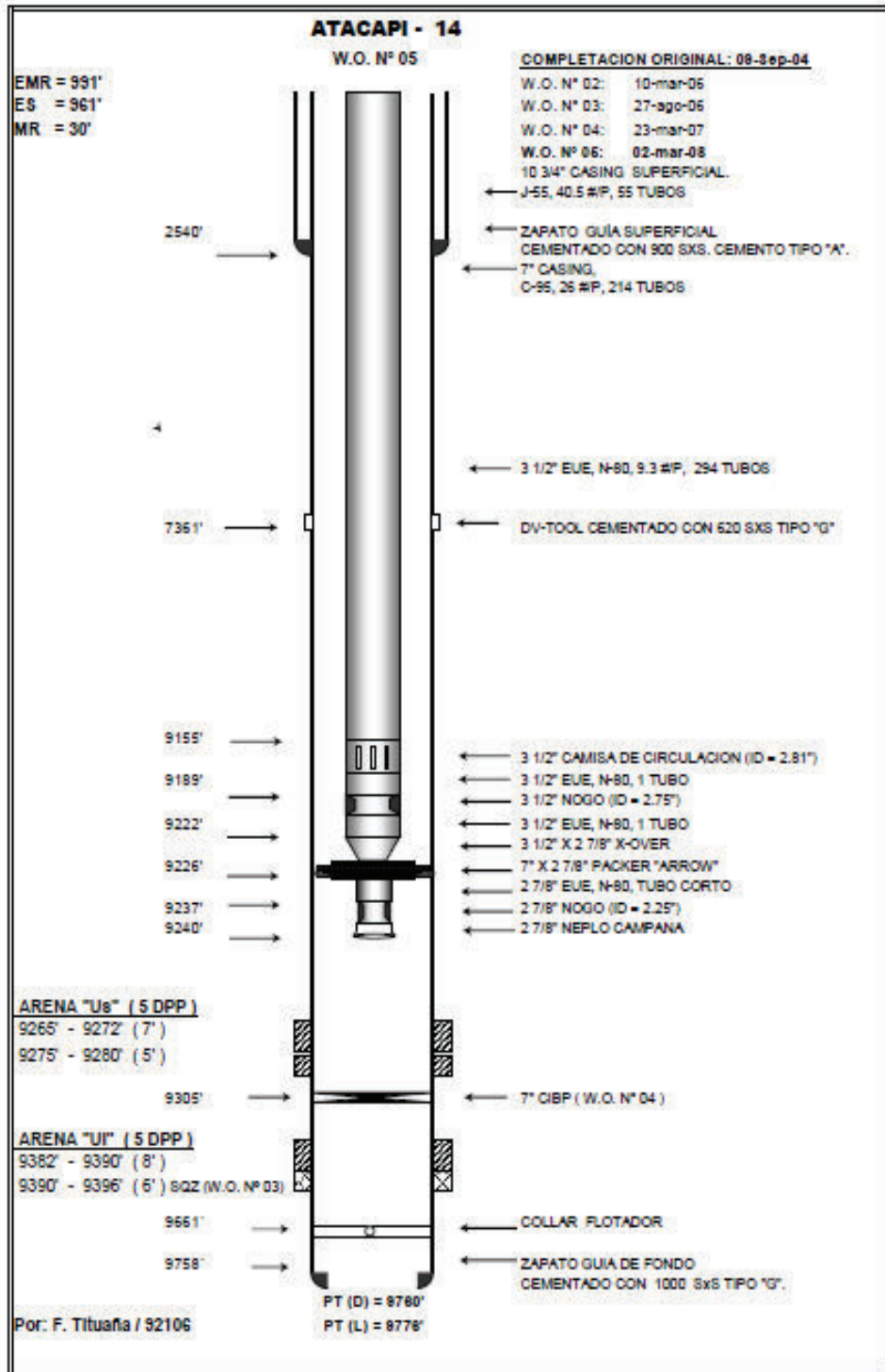
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2013

DIAGRAMA POZO ATC-008



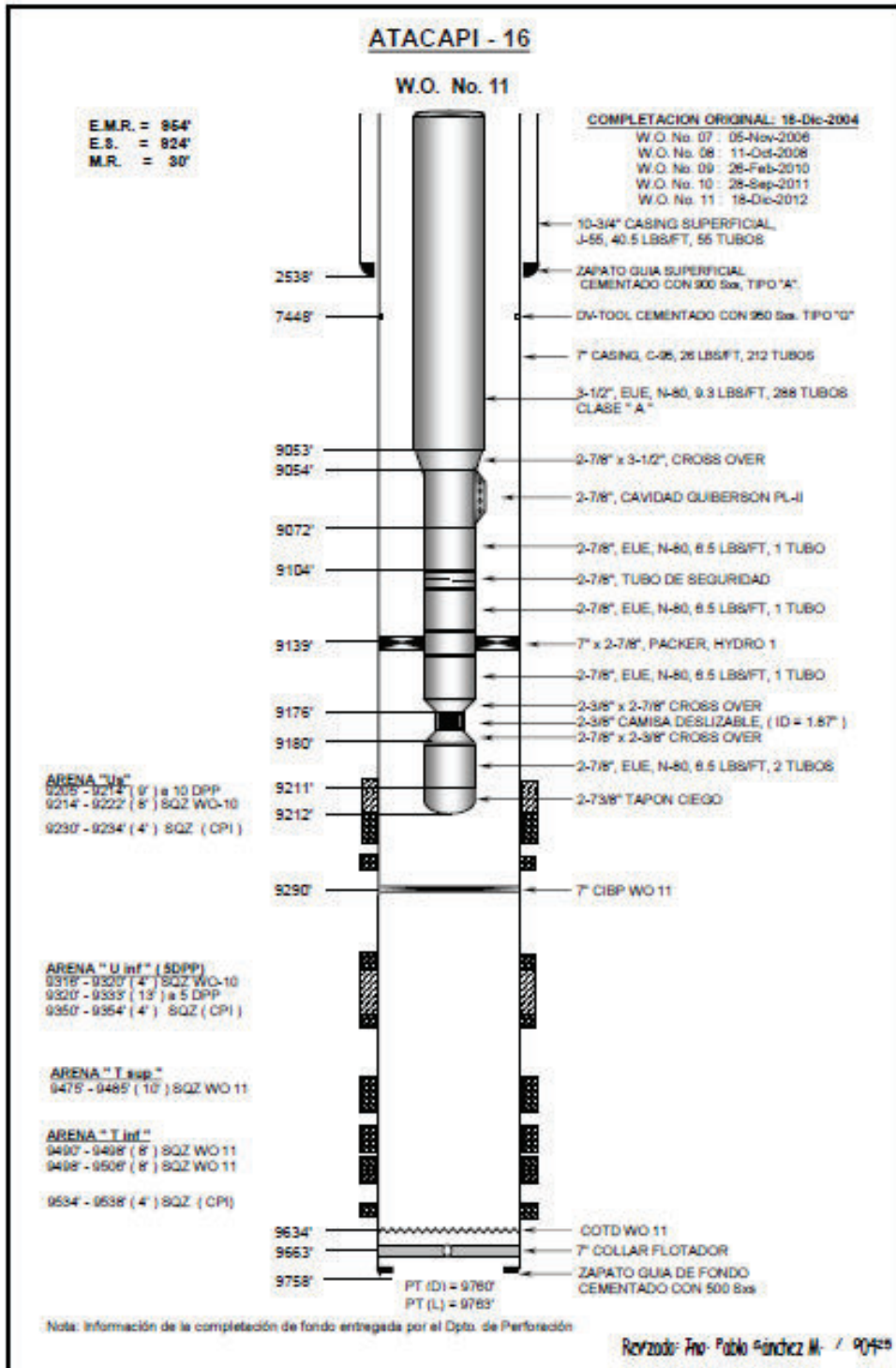
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2013

DIAGRAMA POZO ATC-014



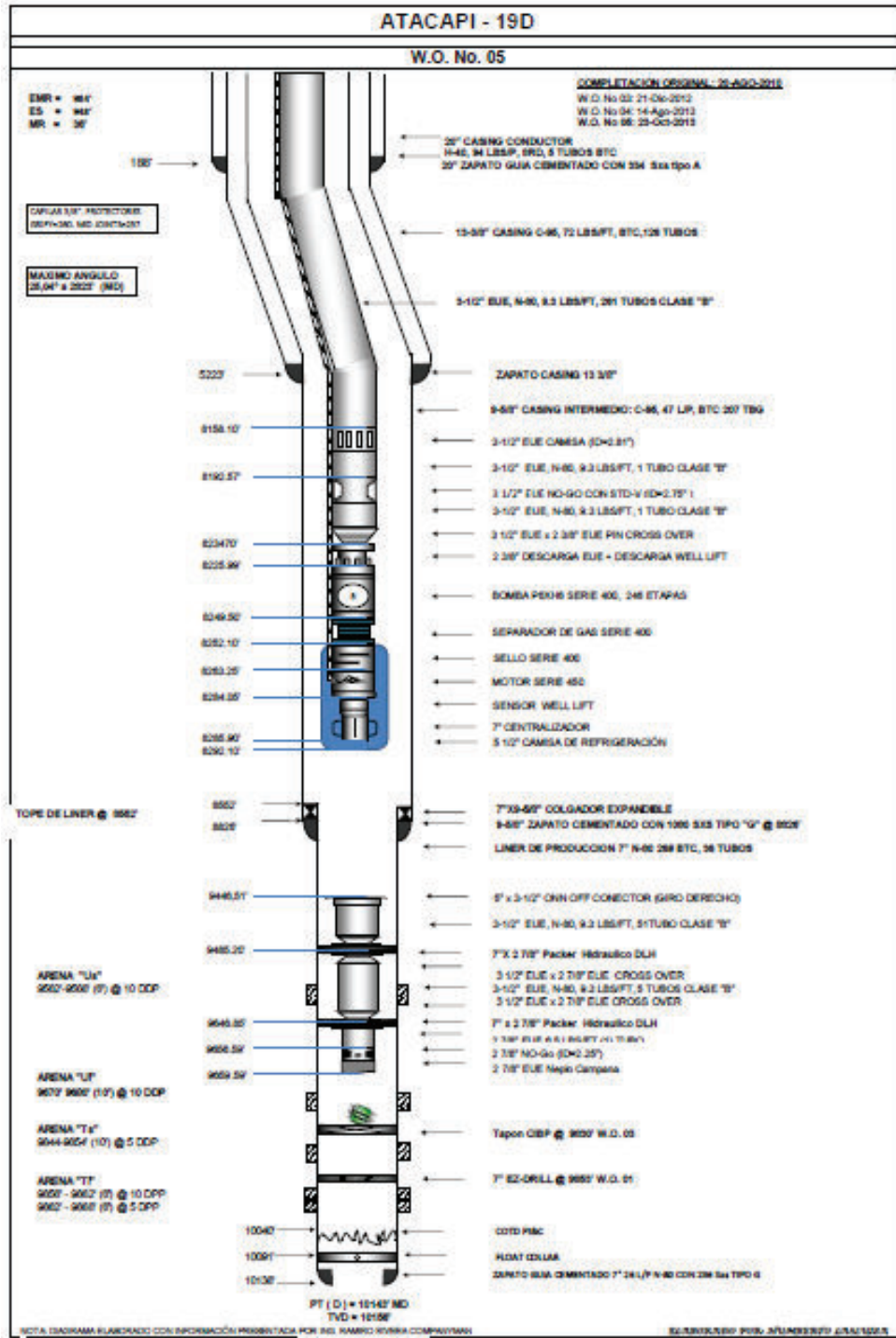
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2008

DIAGRAMA POZO ATC-016



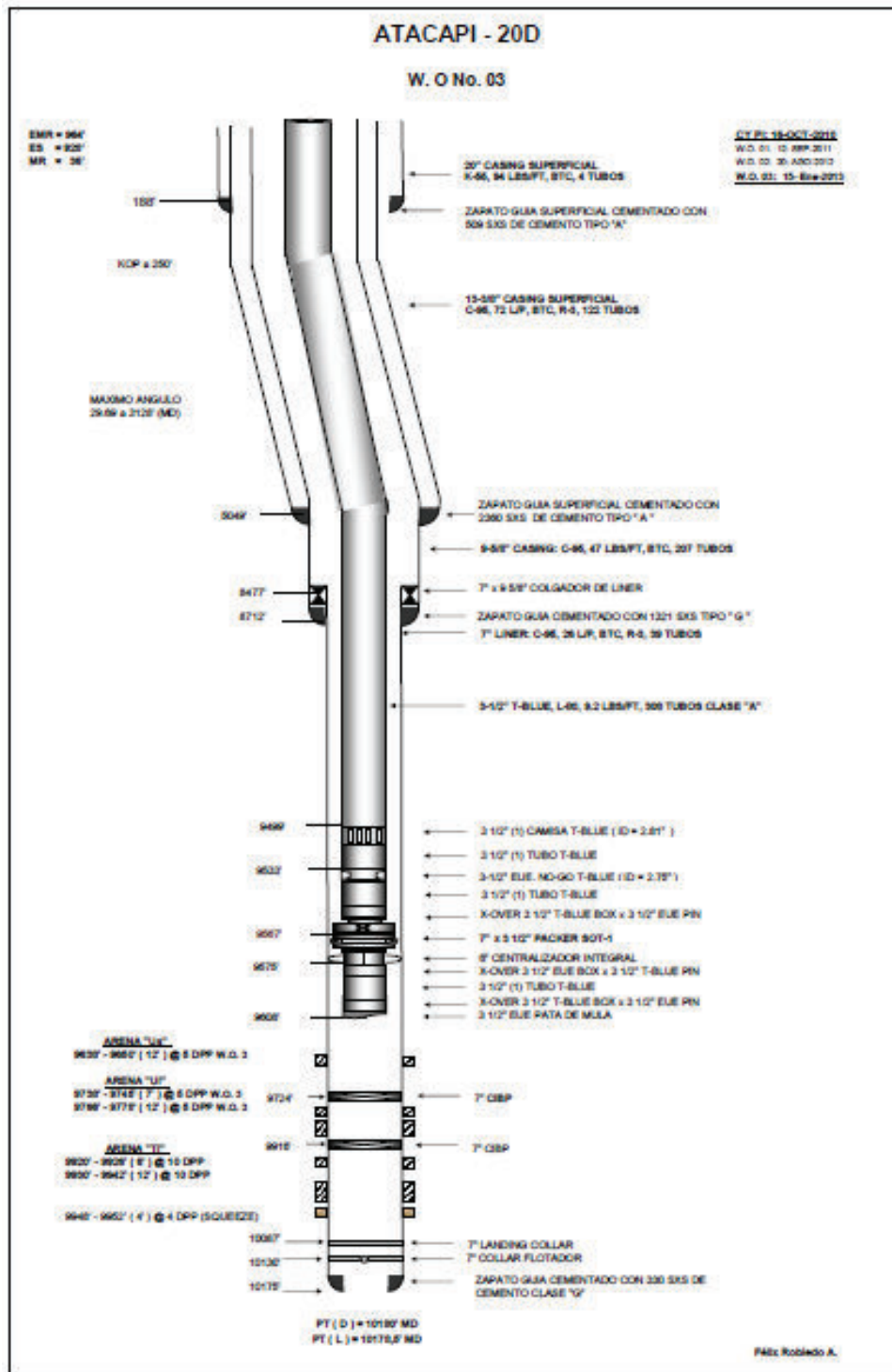
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2012

DIAGRAMA POZO ATC-019D



Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2013

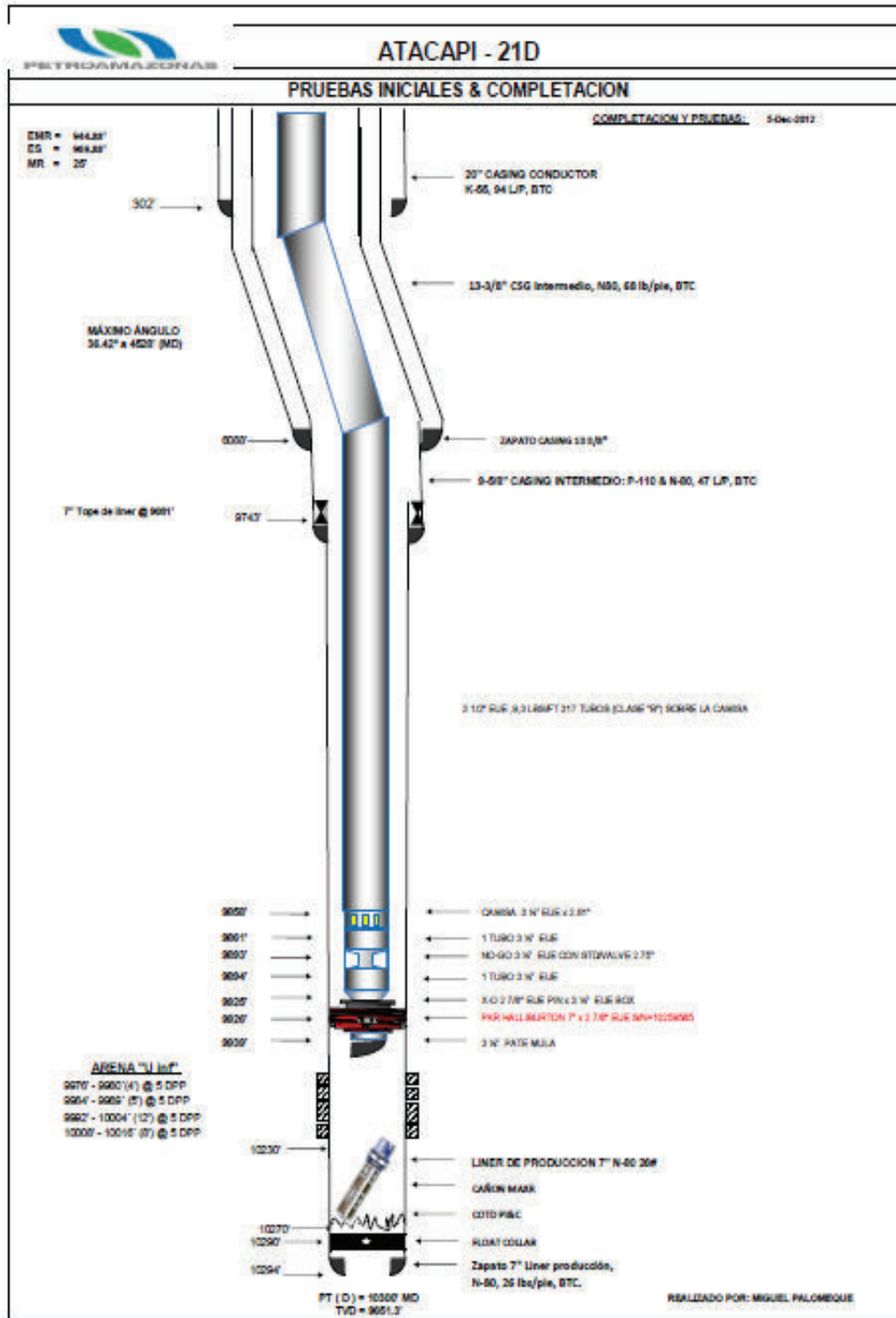
DIAGRAMA POZO ATC-020D



Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2013

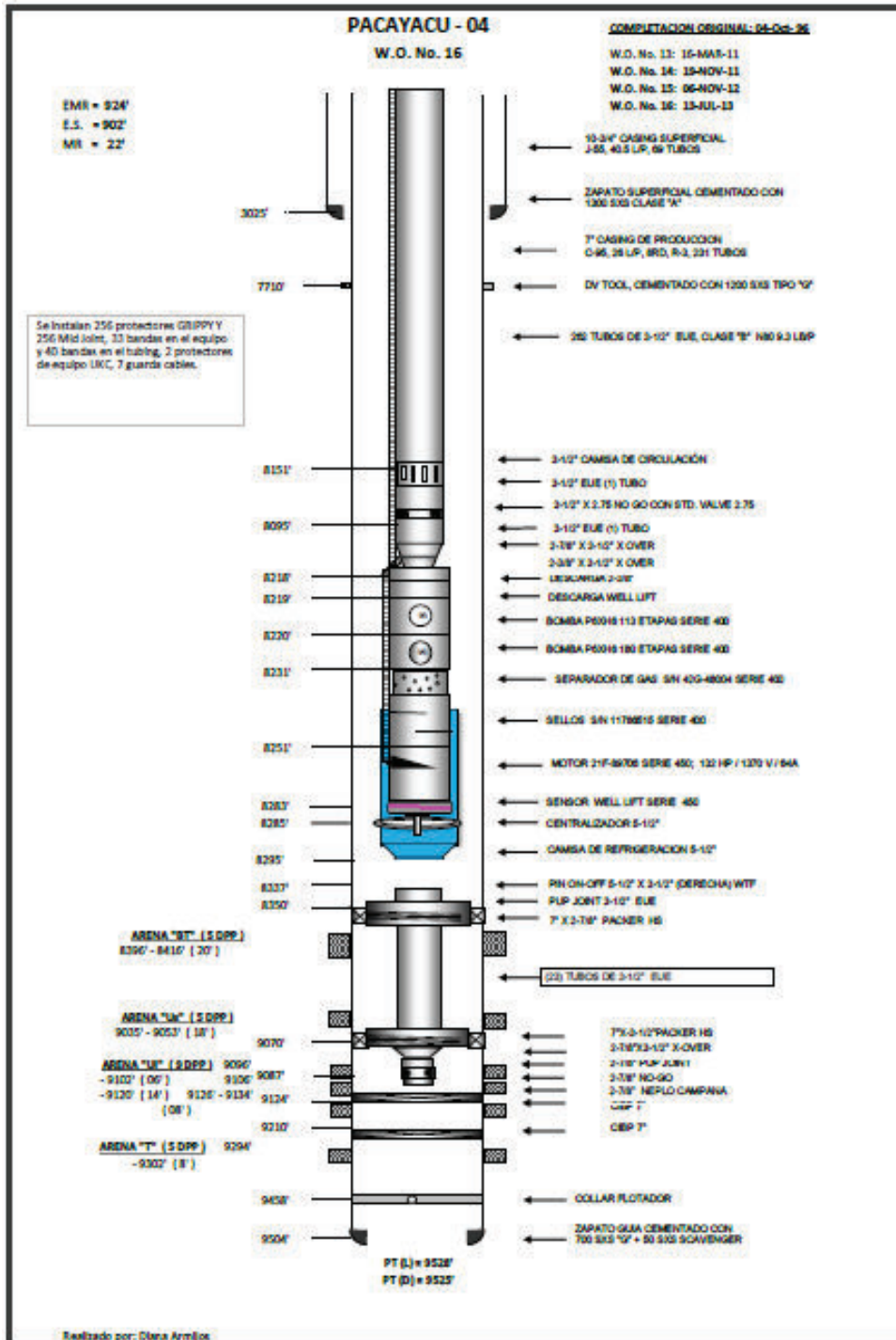


DIAGRAMA POZO ATC-021D



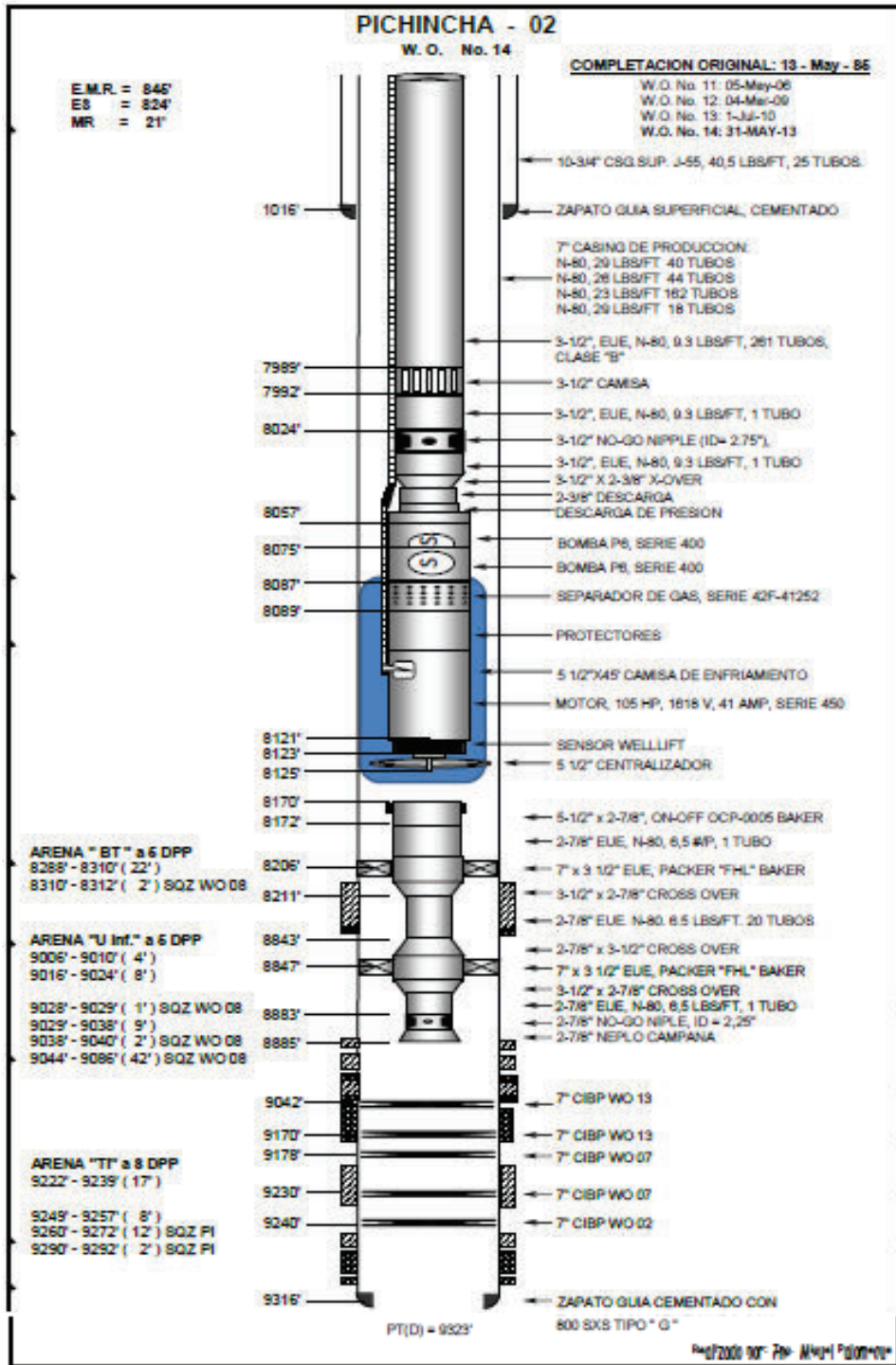
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2012

DIAGRAMA POZO PYA-004



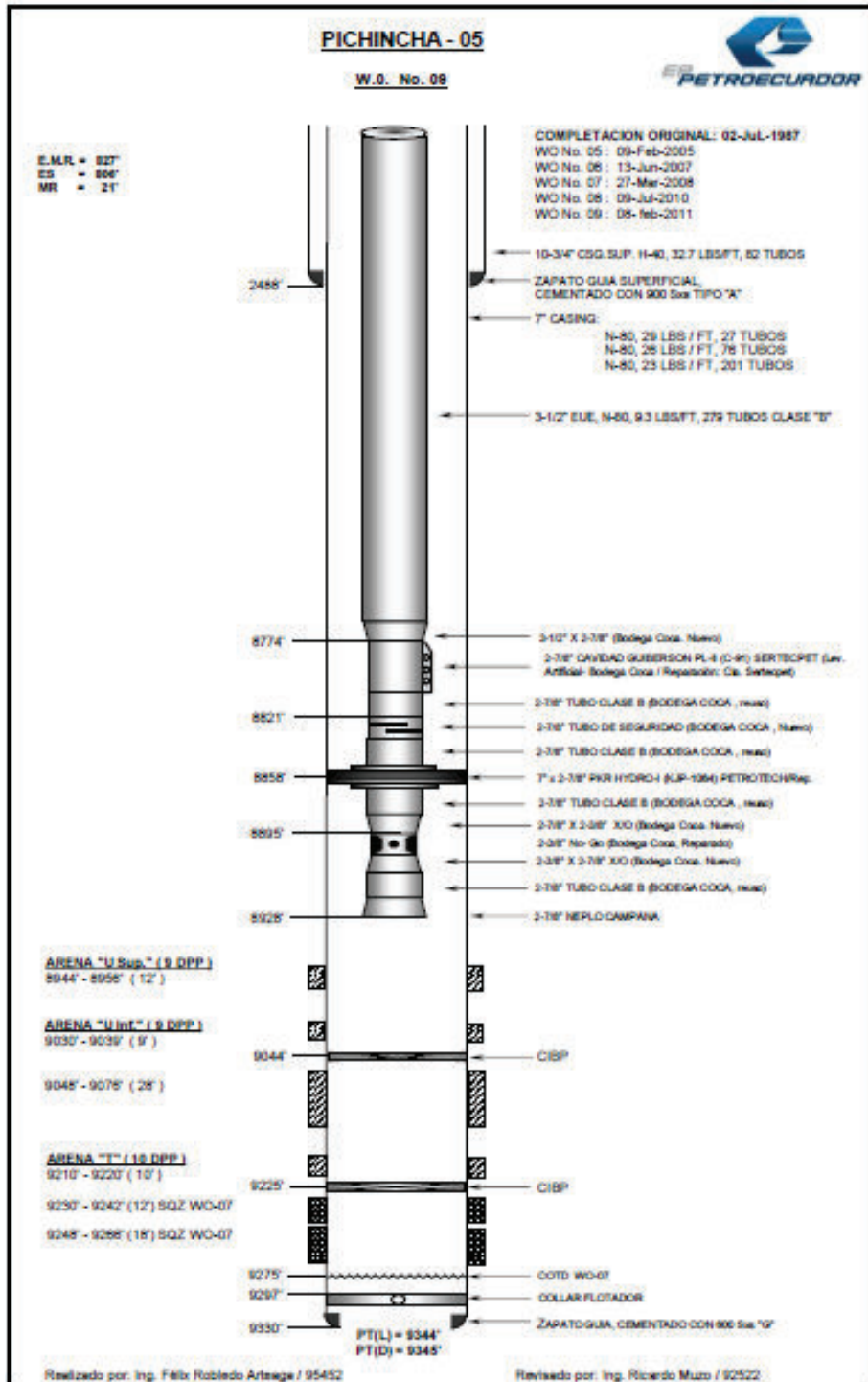
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2013

DIAGRAMA POZO PCH-002



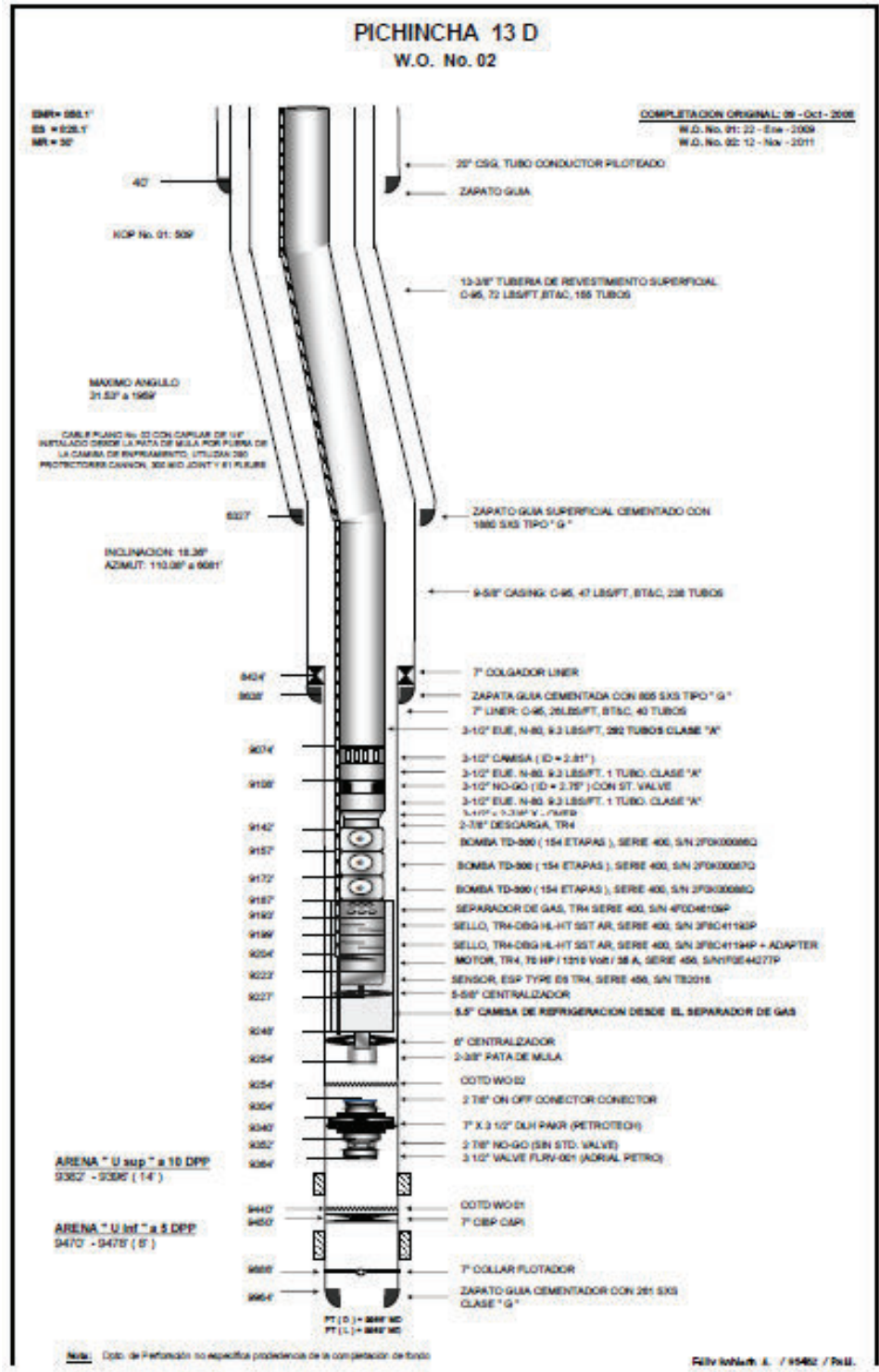
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2013

DIAGRAMA POZO PCH-005



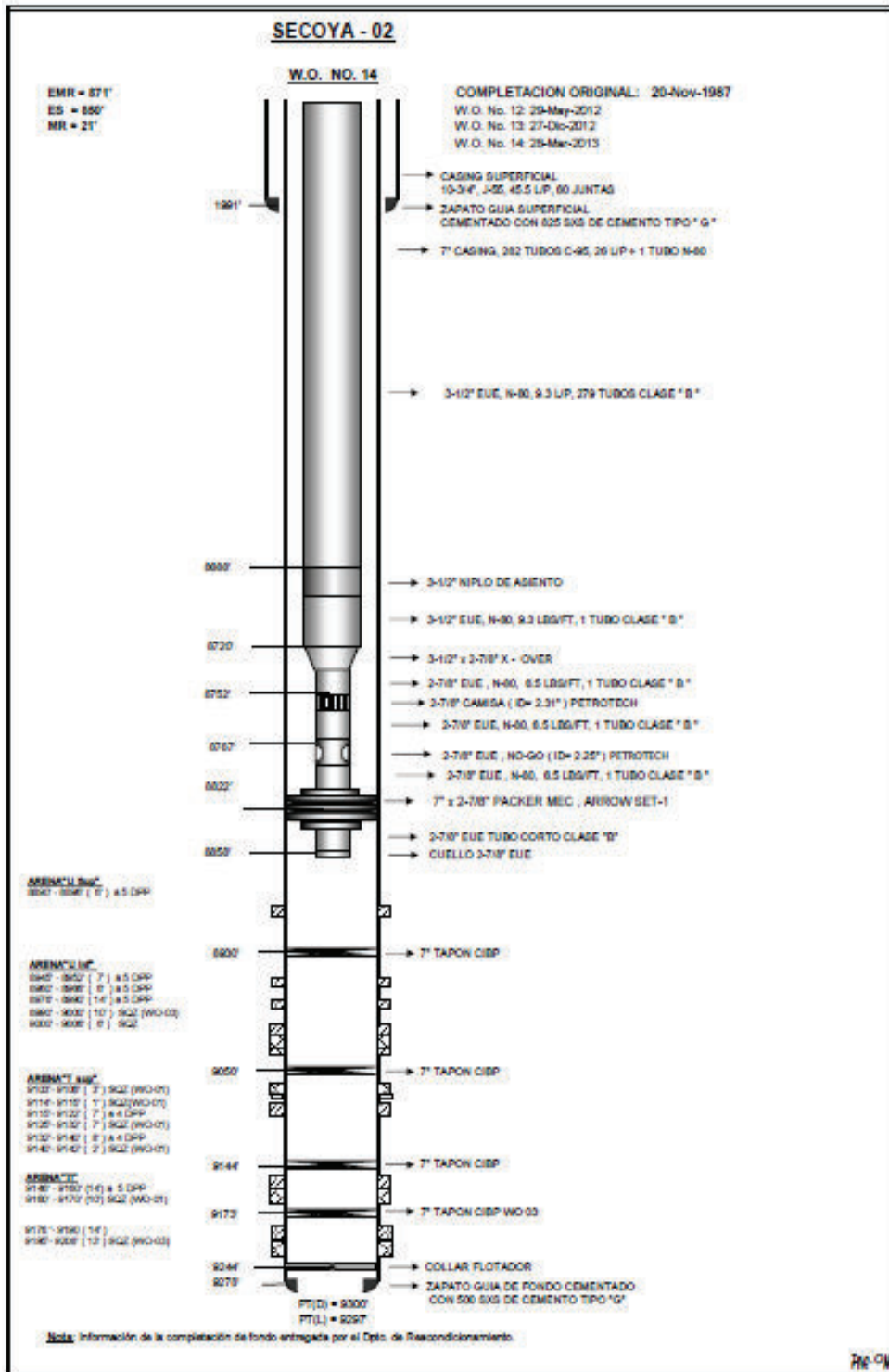
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2011

DIAGRAMA POZO PCH-013D



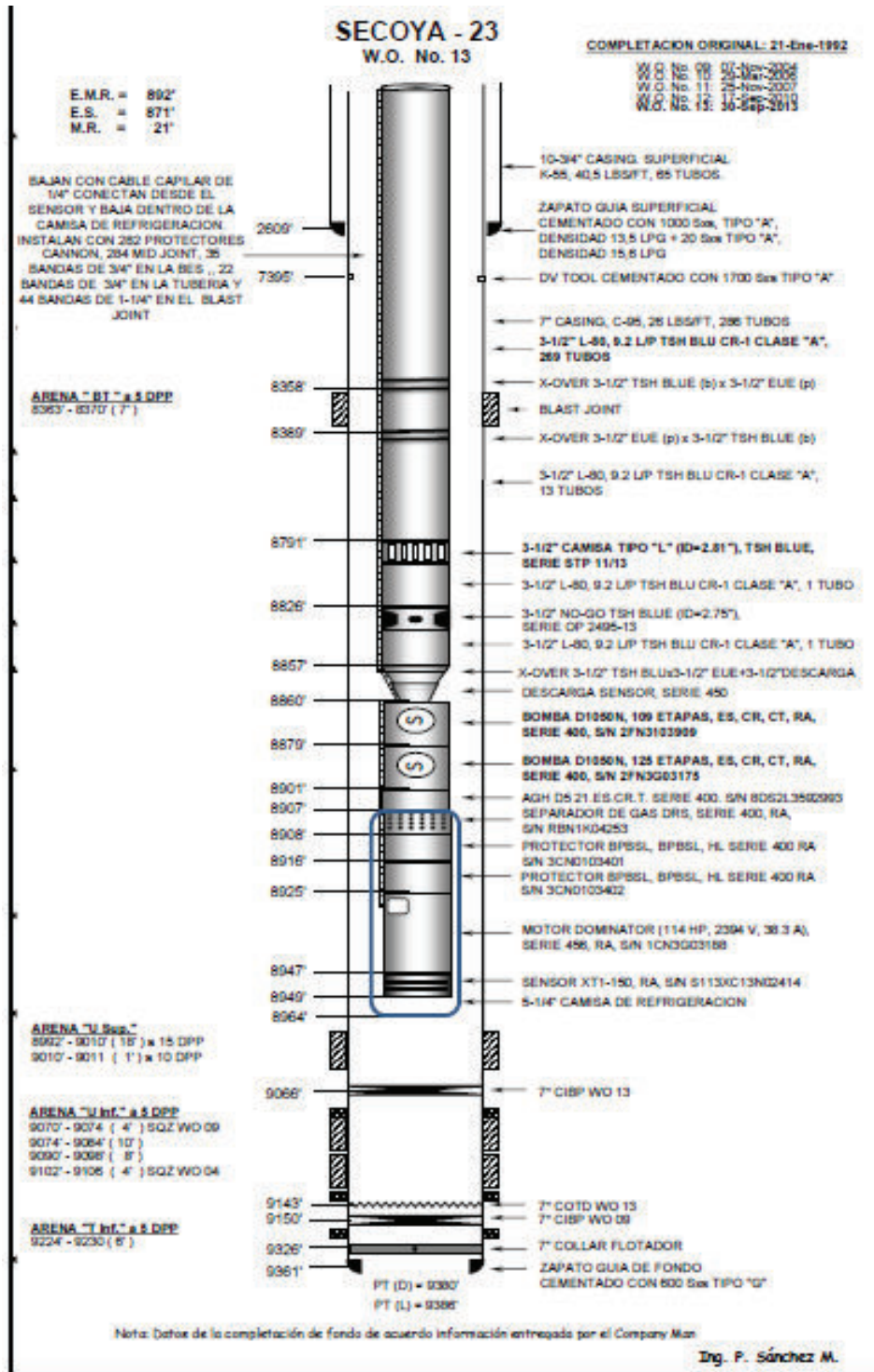
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2011

DIAGRAMA POZO SCY-002



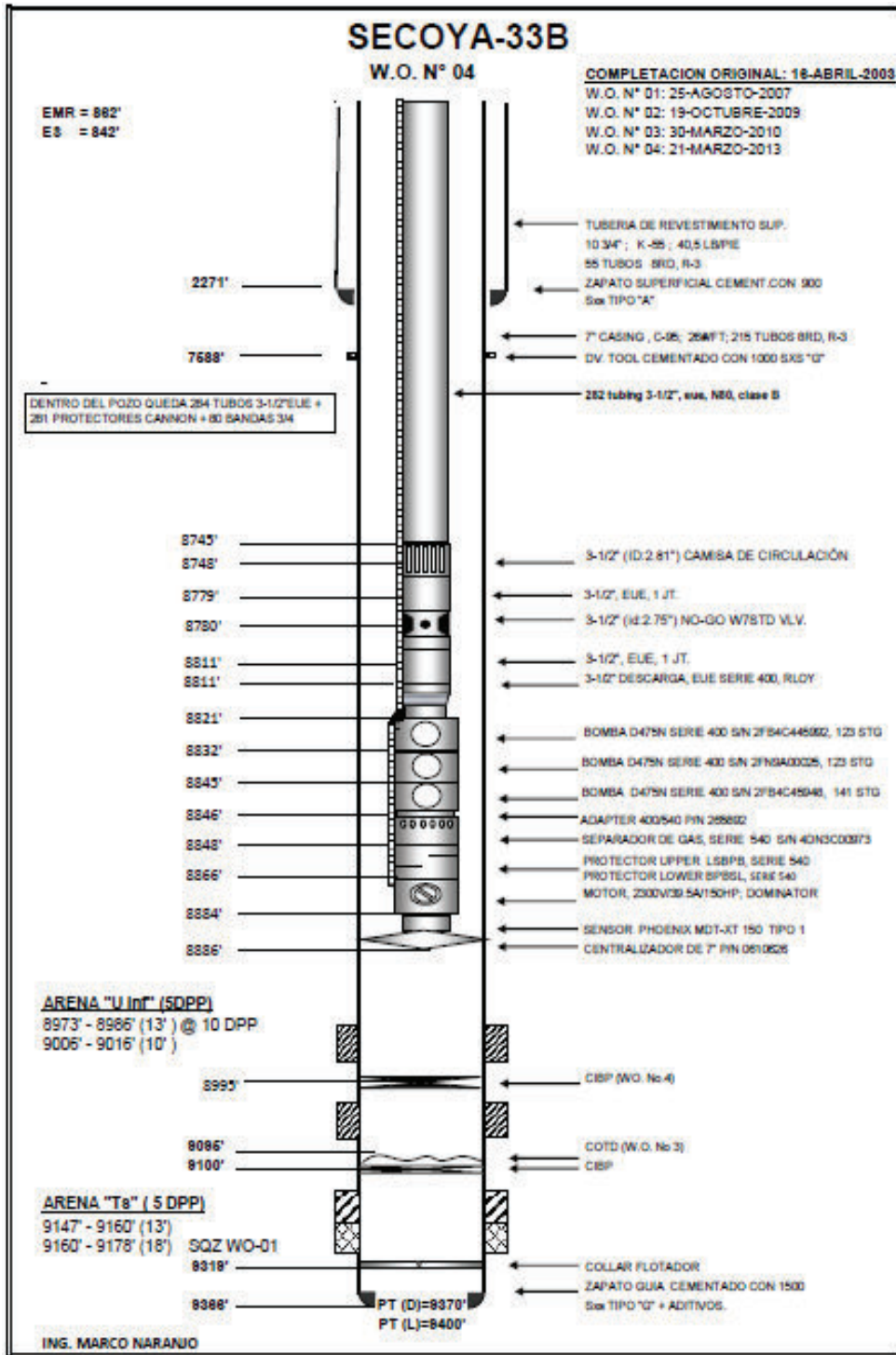
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2011

DIAGRAMA POZO SCY-023



Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2013

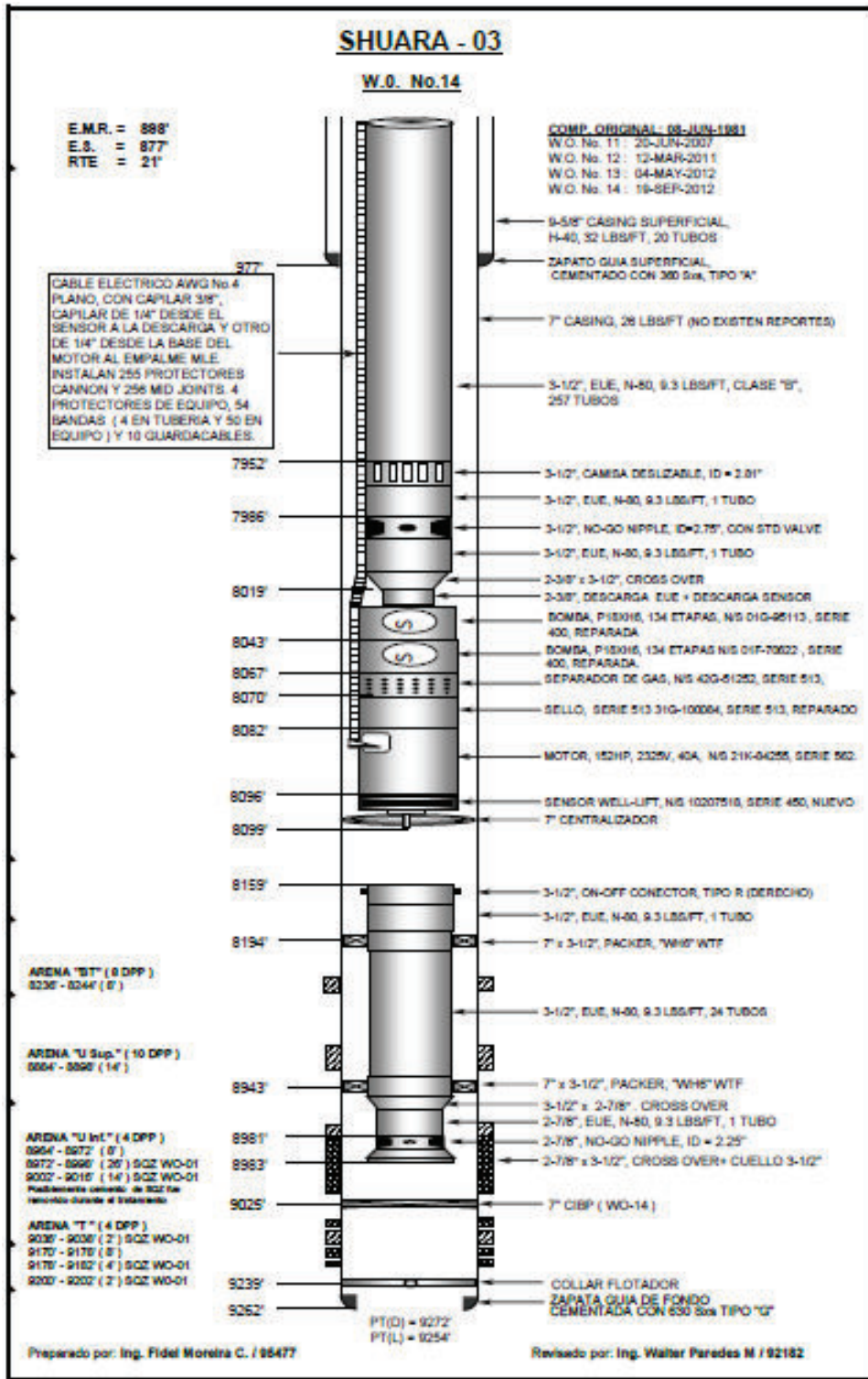
DIAGRAMA POZO SCY-033B



Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2013

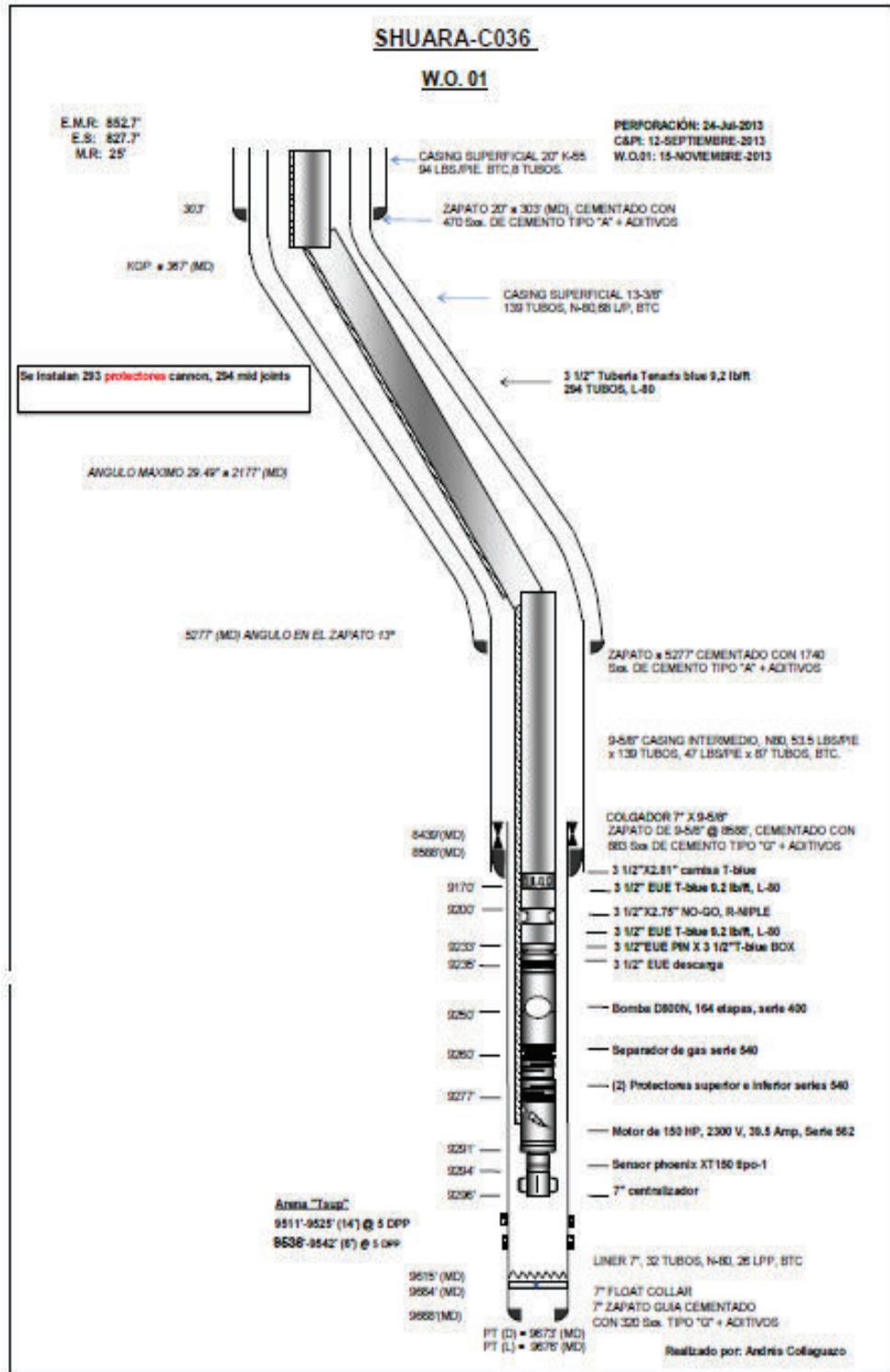


DIAGRAMA POZO SHA-003



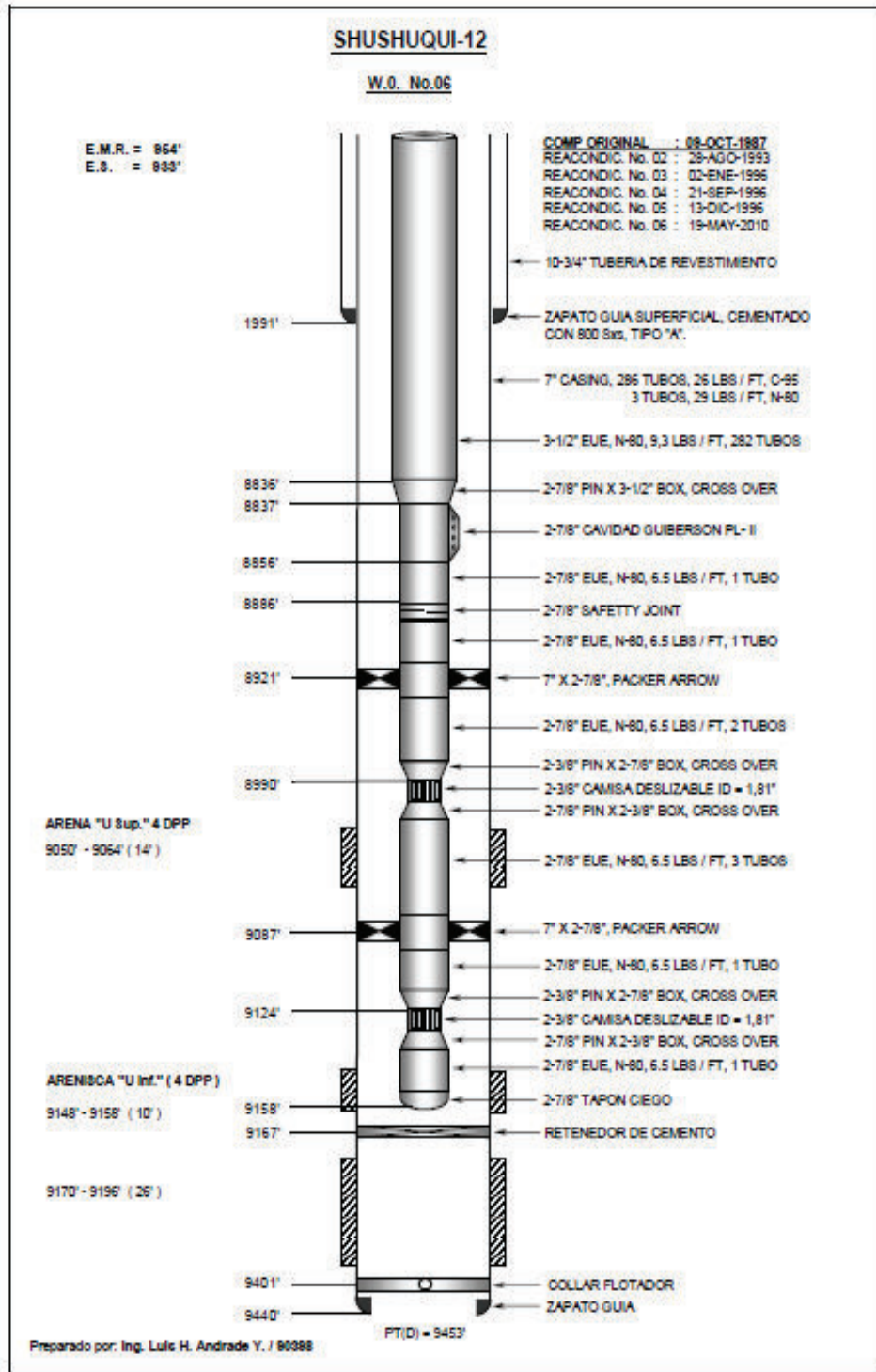
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2012

DIAGRAMA POZO SHA-036D



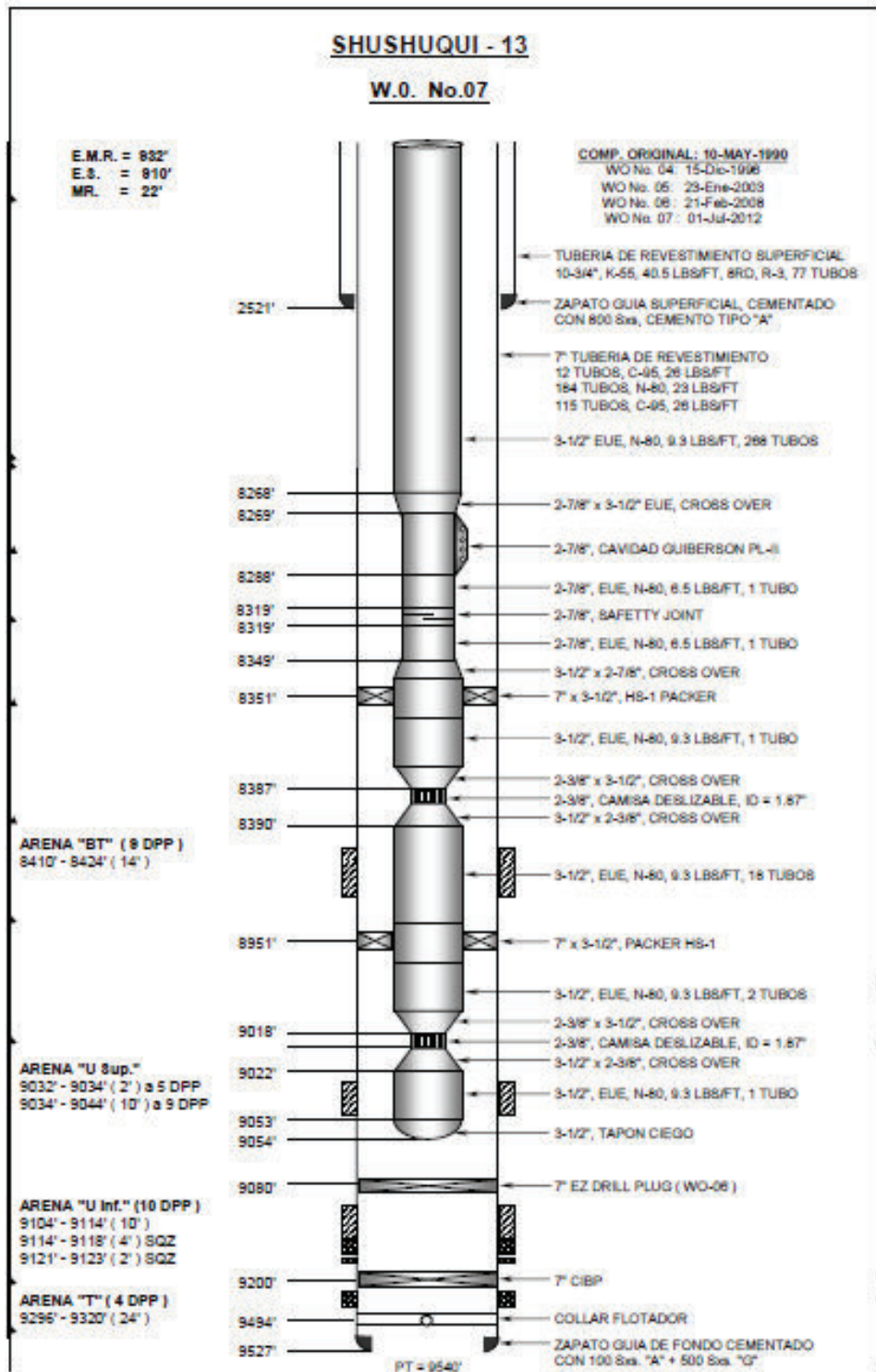
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2013

DIAGRAMA POZO SHH-012



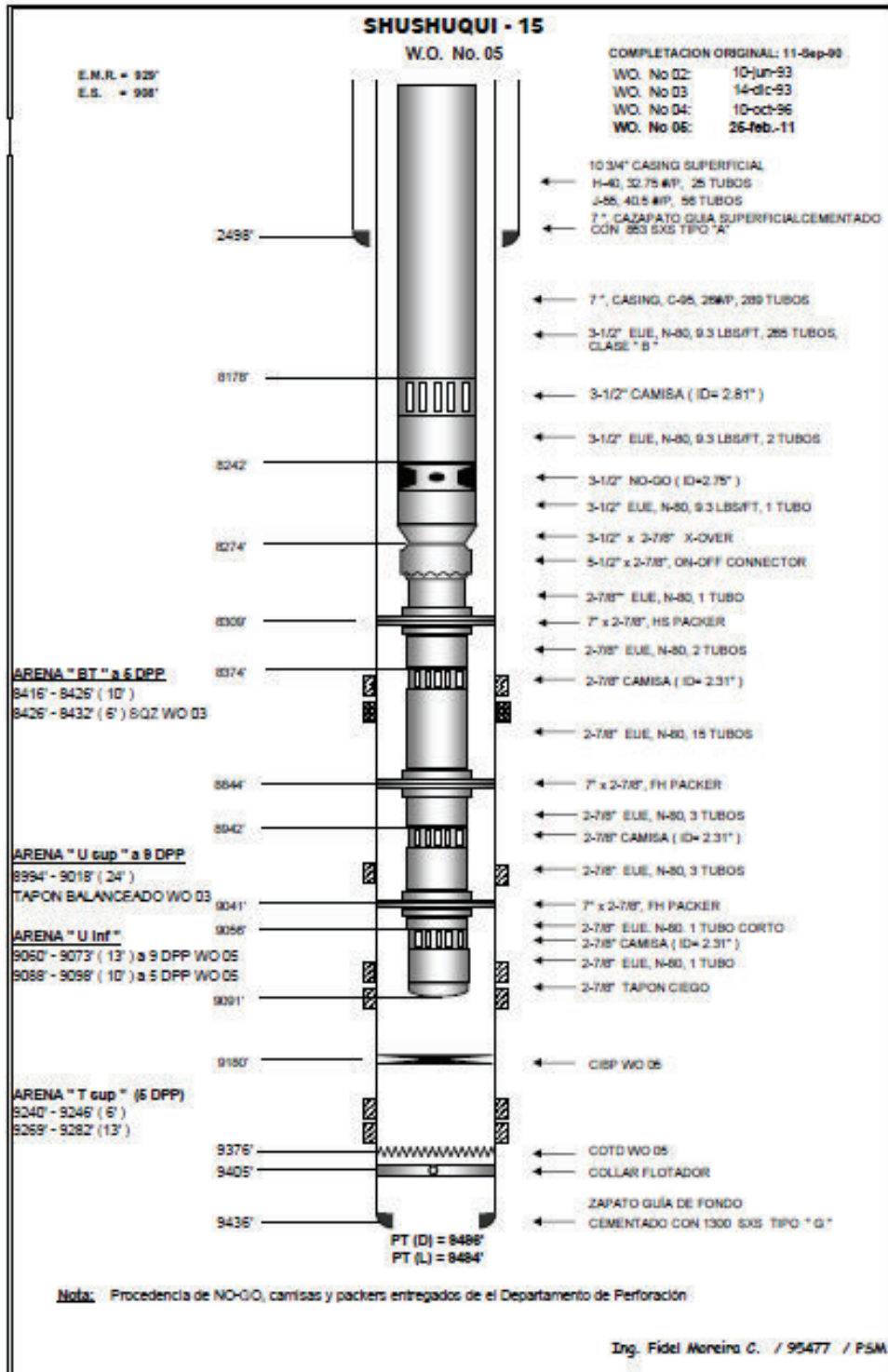
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2010

DIAGRAMA POZO SHH-013



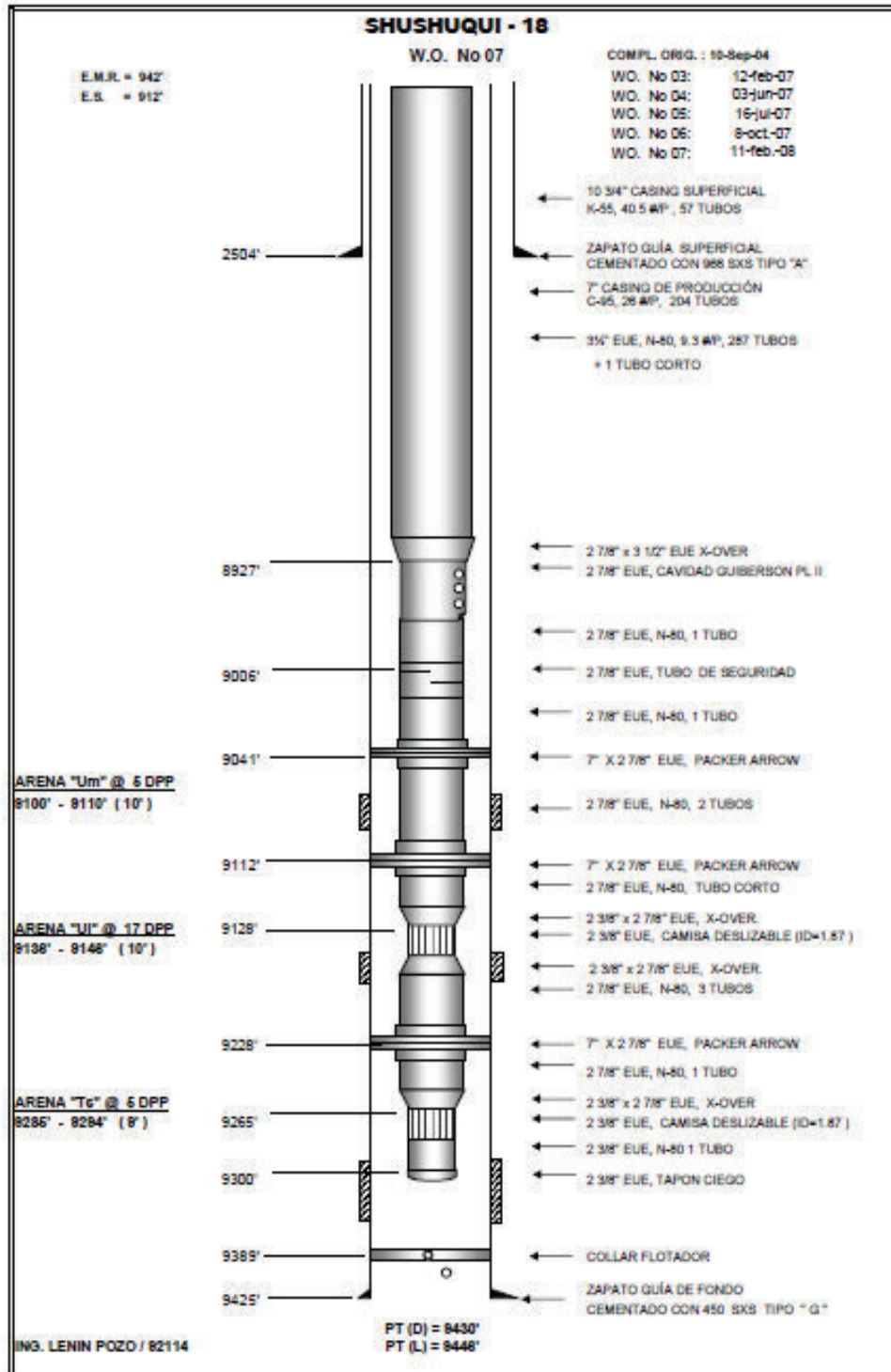
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2012

DIAGRAMA POZO SHH-015



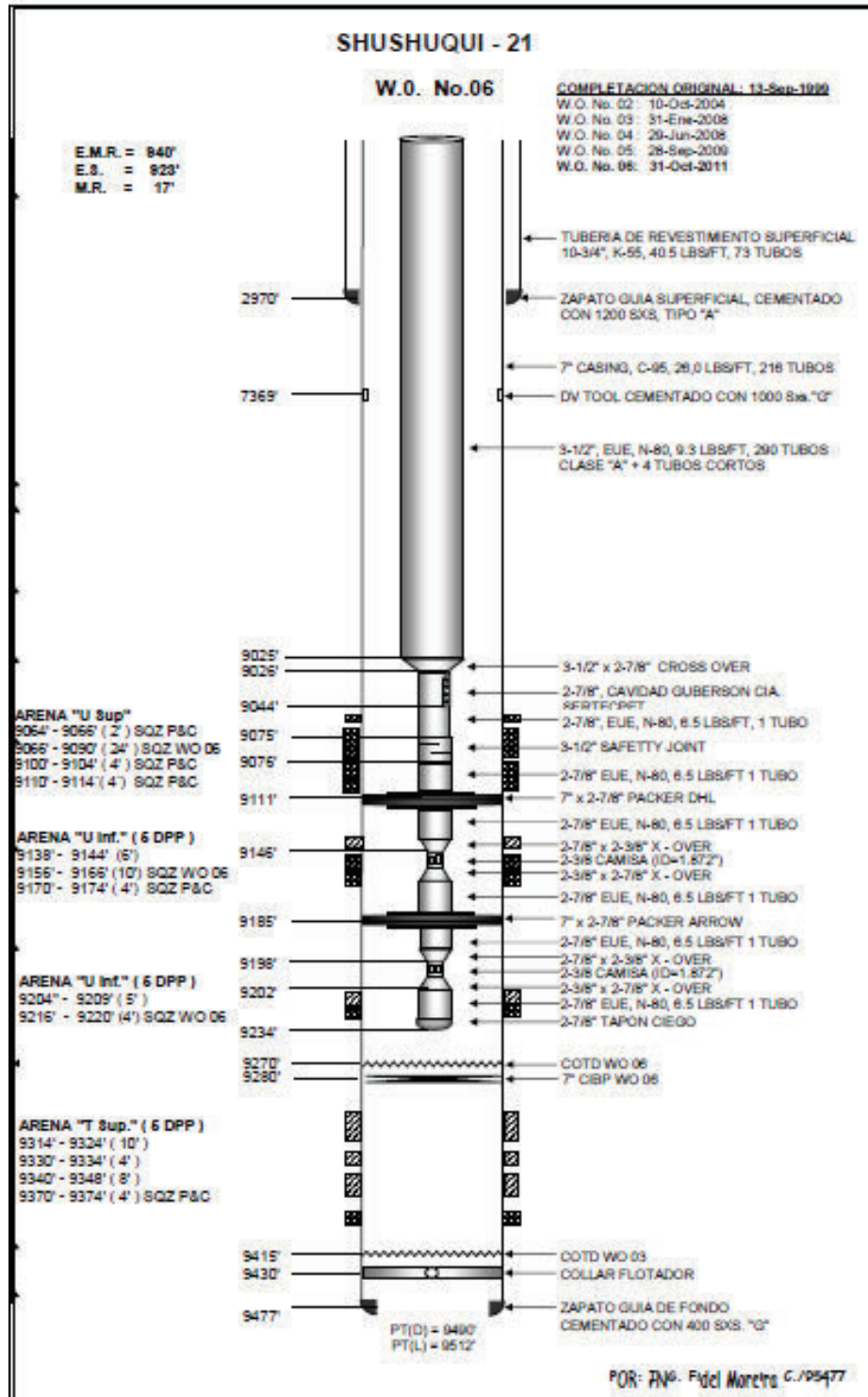
Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2011

DIAGRAMA POZO SHH-018



Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2008

DIAGRAMA POZO SHH-021

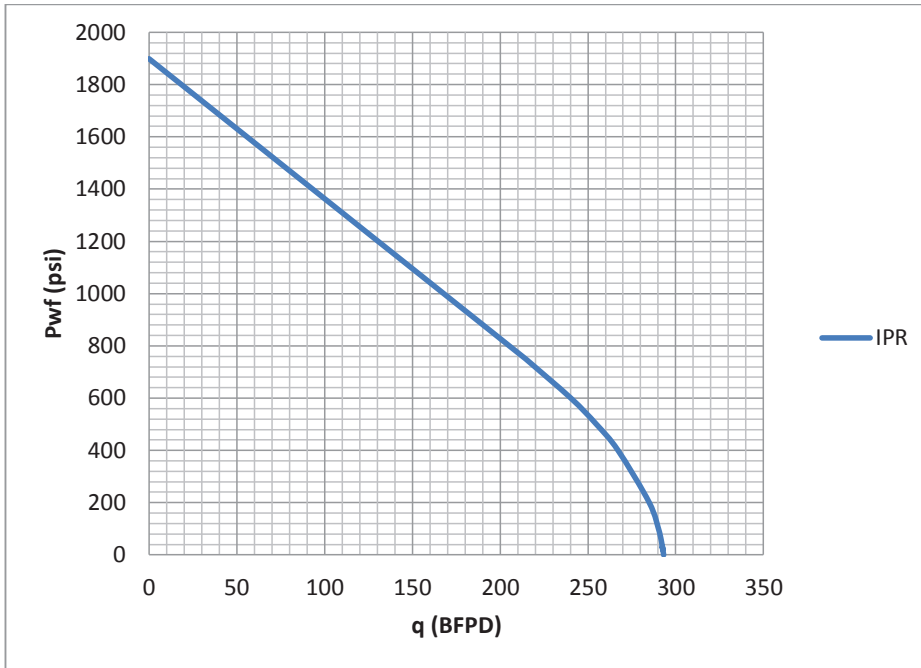


Fuente: Ingeniería de Operaciones del Área Libertador – PAM, 2011

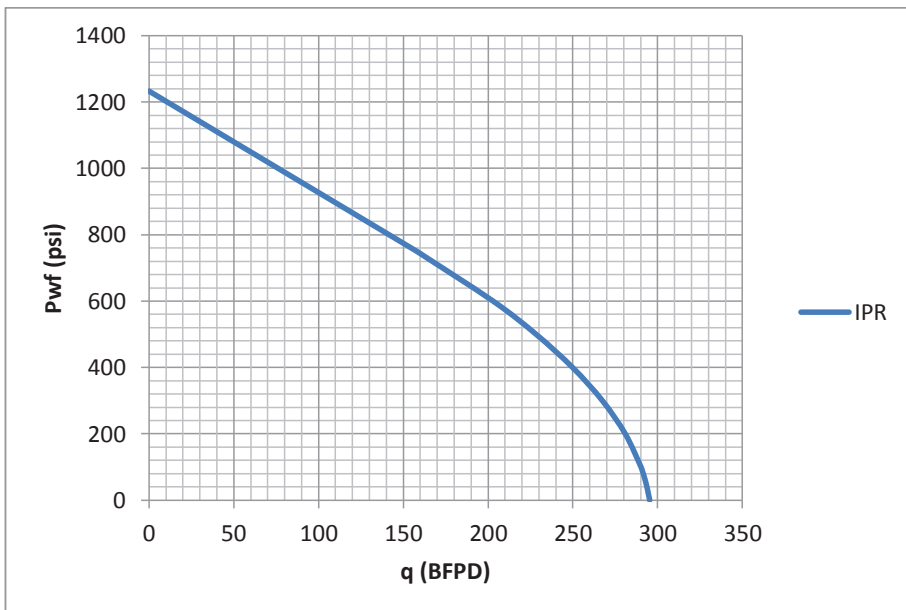




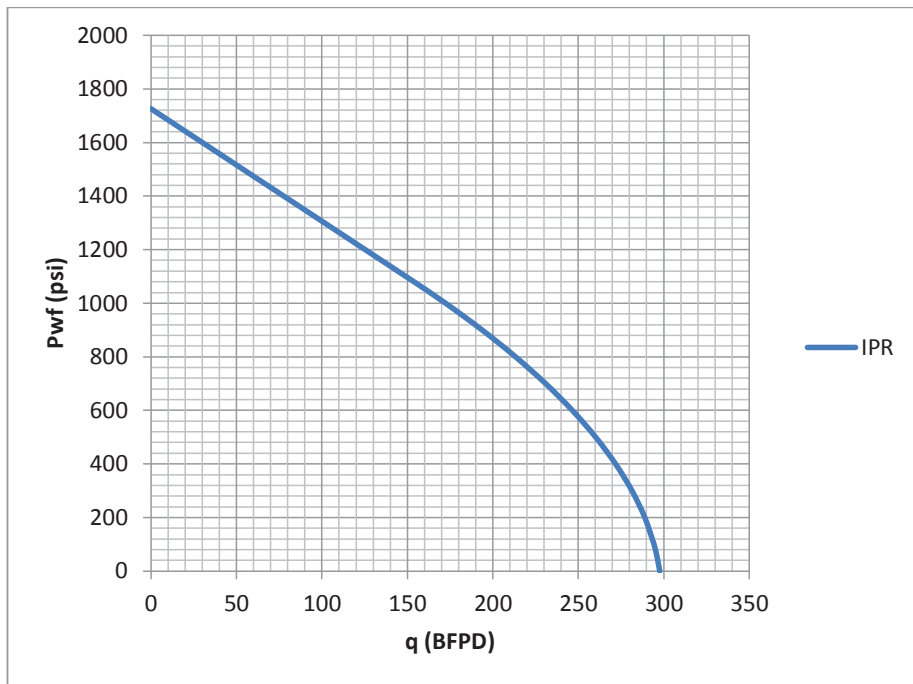
**ANEXO 3**  
**CURVAS IPR DE LOS POZOS SELECCIONADOS**

**CURVA IPR ATC-007**

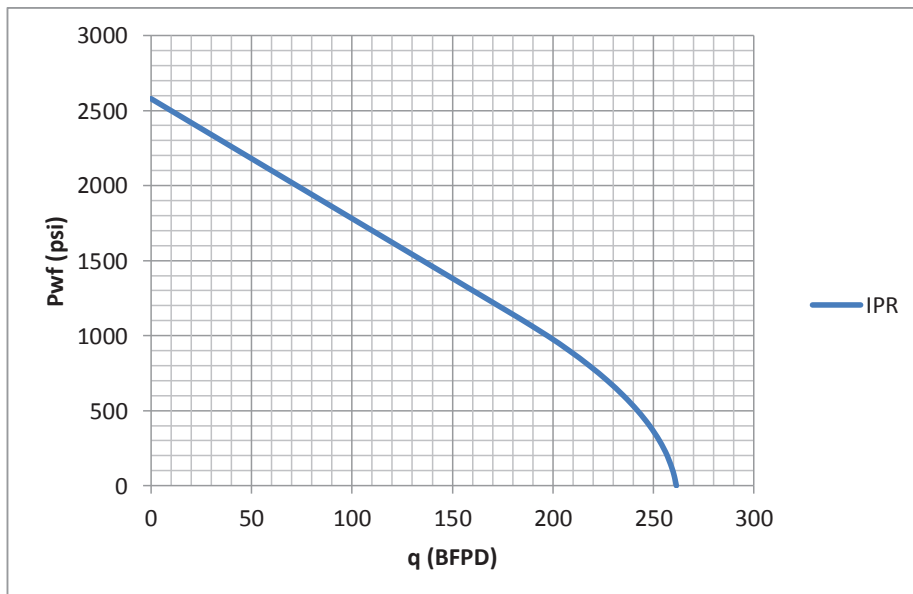
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR ATC-008**

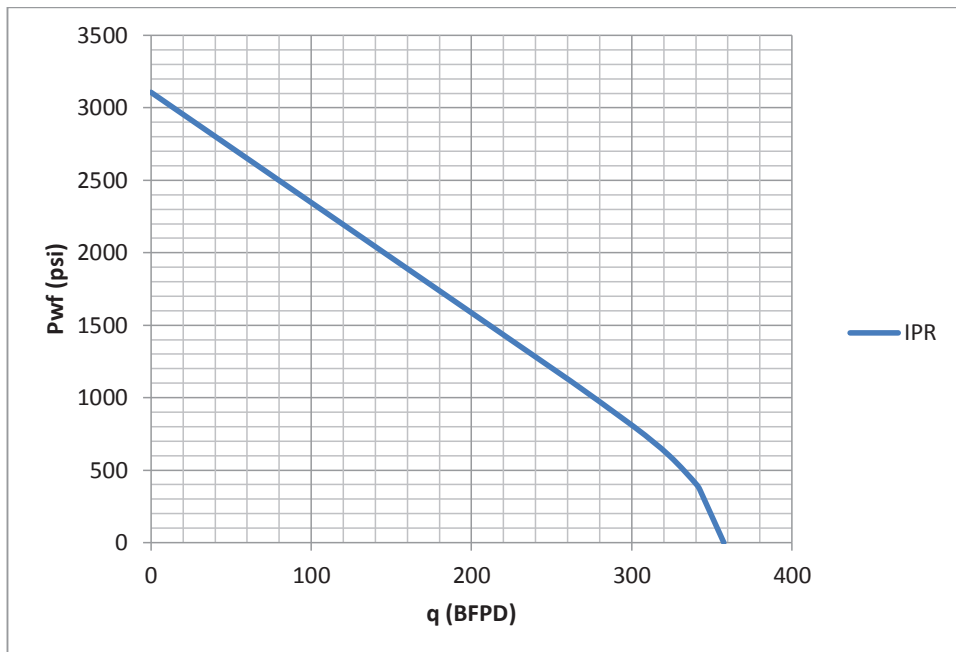
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR ATC-014**

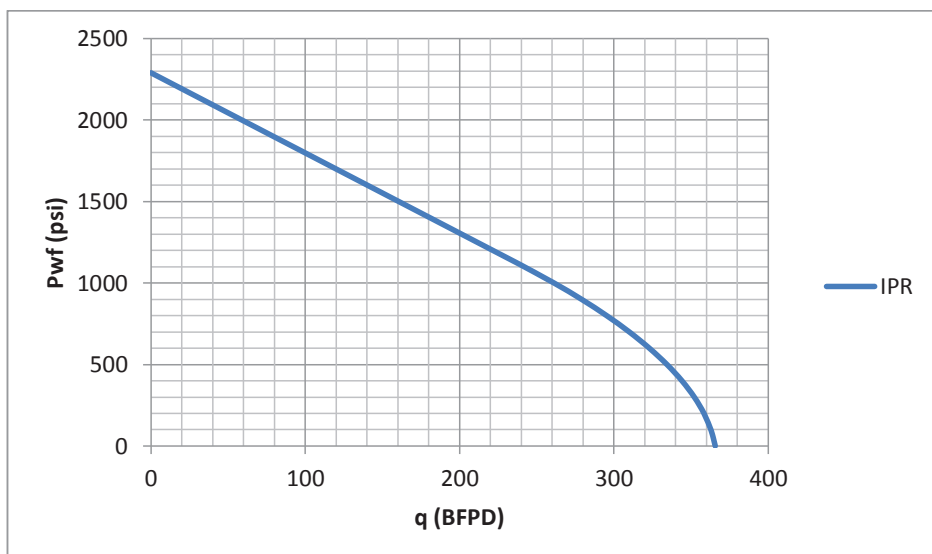
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR ATC-016**

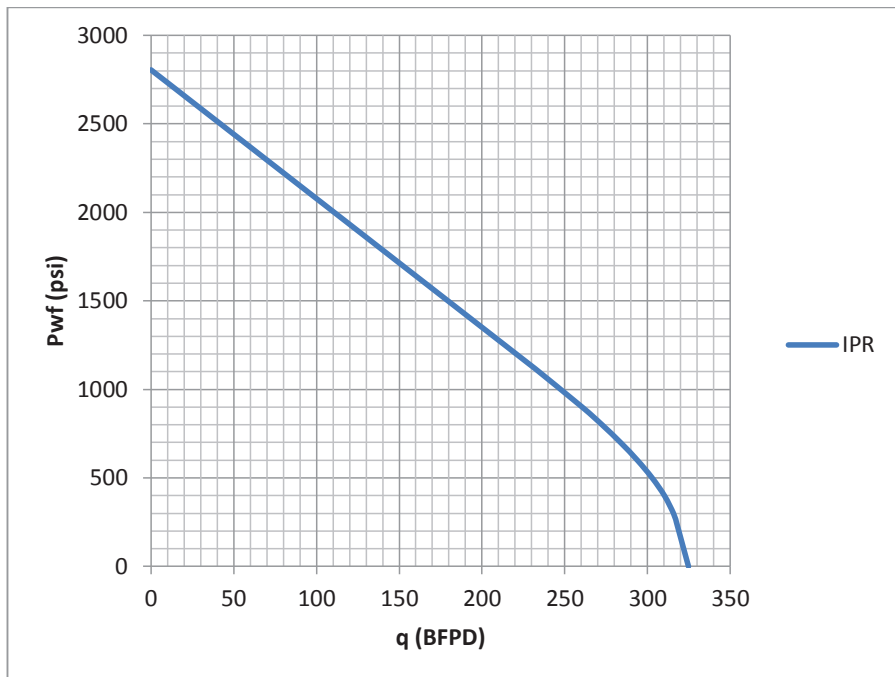
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR ATC-019D**

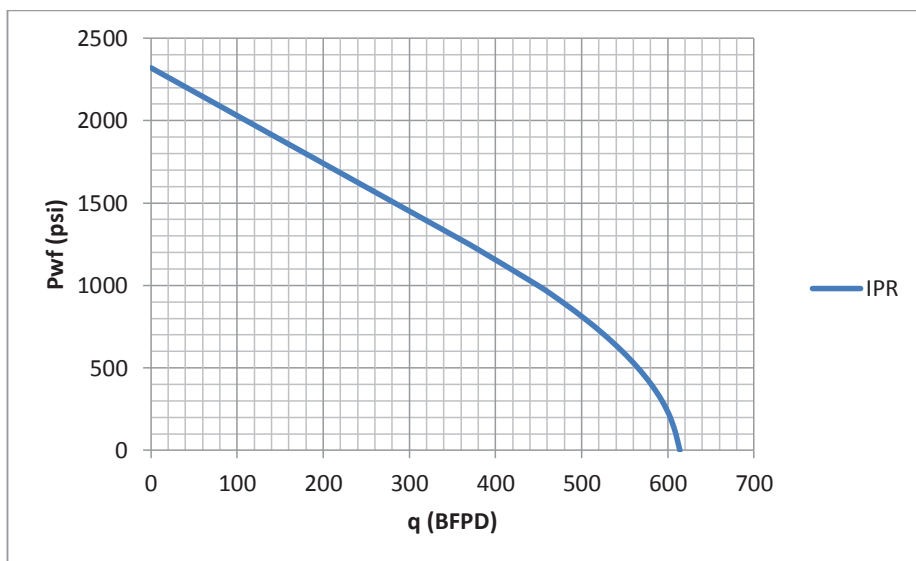
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR ATC-020D**

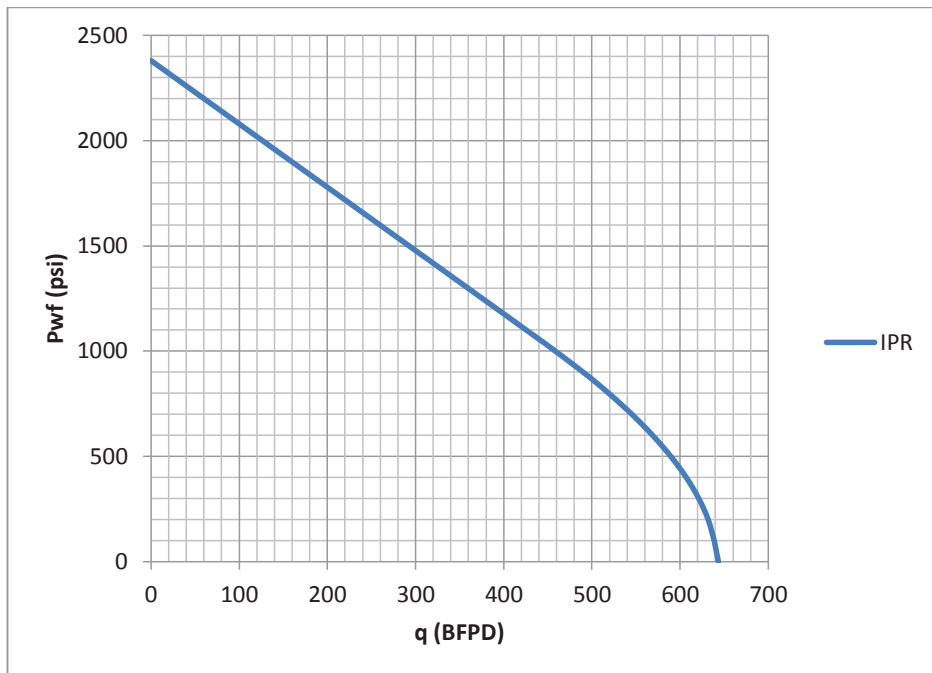
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR ATC-021D**

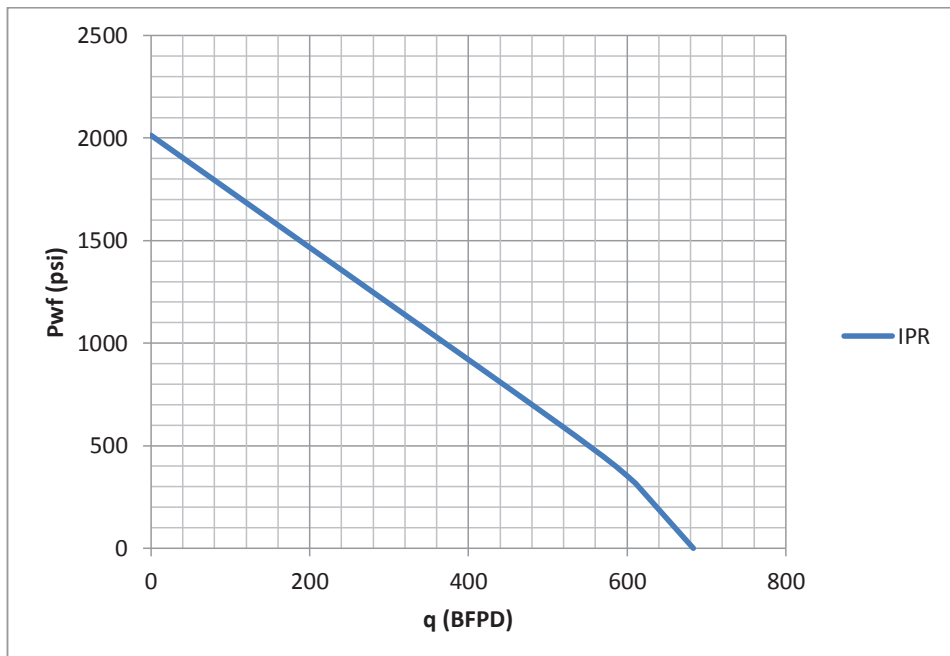
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR PCY004**

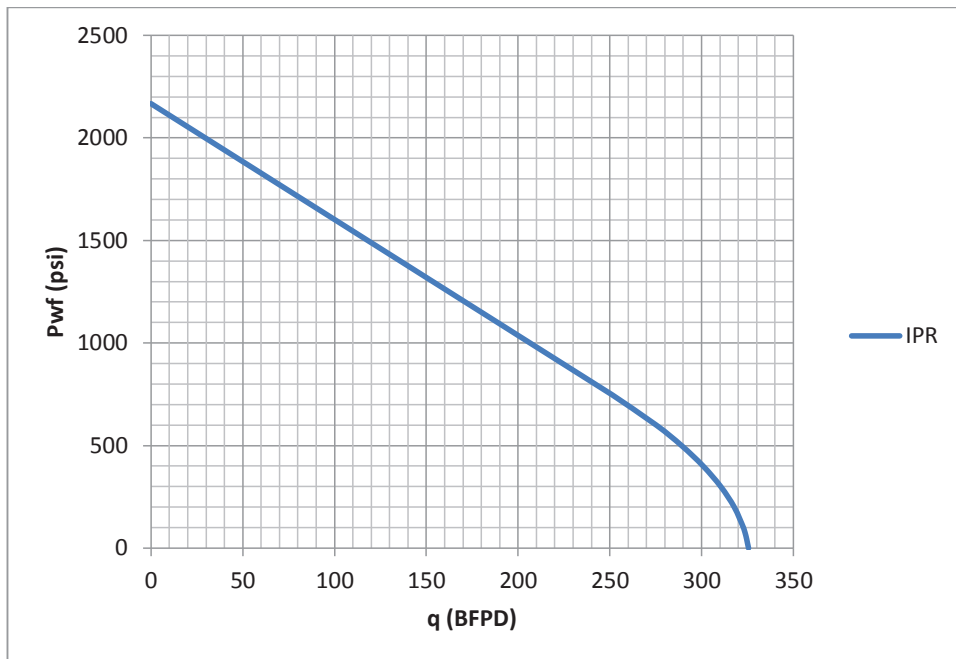
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR PCH 002**

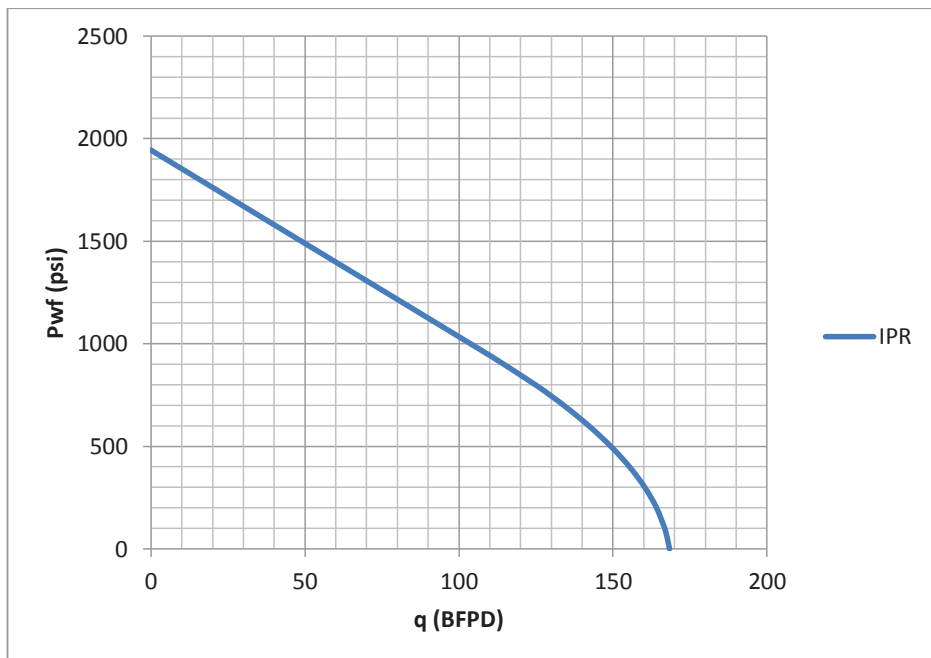
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR PCH 005**

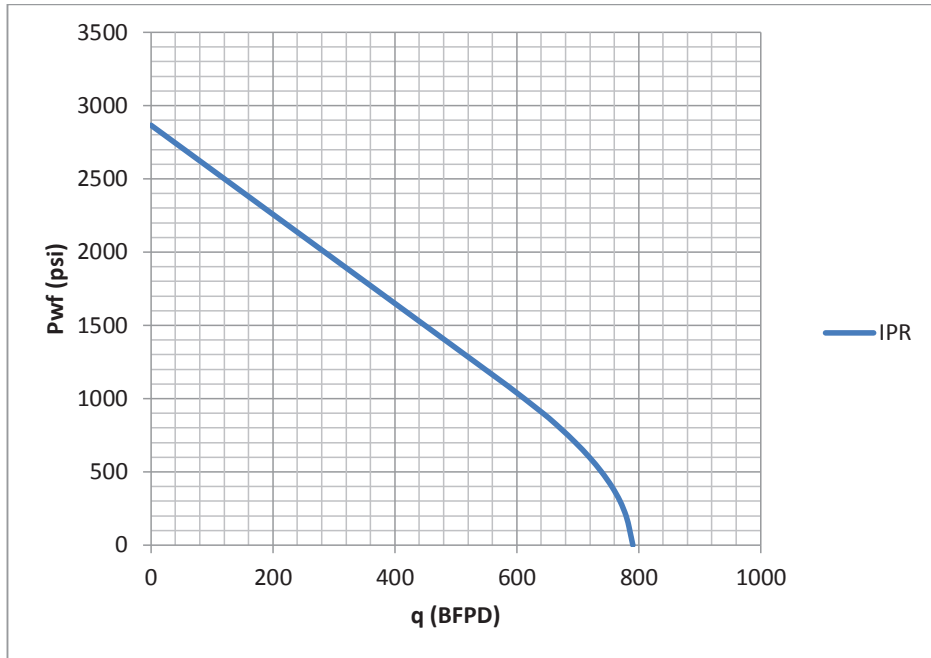
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR PCH – 013D**

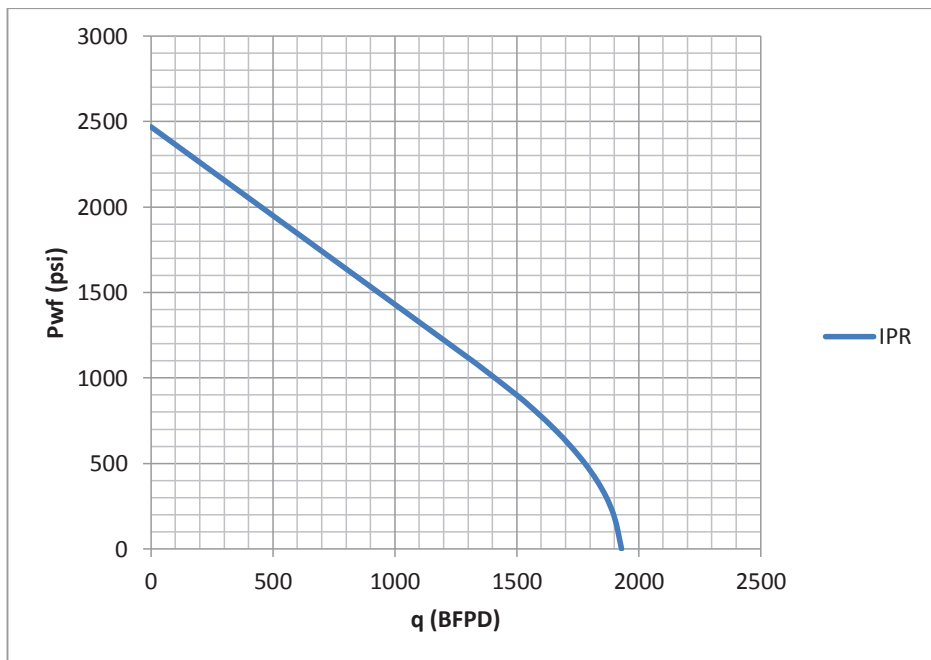
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR SCY – 002**

Elaboración: José Brasales

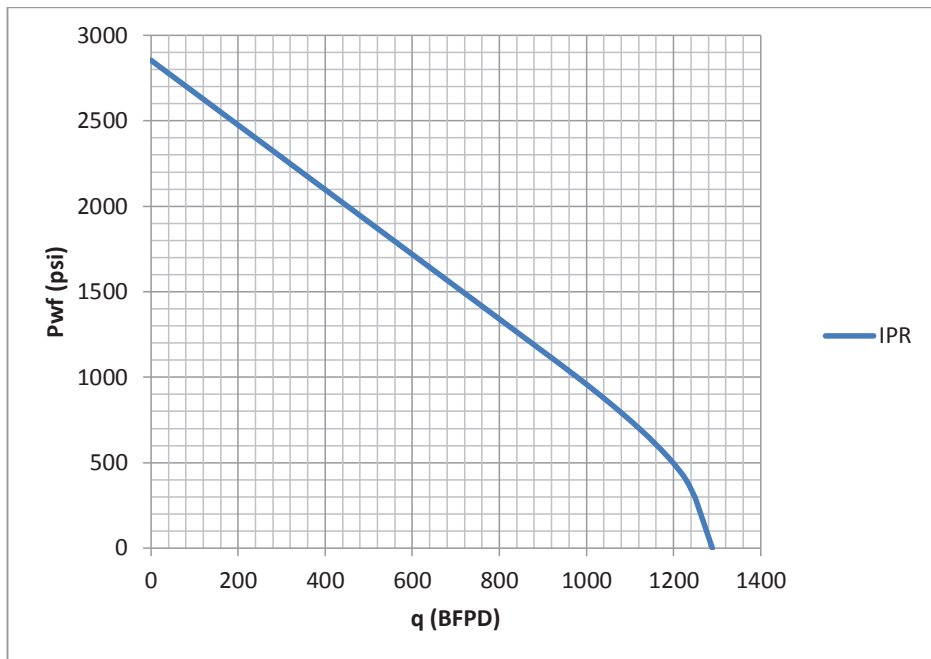
**CURVA IPR SCY – 023**

Elaboración: José Brasales

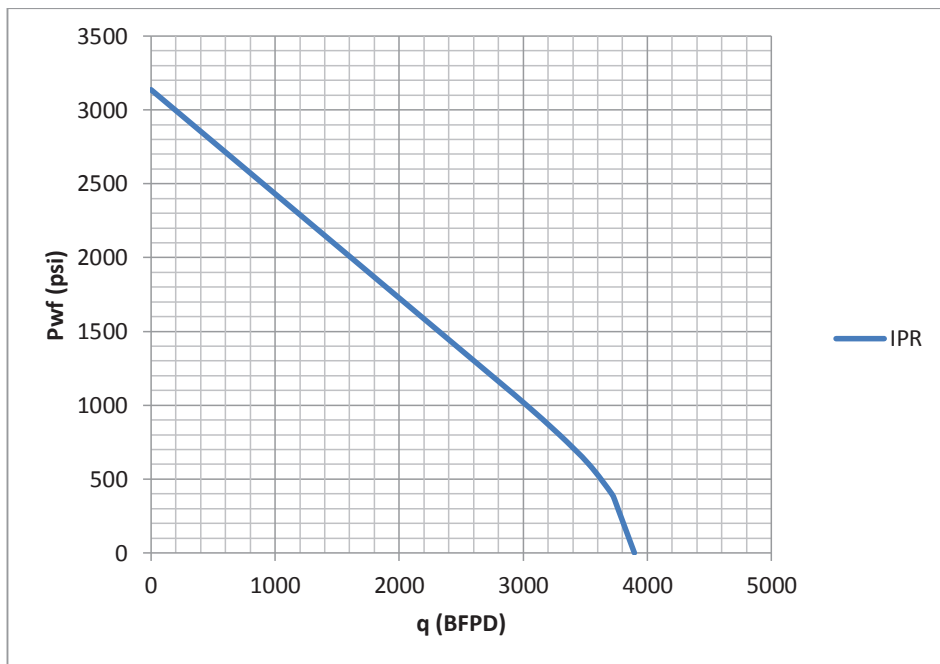
**CURVA IPR SCY – 033**

Elaboración: José Brasales

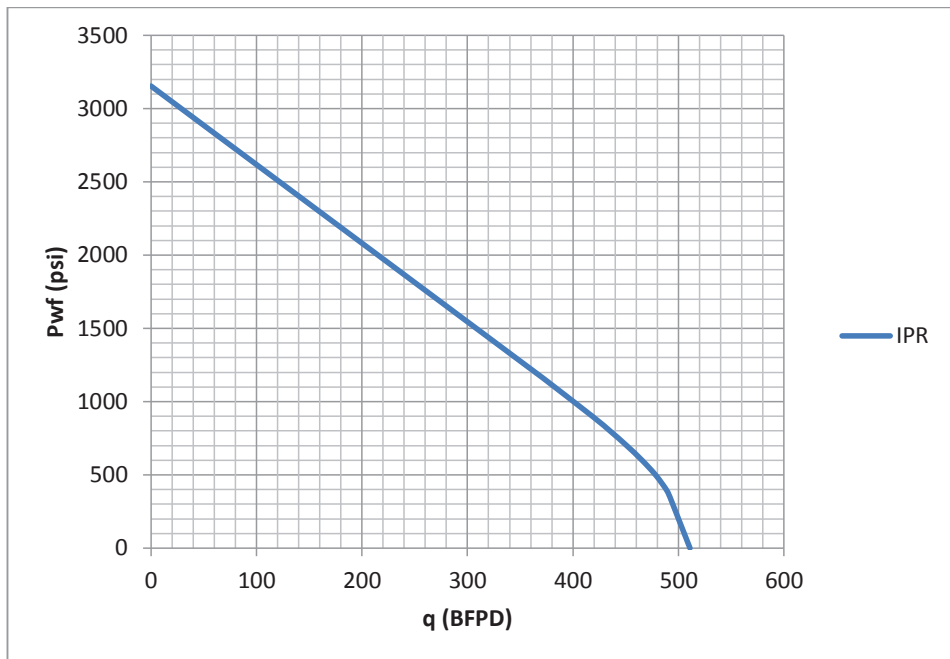


**CURVA IPR SHA – 003**

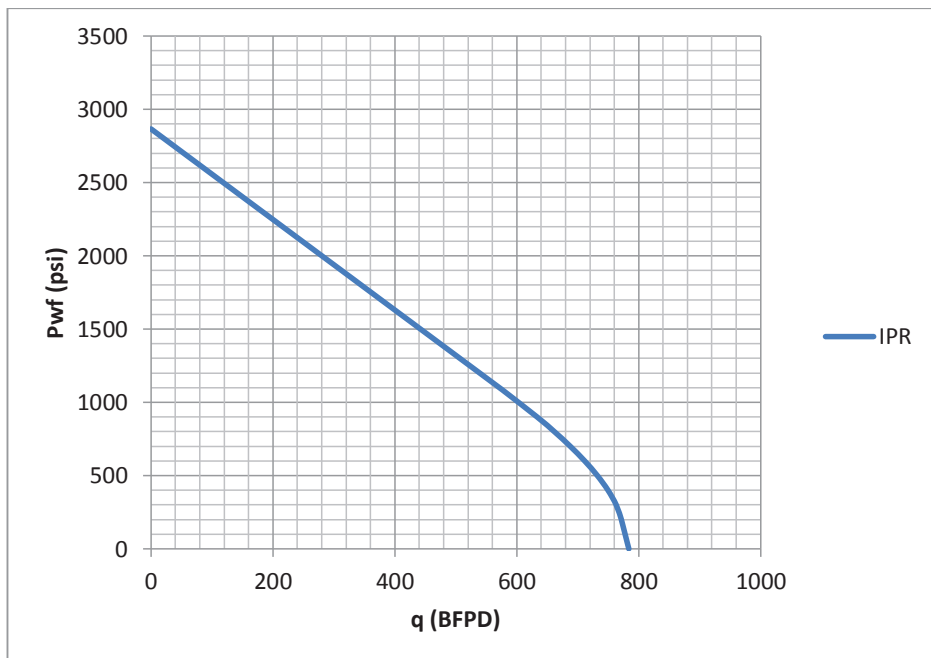
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR SHA – 036**

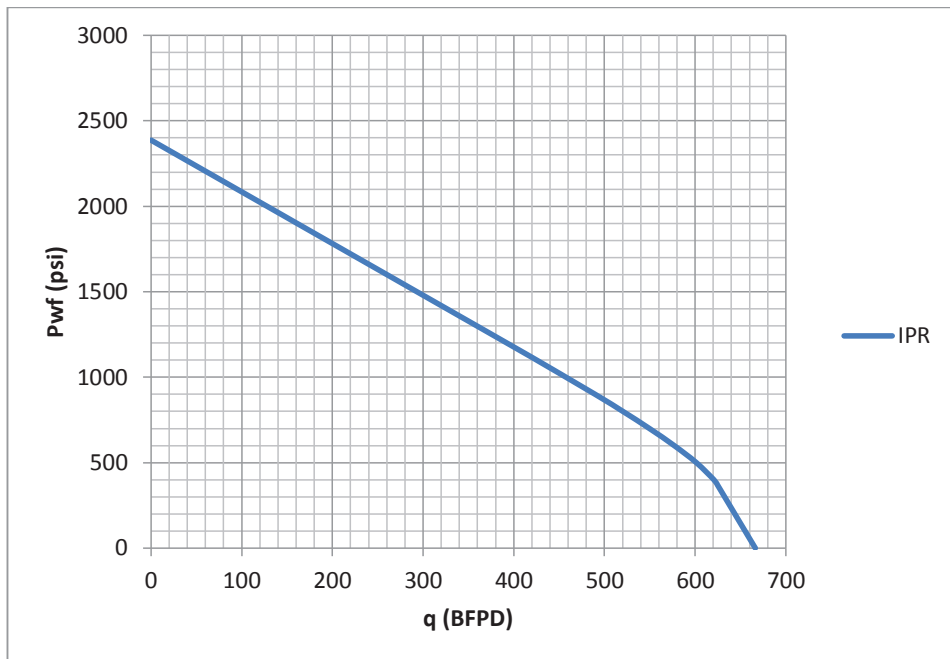
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR SHH-012**

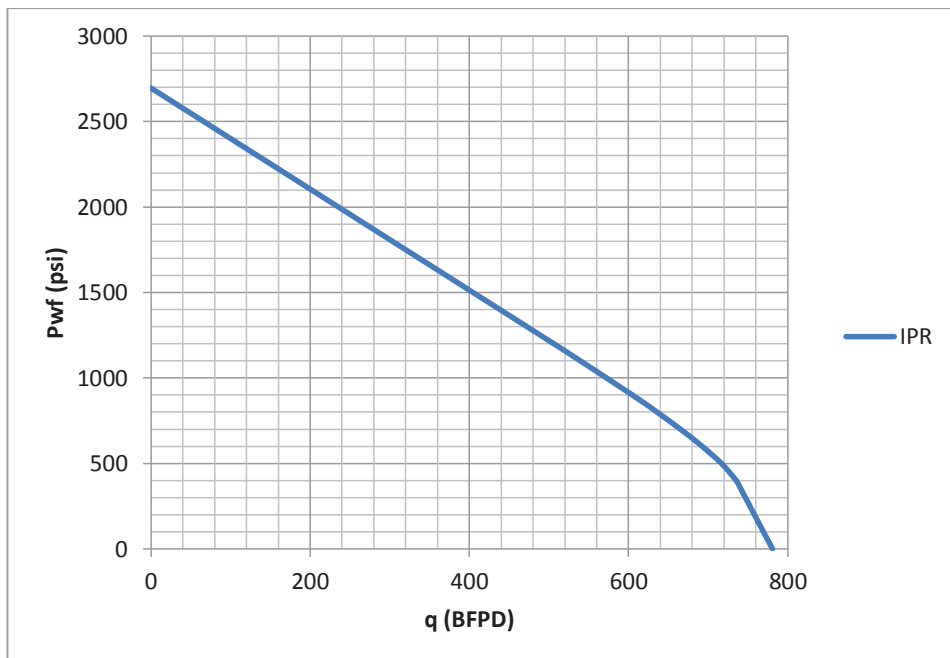
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR SHH-013**

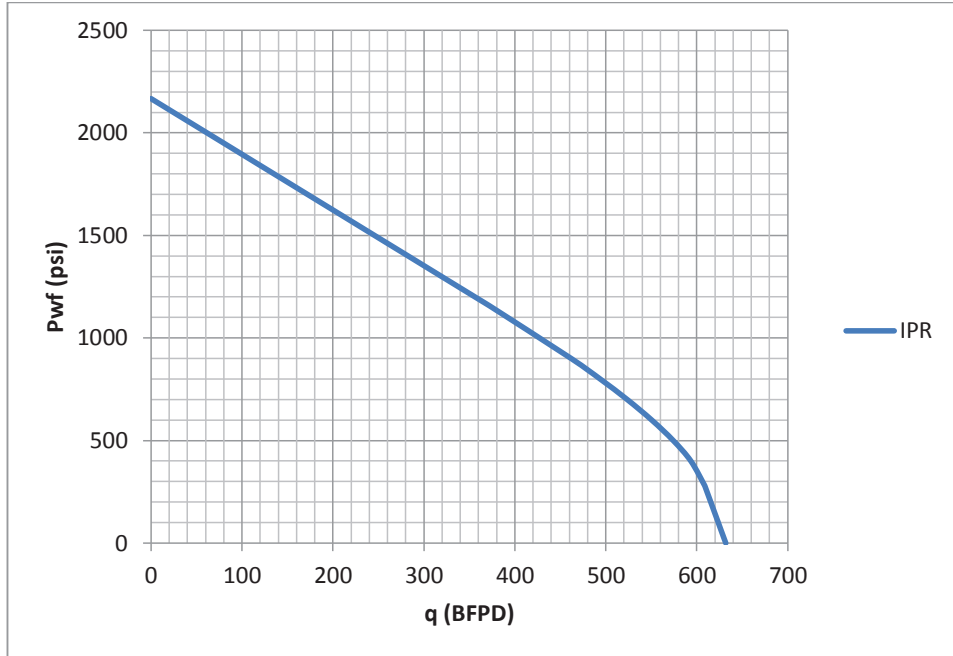
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR SHH-015**

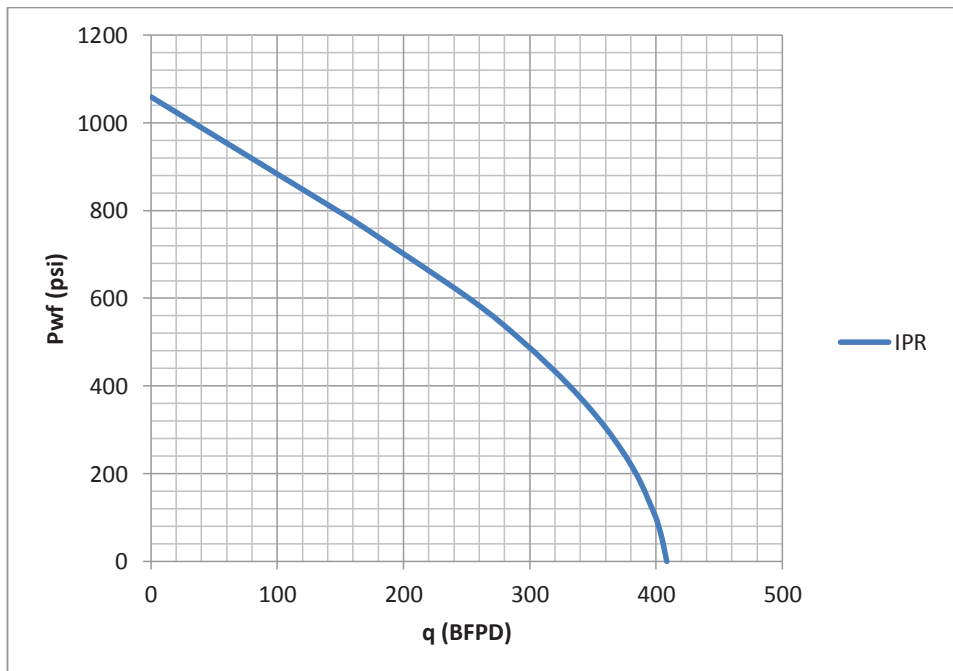
Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR SHH-018**

Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR SHH-021**

Elaboración: José Brasales

**CURVA IPR SHH-022**

Elaboración: José Brasales

**ANEXO 4**

**SIMULACIÓN DE LOS POZOS SELECCIONADOS PARA  
UNA EFICIENCIA DEL 70% DE LA BOMBA**





## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO ATACAPI-008

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : ATACAPI 08  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : N/A (BASE CASE)  
 COMMENTS :

DATE/TIME : 27/03/2015 18:02:39  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1245  
 Min Speed (rpm) : 1118  
 Power Required (hp) : 43.1  
 Motor Load (% of Rating) : 86.2  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.825

Speed Variation (%) : 10.2  
 Cyclic Load Factor : 1.2  
 Peak Regenerative Power (hp) : -41.55  
 Prime Mover Output (hp) : 32.95

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 35824  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.69  
 Polished Rod Power (hp) : 29.66  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 16461  
 Max Load (% of Rating) : 99.5  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 3.3

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	171
Min Torque (m in-lbs)	-103
Counterbalance Moment (lbs)	26074
Percent of Reducer Rating	53.4

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	1	4747	30.5	66
2)	0.875	3476	30.5	66
3)	0.75	1059	30.5	67
4)	1	4	30.5	32

Max Stress (surf.) (psi) : 45485  
 Min Stress (surf.) (psi) : 21087

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

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	184	125	66
0.9	248	158	79
0.8	381	214	97
0.7	823	332	125

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 70% eff.</u>
Gross:	246.7	425 (24h/d)	298 (24h/d)
Net:	209.6	361 (24h/d)	253 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.7  
 Loss Along Rod String (hp) : 5.63  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 12

Lost Displacement (bpd) : 1  
 Pump Power (hp) : 24.03  
 Tubing Anchor Location (ft) : 9255  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kr : 0.22  
 N/No' : 0.13

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 56.7	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 20030
Total Load on Pump (lbs)	: 12482	Pump Bore Size (in)	: 2
Pump Load Adjustment (lbs)	: 928	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 9286	Pump Intake Pressure (psi)	: 393
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 19265
TV Load (lbs)	: 32812		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales











## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO PACAYACU-004

Bakerfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7693)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Milford (432-697-2238)  
 Oklahoma (405-677-0367)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : PACAYACU 004  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : PCY-00-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 18:51:35  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1216  
 Min Speed (rpm) : 1132  
 Power Required (hp) : 45.5  
 Motor Load (% of Rating) : 75.8  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.712

Speed Variation (%) : 6.9  
 Cyclic Load Factor : 1.164  
 Peak Regenerative Power (hp) : -17.45  
 Prime Mover Output (hp) : 35.39

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 30002  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.96  
 Polished Rod Power (hp) : 31.85  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 11724  
 Max Load (% of Rating) : 83.3  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 3.54

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	160.5
Min Torque (m in-lbs)	-43.8
Counterbalance Moment (lbs)	20835
Percent of Reducer Rating	50.1

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4198	30.5	80
2)	0.75	4792	30.5	79

Max Stress (surf.) (psi) : 49727  
 Min Stress (surf.) (psi) : 19663

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	216	149	80
0.9	285	186	94
0.8	418	247	115
0.7	785	366	147

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 70% eff.</u>
Gross:	232.4	543 (24h/d)	380 (24h/d)
Net:	197.8	462 (24h/d)	323 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.6  
 Loss Along Rod String (hp) : 7.53  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 12

Lost Displacement (bpd) : 2  
 Pump Power (hp) : 24.32  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8975  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kr : 0.26  
 N/No' : 0.13

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 53.2	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14788
Total Load on Pump (lbs)	: 11654	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 899	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.396
Pump Depth (ft)	: 8990	Pump Intake Pressure (psi)	: 1005
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 13938
TV Load (lbs)	: 26843		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales



## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO PICHINCHA-005

Midland (801-446-0011)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (409-677-3236)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : PICHINCHA 005  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : PCH-00-2.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS  
 DATE/TIME : 27/03/2015 18:45:03  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor30 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1207  
 Min Speed (rpm) : 1139  
 Power Required (hp) : 24.11  
 Motor Load (% of Rating) : 80.4  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 2.338  
 Speed Variation (%) : 5.6  
 Cyclic Load Factor : 1.106  
 Peak Regenerative Power (hp) : -4.04  
 Prime Mover Output (hp) : 17.51

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 23475  
 Average Pumping Speed (spm) : 2.9  
 Polished Rod Power (hp) : 15.76  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5  
 Actual Min Load (lbs) : 12227  
 Max Load (% of Rating) : 65.2  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 1.75

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	98.1
Min Torque (m in-lbs)	-16.8
Counterbalance Moment (lbs)	17768
Percent of Reducer Rating	30.6

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	3813	30.5	49
2)	0.75	5117	30.5	50

Max Stress (surf.) (psi) : 38872  
 Min Stress (surf.) (psi) : 20499

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

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	136	93	49
0.9	181	117	58
0.8	273	157	72
0.7	553	239	92

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 70% eff.</u>
Gross:	259.4	269 (24h/d)	188 (24h/d)
Net:	221.2	229 (24h/d)	160 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.4  
 Loss Along Rod String (hp) : 4.77  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 7  
 Lost Displacement (bpd) : 0  
 Pump Power (hp) : 10.99  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8915  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kz : 0.14  
 N/No\* : 0.1

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 72.6	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14346
Total Load on Pump (lbs)	: 6634	Pump Bore Size (in)	: 1.75
Pump Load Adjustment (lbs)	: 893	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.43
Pump Depth (ft)	: 8930	Pump Intake Pressure (psi)	: 1603
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 13499
TV Load (lbs)	: 21380		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO PICHINCHA-013D

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (409-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0367)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : PICHINCHA 13D  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : PCH-13-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESTIS  
 DATE/TIME : 27/03/2015 18:48:54  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Deviated

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1200  
 Min Speed (rpm) : 1131  
 Power Required (hp) : 47.99  
 Motor Load (% of Rating) : 80  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.77  
 Speed Variation (%) : 5.8  
 Cyclic Load Factor : 1.113  
 Peak Regenerative Power (hp) : -1.15  
 Prime Mover Output (hp) : 39.83

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 30843  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.81  
 Polished Rod Power (hp) : 35.85  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5  
 Actual Min Load (lbs) : 11016  
 Max Load (% of Rating) : 85.7  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 3.98

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

	IN BALANCE
Max Torque (m in-lbs)	175.5
Min Torque (m in-lbs)	-9.7
Counterbalance Moment (lbs)	20894
Percent of Reducer Rating	54.8

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

Loading	Diameter (in)	Length (ft)	Modulus (MM psi)	Fr Coeff	Guides
1)	0.875	3350	30.5	0.2	N (0)
85					
2)	0.75	5970	30.5	0.2	N (0)
83					
3)	1	50	30.5	0.2	N (0)
24					

Max Stress (surf.) (psi) : 51125  
 Min Stress (surf.) (psi) : 18487

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

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	226	158	85
0.9	293	195	100
0.8	417	254	121
0.7	719	366	153

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

	Stroke (in)	BPD at 100% eff.	BPD at 70% eff.	
Gross:	230.7	410 (24h/d)	287 (24h/d)	
Net:	196.3	349 (24h/d)	244 (24h/d)	
Tubing Stretch (in)	: 0.5	Lost Displacement (bpd)	: 1	
Loss Along Rod String (hp)	: 16.57	Pump Power (hp)	: 19.28	
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 9360	
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 85	

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

Fo/S/Kz : 0.23  
 N/No' : 0.13

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 55	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14867
Total Load on Pump (lbs)	: 8883	Pump Bore Size (in)	: 2
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.384
Pump Depth (ft)	: 9370	Pump Intake Pressure (psi)	: 766
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 14467
TV Load (lbs)	: 24150		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales



## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SECOYA-002

Bakersfield (661-746-0311)  
 Calgary (403-234-7693)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0367)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SECOYA 02  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : N/A (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 18:55:22  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor30 hp (Recommended)

Max Speed (rpm)	: 1226	Speed Variation (%)	: 7.1
Min Speed (rpm)	: 1140	Cyclic Load Factor	: 1.192
Power Required (hp)	: 22.86	Peak Regenerative Power (hp)	: -14.42
Motor Load (% of Rating)	: 76.2	Prime Mover Output (hp)	: 15.71
Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover)	: 2.553		

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288

Actual Max Load (lbs)	: 25026	Actual Min Load (lbs)	: 12578
Average Pumping Speed (spm)	: 2.66	Max Load (% of Rating)	: 69.5
Polished Rod Power (hp)	: 14.14	Unit and Drive Train Loss (hp)	: 1.57
Computed Surface Stroke (in)	: 291.5		

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	108
Min Torque (m in-lbs)	-54.3
Counterbalance Moment (lbs)	18611
Percent of Reducer Rating	33.8

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (M psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	3945	30.5	66
2)	0.75	4945	30.5	67
Max Stress (surf.) (psi)		: 41452	Min Stress (surf.) (psi)	: 21084
<b>ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING</b>				
	<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
	1	153	104	55
	0.9	207	132	66
	0.8	318	179	81
	0.7	686	277	105

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>RPD at 100% eff.</u>	<u>RPD at 70% eff.</u>
Gross:	247.7	236 (24h/d)	165 (24h/d)
Net:	209.8	200 (24h/d)	140 (24h/d)
Tubing Stretch (in)	: 0.5	Lost Displacement (bpd)	: 0
Loss Along Rod String (hp)	: 2.95	Pump Power (hp)	: 11.19
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 8859
Pump Spacing Guide (in)	: 8	Pump Fillage (%)	: 85

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

Fo/S/Kr	: 0.17	N/No'	: 0.09
---------	--------	-------	--------

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 79.3	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14516
Total Load on Pump (lbs)	: 8204	Pump Bore Size (in)	: 1.75
Pump Load Adjustment (lbs)	: 889	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.389
Pump Depth (ft)	: 8890	Pump Intake Pressure (psi)	: 617
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 13771
TV Load (lbs)	: 23020		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SECOYA-023

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7693)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SECOYA 023  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SCY-02-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS  
 DATE/TIME : 27/03/2015 19:00:37  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfg and Type : Nema D Motor30 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1201  
 Min Speed (rpm) : 1126  
 Power Required (hp) : 26.33  
 Motor Load (% of Rating) : 87.8  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 2.049  
 Speed Variation (%) : 6.3  
 Cyclic Load Factor : 1.082  
 Peak Regenerative Power (hp) : -0.92  
 Prime Mover Output (hp) : 19.87

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

Mfg and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 23668  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.29  
 Polished Rod Power (hp) : 17.88  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5  
 Actual Min Load (lbs) : 11796  
 Max Load (% of Rating) : 65.7  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 1.99

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	104.9
Min Torque (m in-lbs)	-1.5
Counterbalance Moment (lbs)	17704
Percent of Reducer Rating	32.8

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4137	30.5	52
2)	0.75	4771	30.5	53

Max Stress (surf.) (psi) : 39194  
 Min Stress (surf.) (psi) : 19783

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	140	97	52
0.9	185	121	61
0.8	273	160	74
0.7	517	239	95

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 70% eff.</u>
Gross:	269.3	413 (24h/d)	289 (24h/d)
Net:	230	353 (24h/d)	247 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.3  
 Loss Along Rod String (hp) : 6.05  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 9  
 Lost Displacement (bpd) : 0  
 Pump Power (hp) : 11.83  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8877  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kz : 0.12  
 N/No' : 0.11

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 63.7	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14627
Total Load on Pump (lbs)	: 5892	Pump Bore Size (in)	: 2
Pump Load Adjustment (lbs)	: 890	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.399
Pump Depth (ft)	: 8908	Pump Intake Pressure (psi)	: 2112
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 13781
TV Load (lbs)	: 20919		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SECOYA-033B

Bakersfield (661-746-0511)  
 Calgary (403-234-7693)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SECOYA 033B  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SCY-03-4.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 19:04:15  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor40 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1201  
 Min Speed (rpm) : 1140  
 Power Required (hp) : 30.77  
 Motor Load (% of Rating) : 76.9  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.98

Speed Variation (%) : 5.1  
 Cyclic Load Factor : 1.094  
 Peak Regenerative Power (hp) : -1.51  
 Prime Mover Output (hp) : 23.3

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 25093  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.42  
 Polished Rod Power (hp) : 20.97  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 12451  
 Max Load (% of Rating) : 69.7  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 2.33

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	111.2
Min Torque (m in-lbs)	-4.7
Counterbalance Moment (lbs)	18804
Percent of Reducer Rating	34.8

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4382	30.5	56
2)	0.75	4578	30.5	57

Max Stress (surf.) (psi) : 41564  
 Min Stress (surf.) (psi) : 20872

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	155	105	56
0.9	208	133	66
0.8	317	180	81
0.7	668	277	106

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 70% eff.</u>
Gross:	261.5	528 (24h/d)	370 (24h/d)
Net:	222.8	450 (24h/d)	315 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.4  
 Loss Along Rod String (hp) : 6.31  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 10

Lost Displacement (bpd) : 1  
 Pump Power (hp) : 14.66  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8945  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kr : 0.15  
 N/No' : 0.11

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 61.5	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14833
Total Load on Pump (lbs)	: 7139	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 896	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.398
Pump Depth (ft)	: 8960	Pump Intake Pressure (psi)	: 2146
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 13984
TV Load (lbs)	: 22372		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SHUARA-003

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2238)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SHUARA 03  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SHUARA 03.inp6e (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 19:08:15  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1208  
 Min Speed (rpm) : 1130  
 Power Required (hp) : 37.41  
 Motor Load (% of Rating) : 74.8  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.695

Speed Variation (%) : 6.4  
 Cyclic Load Factor : 1.14  
 Peak Regenerative Power (hp) : -7.24  
 Prime Mover Output (hp) : 28.62

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 26794  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.99  
 Polished Rod Power (hp) : 25.76  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 11331  
 Max Load (% of Rating) : 74.4  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 2.86

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	135.2
Min Torque (m in-lbs)	-19.4
Counterbalance Moment (lbs)	19031
Percent of Reducer Rating	42.3

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4120	30.5	78
2)	0.75	4760	30.5	78

Max Stress (surf.) (psi) : 44392  
 Min Stress (surf.) (psi) : 19010

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	179	124	67
0.9	234	154	78
0.8	336	202	95
0.7	601	295	121

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 70% eff.</u>
Gross:	263.4	521 (24h/d)	435 (24h/d)
Net:	223.8	528 (24h/d)	370 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.5  
 Loss Along Rod String (hp) : 5.63  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 14

Lost Displacement (bpd) : 1  
 Pump Power (hp) : 20.12  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8849  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kr : 0.18  
 N/No' : 0.13

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 52.7	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14447
Total Load on Pump (lbs)	: 8548	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 888	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.421
Pump Depth (ft)	: 8880	Pump Intake Pressure (psi)	: 2012
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 13702
TV Load (lbs)	: 23295		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales



## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SHUSHUQUI-012

Bakersfield (861-746-0311)  
 Calgary (403-234-7693)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SHUSHUQUI 12	DATE/TIME : 27/03/2015 19:13:49
ANALYST : JOSE BRASALES	COMPANY : SHE
DATA FILE : SHH-12-1.INP (BASE CASE)	WELL TYPE : Vertical
COMMENTS : TESIS	

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

Mfgr and Type : Nema D Motor60 hp (Recommended)	
Max Speed (rpm) : 1212	Speed Variation (%) : 6.3
Min Speed (rpm) : 1136	Cyclic Load Factor : 1.147
Power Required (hp) : 45.18	Peak Regenerative Power (hp) : -13.61
Motor Load (% of Rating) : 75.3	Prime Mover Output (hp) : 35.48
Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.694	

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288	
Actual Max Load (lbs) : 29678	Actual Min Load (lbs) : 12086
Average Pumping Speed (spm) : 3.99	Max Load (% of Rating) : 82.4
Polished Rod Power (hp) : 31.94	Unit and Drive Train Loss (hp) : 3.55
Computed Surface Stroke (in) : 291.5	

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	155.7
Min Torque (m in-lbs)	-30.8
Counterbalance Moment (lbs)	20881
Percent of Reducer Rating	48.6

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4381	30.5	77
2)	0.75	4749	30.5	77
Max Stress (surf.) (psi) : 49188		Min Stress (surf.) (psi) : 20265		
<b>ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING</b>				
	<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
	1	212	145	77
	0.9	282	182	92
	0.8	422	244	112
	0.7	835	369	144

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 70% eff.</u>	
Gross:	235.4	555 (24h/d)	389 (24h/d)	
Net:	200.4	472 (24h/d)	330 (24h/d)	
Tubing Stretch (in) : 0.6	Lost Displacement (bpd) : 1			
Loss Along Rod String (hp) : 7.7	Pump Power (hp) : 24.24			
Tubing Size (in) : 3.5	Tubing Anchor Location (ft) : 9120			
Pump Spacing Guide (in) : 12	Pump Fillage (%) : 85			

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

Fo/S/Kr : 0.25	N/No' : 0.14
----------------	--------------

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

Reducer Rating (in-lbs) : 320	Crank Rotation : N/A
Overall Speed Ratio : 52.6	Rod Damping Factors (up/down) : 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A	Buoyant Rod Weight (lbs) : 14968
Total Load on Pump (lbs) : 11253	Pump Bore Size (in) : 2.25
Pump Load Adjustment (lbs) : 913	Tubing Gradient (psi/ft) : 0.42
Pump Depth (ft) : 9130	Pump Intake Pressure (psi) : 1384
Pump Friction (lbs) : 300	SV Load (lbs) : 14111
TV Load (lbs) : 24621	

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales



## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SHUSHUQUI-015

Bakersfield (661-746-0511)  
 Calgary (403-234-7693)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SHUSHUQUI 15  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SHH-15-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 19:19:18  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1219  
 Min Speed (rpm) : 1125  
 Power Required (hp) : 47.7  
 Motor Load (% of Rating) : 79.5  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.693

Speed Variation (%) : 7.7  
 Cyclic Load Factor : 1.188  
 Peak Regenerative Power (hp) : -20.71  
 Prime Mover Output (hp) : 37.12

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 31395  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.99  
 Polished Rod Power (hp) : 33.41  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 11392  
 Max Load (% of Rating) : 87.2  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 3.71

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	177.4
Min Torque (m in-lbs)	-50
Counterbalance Moment (lbs)	21334
Percent of Reducer Rating	55.4

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (g)</u>
1)	0.875	4525	30.5	87
2)	0.75	4525	30.5	86
Max Stress (surf.) (psi)	: 52044		Min Stress (surf.) (psi)	: 19112
<b>ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING</b>				
	<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
	1	233	162	87
	0.9	305	200	102
	0.8	440	264	124
	0.7	791	386	158

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 70% eff.</u>
Gross:	224.7	529 (24h/d)	370 (24h/d)
Net:	191	450 (24h/d)	315 (24h/d)
Tubing Stretch (in)	: 0.7	Lost Displacement (bpd)	: 2
Loss Along Rod String (hp)	: 7.56	Pump Power (hp)	: 25.85
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 9040
Pump Spacing Guide (in)	: 11	Pump Fillage (%)	: 85

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

Po/S/Kr : 0.28 N/No<sup>3</sup> : 0.13

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 52.6	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Booyant Rod Weight (lbs)	: 14885
Total Load on Pump (lbs)	: 12704	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 905	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.43
Pump Depth (ft)	: 9050	Pump Intake Pressure (psi)	: 1074
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 14032
TV Load (lbs)	: 27989		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales



## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SHUSHUQUI-018

Batonfield (861-746-0311)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0367)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SHUSHUQUI 18      DATE/TIME : 27/03/2015 19:21:27  
 ANALYST : JOSE BRASALES      COMPANY : SHE  
 DATA FILE : SHH-18-1.INP (BASE CASE)      WELL TYPE : Vertical  
 COMMENTS : TESIS

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

Mfgr and Type : Nema D Motor60 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1210      Speed Variation (%) : 6  
 Min Speed (rpm) : 1138      Cyclic Load Factor : 1.139  
 Power Required (hp) : 44.55      Peak Regenerative Power (hp) : -11.39  
 Motor Load (% of Rating) : 74.2      Prime Mover Output (hp) : 34.96  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.712

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 29384      Actual Min Load (lbs) : 12188  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.96      Max Load (% of Rating) : 81.6  
 Polished Rod Power (hp) : 31.46      Unit and Drive Train Loss (hp) : 3.5  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	151.1
Min Torque (m in-lbs)	-30.7
Counterbalance Moment (lbs)	20752
Percent of Reducer Rating	47.2

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4565	30.5	76
2)	0.75	4565	30.5	75

Max Stress (surf.) (psi) : 48699      Min Stress (surf.) (psi) : 20436  
 ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	208	143	76
0.9	278	179	90
0.8	418	240	110
0.7	841	365	142

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 70% eff.</u>
Gross:	238.5	557 (24h/d)	390 (24h/d)
Net:	202.6	474 (24h/d)	332 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 0.6	Lost Displacement (bpd)	: 1
Loss Along Rod String (hp)	: 7.71	Pump Power (hp)	: 23.75
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 9120
Pump Spacing Guide (in)	: 12	Pump Fillage (%)	: 85

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

Fo/S/Kr : 0.24      N/No' : 0.13

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 53.2	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 15007
Total Load on Pump (lbs)	: 10961	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 913	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.432
Pump Depth (ft)	: 9130	Pump Intake Pressure (psi)	: 1567
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 14150
TV Load (lbs)	: 26369		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales



## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SHUSHUQUI-022D

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7693)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Milford (433-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SHUSHUQUI 22D  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SHH-22-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS  
 DATE/TIME : 27/03/2015 19:28:39  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Deviated

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

Mfgr and Type : Nema D Motor75 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1199  
 Min Speed (rpm) : 1136  
 Power Required (hp) : 57.2  
 Motor Load (% of Rating) : 76.3  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.582  
 Speed Variation (%) : 5.3  
 Cyclic Load Factor : 1.057  
 Peak Regenerative Power (hp) : 0  
 Prime Mover Output (hp) : 50.24

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH1100-500-306 NEW version yr. 2000  
 Actual Max Load (lbs) : 32450  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.82  
 Polished Rod Power (hp) : 45.22  
 Computed Surface Stroke (in) : 306.1  
 Actual Min Load (lbs) : 10821  
 Max Load (% of Rating) : 64.9  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 5.02

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	179.3
Min Torque (m in-lbs)	-1.9
Counterbalance Moment (lbs)	21688
Percent of Reducer Rating	56

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

<u>Loading</u>	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides</u>
1) 66	1	2092	30.5	0.2	N (0)
2) 65	0.875	2651	30.5	0.2	N (0)
3) 65	0.75	4037	30.5	0.2	N (0)
4) 65	1	50	30.5	0.2	N (0)
19					

Max Stress (surf.) (psi) : 41189  
 Min Stress (surf.) (psi) : 13906

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

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	166	120	66
0.9	204	144	76
0.8	264	178	90
0.7	373	233	110

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>SFD at 100% eff.</u>	<u>SFD at 70% eff.</u>
Gross:	274.9	375 (24h/d)	263 (24h/d)
Net:	234.2	319 (24h/d)	223 (24h/d)
Tubing Stretch (in)	: 0.4	Lost Displacement (bpd)	: 1
Loss Along Rod String (hp)	: 27.23	Pump Power (hp)	: 17.99
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 8815
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 85

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

Fo/S/Kr : 0.14  
 N/No' : 0.12

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 49.2	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Bead Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 15754
Total Load on Pump (lbs)	: 6752	Pump Bore Size (in)	: 1.75
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.395
Pump Depth (ft)	: 8830	Pump Intake Pressure (psi)	: 672
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 15354
TV Load (lbs)	: 22906		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

**ANEXO 5**

**SIMULACIÓN DE LOS POZOS SELECCIONADOS PARA  
UNA EFICIENCIA DEL 80% DE LA BOMBA**

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO ARAZA-004D

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-3238)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : ARAZA 04      DATE/TIME : 27/03/2015 17:40:55  
 ANALYST : JOSE BRASALES      COMPANY : SHE  
 DATA FILE : AAZ-04-1.INP (BASE CASE)      WELL TYPE : Deviated  
 COMMENTS : TESIS

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1200      Speed Variation (%) : 6.3  
 Min Speed (rpm) : 1124      Cyclic Load Factor : 1.058  
 Power Required (hp) : 51.16      Peak Regenerative Power (hp) : -0.5  
 Motor Load (% of Rating) : 85.3      Prime Mover Output (hp) : 45.03  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.68

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-268  
 Actual Max Load (lbs) : 32021      Actual Min Load (lbs) : 11560  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.99      Max Load (% of Rating) : 88.9  
 Polished Rod Power (hp) : 40.53      Unit and Drive Train Loss (hp) : 4.5  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

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

	IN BALANCE
Max Torque (m in-lbs)	181
Min Torque (m in-lbs)	-4.4
Counterbalance Moment (lbs)	21702
Percent of Reducer Rating	56.5

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

Loading	Diameter (in)	Length (ft)	Modulus (MM psi)	Fr Coeff	Guides
1)	1	1972	30.5	0.2	N (0)
63					
2)	0.875	3342	30.5	0.2	N (0)
63					
3)	0.75	4436	30.5	0.2	N (0)
64					
4)	1	50	30.5	0.2	N (0)
17					

Max Stress (surf.) (psi) : 40644      Min Stress (surf.) (psi) : 14846

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

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	161	116	63
0.9	200	139	73
0.8	262	174	87
0.7	362	232	107

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

	Strokes (in)	SFD at 100% eff.	SFD at 80% eff.		
Gross:	264.3	377 (24h/d)	302 (24h/d)		
Net:	223.9	319 (24h/d)	255 (24h/d)		
Tubing Stretch (in)	: 0.4		Lost Displacement (bpd)	: 1	
Loss Along Rod String (hp)	: 24.41		Pump Power (hp)	: 16.12	
Tubing Size (in)	: 3.5		Tubing Anchor Location (ft)	: 9790	
Pump Spacing Guide (in)	: N/A		Pump Fillage (%)	: 85	

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

Fo/S/Kz : 0.14      N/No' : 0.14

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 52.2	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 16983
Total Load on Pump (lbs)	: 5823	Pump Bore Size (in)	: 1.75
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.402
Pump Depth (ft)	: 9900	Pump Intake Pressure (psi)	: 1390
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 16583
TV Load (lbs)	: 23206		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales



## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO ATACAPI-008

Bakersfield (661-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : ATACAPI 08  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : N/A (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 18:03:24  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1245  
 Min Speed (rpm) : 1118  
 Power Required (hp) : 43.1  
 Motor Load (% of Rating) : 86.2  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.825

Speed Variation (%) : 10.2  
 Cyclic Load Factor : 1.2  
 Peak Regenerative Power (hp) : -41.55  
 Prime Mover Output (hp) : 32.95

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 35824  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.69  
 Polished Rod Power (hp) : 29.66  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 16461  
 Max Load (% of Rating) : 99.5  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 3.3

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	171
Min Torque (m in-lbs)	-103
Counterbalance Moment (lbs)	26074
Percent of Reducer Rating	53.4

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (M psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	1	4747	30.5	66
2)	0.875	3476	30.5	66
3)	0.75	1059	30.5	67
4)	1	4	30.5	32

Max Stress (surf.) (psi) : 45485  
 Min Stress (surf.) (psi) : 21087

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	184	125	66
0.9	248	158	79
0.8	381	214	97
0.7	823	332	125

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	246.7	425 (24h/d)	340 (24h/d)
Net:	209.6	361 (24h/d)	289 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.7  
 Loss Along Rod String (hp) : 5.63  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 12

Lost Displacement (bpd) : 1  
 Pump Power (hp) : 24.03  
 Tubing Anchor Location (ft) : 9255  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kr : 0.22  
 N/No' : 0.13

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 56.7	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Bead Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 20030
Total Load on Pump (lbs)	: 12482	Pump Bore Size (in)	: 2
Pump Load Adjustment (lbs)	: 928	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.433
Pump Depth (ft)	: 9286	Pump Intake Pressure (psi)	: 393
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 19265
TV Load (lbs)	: 32812		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO ATACAPI-014

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-334-7693)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2238)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : ATACAPI 14  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATE/TIME : 27/03/2015 18:12:55  
 DATA FILE : ATACAPI 14.inp6e (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1238  
 Min Speed (rpm) : 1124  
 Power Required (hp) : 38.43  
 Motor Load (% of Rating) : 76.9  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.734  
 Speed Variation (%) : 9.3  
 Cyclic Load Factor : 1.193  
 Peak Regenerative Power (hp) : -35.45  
 Prime Mover Output (hp) : 28.89

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 32363  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.9  
 Polished Rod Power (hp) : 26  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5  
 Actual Min Load (lbs) : 14898  
 Max Load (% of Rating) : 89.9  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 2.89

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	151.4
Min Torque (m in-lbs)	-93
Counterbalance Moment (lbs)	23448
Percent of Reducer Rating	47.3

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	1	3484	30.5	58
2)	0.875	3408	30.5	58
3)	0.75	2323	30.5	59
4)	1	50	30.5	24

Max Stress (surf.) (psi) : 41079  
 Min Stress (surf.) (psi) : 19096

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

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	155	108	58
0.9	203	134	68
0.8	293	176	83
0.7	527	257	105

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	266	371 (24h/d)	297 (24h/d)
Net:	226.4	316 (24h/d)	253 (24h/d)

Tubing Stretch (in)	: 0.5	Lost Displacement (bpd)	: 1
Loss Along Rod String (hp)	: 6.27	Pump Power (hp)	: 19.73
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 9234
Pump Spacing Guide (in)	: 13	Pump Fillage (%)	: 85

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

Fo/S/Kr : 0.17  
 N/No' : 0.13

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 53.9	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 18764
Total Load on Pump (lbs)	: 9174	Pump Bore Size (in)	: 1.75
Pump Load Adjustment (lbs)	: 926	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.385
Pump Depth (ft)	: 9265	Pump Intake Pressure (psi)	: 338
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 18000
TV Load (lbs)	: 28238		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales



## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO ATACAPI-016

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-334-7693)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-691-2238)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : ATACAPI 16  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : ATACAPI 16.inp6e (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS  
 DATE/TIME : 27/03/2015 18:17:22  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor30 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1220  
 Min Speed (rpm) : 1125  
 Power Required (hp) : 27.09  
 Motor Load (% of Rating) : 90.3  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 2.067  
 Speed Variation (%) : 7.8  
 Cyclic Load Factor : 1.13  
 Peak Regenerative Power (hp) : -11.06  
 Prime Mover Output (hp) : 19.44

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 25297  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.27  
 Polished Rod Power (hp) : 17.49  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5  
 Actual Min Load (lbs) : 13350  
 Max Load (% of Rating) : 70.3  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 1.94

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	104.4
Min Torque (m in-lbs)	-31.2
Counterbalance Moment (lbs)	19254
Percent of Reducer Rating	32.6

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4476	30.5	54
2)	0.75	4679	30.5	55
3)	1	50	30.5	19

Max Stress (surf.) (psi) : 41903  
 Min Stress (surf.) (psi) : 22368

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	154	103	54
0.9	212	132	65
0.8	343	183	80
0.7	892	298	106

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	261.6	305 (24h/d)	244 (24h/d)
Net:	222.7	260 (24h/d)	208 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.4  
 Loss Along Rod String (hp) : 4.29  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 11  
 Lost Displacement (bpd) : 0  
 Pump Power (hp) : 13.2  
 Tubing Anchor Location (ft) : 9174  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kr : 0.16  
 N/No' : 0.11

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 64.2	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 15283
Total Load on Pump (lbs)	: 7333	Pump Bore Size (in)	: 1.75
Pump Load Adjustment (lbs)	: 920	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.392
Pump Depth (ft)	: 9205	Pump Intake Pressure (psi)	: 1142
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 14522
TV Load (lbs)	: 22917		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO ATACAPI-019D

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7693)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-3338)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : ATACAPI 19  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : ATC-19-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 18:25:28  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Deviated

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

Mfg and Type : Nema D Motor60 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1200  
 Min Speed (rpm) : 1119  
 Power Required (hp) : 52.91  
 Motor Load (% of Rating) : 88.2  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.68

Speed Variation (%) : 6.8  
 Cyclic Load Factor : 1.064  
 Peak Regenerative Power (hp) : -1.22  
 Prime Mover Output (hp) : 46.44

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

Mfg and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 33178  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.99  
 Polished Rod Power (hp) : 41.79  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 12077  
 Max Load (% of Rating) : 92.2  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 4.64

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

	IN BALANCE
Max Torque (m in-lbs)	186.6
Min Torque (m in-lbs)	-2.9
Counterbalance Moment (lbs)	22557
Percent of Reducer Rating	58.3

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

Loading	Diameter (in)	Length (ft)	Modulus (MM psi)	Fr Coeff	Guides
1)	1	2256	30.5	0.2	N (0)
66					
2)	0.875	2685	30.5	0.2	N (0)
66					
3)	0.75	4664	30.5	0.2	N (0)
67					
4)	1	50	30.5	0.2	N (0)
19					

Max Stress (surf.) (psi) : 42116  
 Min Stress (surf.) (psi) : 15504

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

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	169	121	66
0.9	211	146	77
0.8	281	184	91
0.7	419	248	113

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

Stroke (in)	BPD at 100% eff.	BPD at 80% eff.	
Gross: 259.9	370 (24h/d)	296 (24h/d)	
Net: 220.7	314 (24h/d)	251 (24h/d)	
Tubing Stretch (in) : 0.4		Lost Displacement (bpd) : 1	
Loss Along Rod String (hp) : 23.57		Pump Power (hp) : 18.23	
Tubing Size (in) : 3.5		Tubing Anchor Location (ft) : 9645	
Pump Spacing Guide (in) : N/A		Pump Fillage (%) : 85	

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

Fo/S/Kz : 0.16  
 N/No' : 0.14

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

Reducer Rating (in-lbs) : 320	Crank Rotation : N/A
Overall Speed Ratio : 52.2	Rod Damping Factors (up/down) : 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A	Buoyant Rod Weight (lbs) : 17394
Total Load on Pump (lbs) : 6805	Pump Bore Size (in) : 1.75
Pump Load Adjustment (lbs) : 0	Tubing Gradient (psi/ft) : 0.417
Pump Depth (ft) : 9555	Pump Intake Pressure (psi) : 1251
Pump Friction (lbs) : 300	SV Load (lbs) : 16994
TV Load (lbs) : 24599	

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO ATACAPI-020D

Bakersfield (861-746-0311)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-493-1100)



Milano (433-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : ATACAPI 20  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : ATC-20-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 18:32:43  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Deviated

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

Mfgr and Type : Nema D Motor100 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1199  
 Min Speed (rpm) : 1138  
 Power Required (hp) : 68.67  
 Motor Load (% of Rating) : 68.7  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.732

Speed Variation (%) : 5.1  
 Cyclic Load Factor : 1.083  
 Peak Regenerative Power (hp) : -0.07  
 Prime Mover Output (hp) : 62.06

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH1100-500-306 NEW version yr. 2000  
 Actual Max Load (lbs) : 41357  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.49  
 Polished Rod Power (hp) : 55.85  
 Computed Surface Stroke (in) : 306.1

Actual Min Load (lbs) : 11526  
 Max Load (% of Rating) : 82.7  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 6.21

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	247.6
Min Torque (m in-lbs)	-3.4
Counterbalance Moment (lbs)	26315
Percent of Reducer Rating	77.4

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

<u>Loading</u>	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Fr Coeff</u>	<u>Guides</u>
1)	1	2611	30.5	0.2	N (0)
93					
2)	0.875	2888	30.5	0.2	N (0)
92					
3)	0.75	4071	30.5	0.2	N (0)
93					
4)	1	50	30.5	0.2	N (0)
17					

Max Stress (surf.) (psi) : 52530  
 Min Stress (surf.) (psi) : 14803

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	235	169	93
0.9	292	203	107
0.8	383	254	127
0.7	557	338	157

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	247.7	309 (24h/d)	247 (24h/d)
Net:	210.3	262 (24h/d)	210 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.4  
 Lost Displacement (bpd) : 0  
 Loss Along Rod String (hp) : 42  
 Pump Power (hp) : 13.86  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Tubing Anchor Location (ft) : 9610  
 Pump Spacing Guide (in) : N/A  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kr : 0.14  
 N/No' : 0.12

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 53.8	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 17660
Total Load on Pump (lbs)	: 6226	Pump Bore Size (in)	: 1.75
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.394
Pump Depth (ft)	: 9620	Pump Intake Pressure (psi)	: 1198
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 17260
TV Load (lbs)	: 24286		

Fuente: Software SROD v 6.8. 4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO ATACAPI-021D

©2008 LUFKIN (SUI) INC. (100-100111)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



LUFKIN (SUI) INC. (100-100111)  
 Oklahoma (405-677-0367)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : ATACAPI 21  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : ATC-21-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 18:36:56  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Deviated

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1204  
 Min Speed (rpm) : 1121  
 Power Required (hp) : 52.72  
 Motor Load (% of Rating) : 87.9  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 2.039

Speed Variation (%) : 6.9  
 Cyclic Load Factor : 1.102  
 Peak Regenerative Power (hp) : -4.99  
 Prime Mover Output (hp) : 45.81

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

Mfgr and Type : ROTAPLEX RH1100-500-306 NEW version yr. 2000  
 Actual Max Load (lbs) : 38492  
 Average Pumping Speed (spm) : 2.94  
 Polished Rod Power (hp) : 41.23  
 Computed Surface Stroke (in) : 306.1

Actual Min Load (lbs) : 12269  
 Max Load (% of Rating) : 77  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 4.58

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

	IN BALANCE
Max Torque (m in-lbs)	218.1
Min Torque (m in-lbs)	-12.8
Counterbalance Moment (lbs)	25300
Percent of Reducer Rating	68.1

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

Loading	Diameter (in)	Length (ft)	Modulus (MM psi)	Fr Coeff	Guides
1)	1	2213	30.5	0.2	N (0)
83					
2)	0.875	2907	30.5	0.2	N (0)
83					
3)	0.75	4790	30.5	0.2	N (0)
82					
4)	1	50	30.5	0.2	N (0)
25					

Max Stress (surf.) (psi) : 48882  
 Min Stress (surf.) (psi) : 15749

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

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	212	152	83
0.9	266	183	96
0.8	355	231	114
0.7	534	313	142

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

	Stroke (in)	BPD at 100% eff.	BPD at 80% eff.
Gross:	232.9	319 (24h/d)	255 (24h/d)
Net:	197.9	271 (24h/d)	217 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.6  
 Lost Displacement (bpd) : 1

Loss Along Rod String (hp)	: 25.28	Pump Power (hp)	: 15.94
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 9950
Pump Spacing Guide (in)	: N/A	Pump Fillage (%)	: 85

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

Fo/S/Et : 0.23  
 N/No' : 0.1

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 63.4	Roll Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 17207
Total Load on Pump (lbs)	: 9571	Pump Bore Size (in)	: 2
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.397
Pump Depth (ft)	: 9950	Pump Intake Pressure (psi)	: 800
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 16807
TV Load (lbs)	: 27178		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO PACAYACU-004

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : PACAYACU 004  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : PCY-00-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 18:52:08  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1216  
 Min Speed (rpm) : 1132  
 Power Required (hp) : 45.5  
 Motor Load (% of Rating) : 75.8  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.712

Speed Variation (%) : 6.9  
 Cyclic Load Factor : 1.164  
 Peak Regenerative Power (hp) : -17.45  
 Prime Mover Output (hp) : 35.39

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 30002  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.96  
 Polished Rod Power (hp) : 31.85  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 11724  
 Max Load (% of Rating) : 83.3  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 3.54

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	160.5
Min Torque (m in-lbs)	-43.8
Counterbalance Moment (lbs)	20835
Percent of Reducer Rating	50.1

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4198	30.5	80
2)	0.75	4792	30.5	79

Max Stress (surf.) (psi) : 49727  
 Min Stress (surf.) (psi) : 19653

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	216	149	80
0.9	285	196	94
0.8	418	247	115
0.7	785	366	147

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	232.4	543 (24h/d)	434 (24h/d)
Net:	197.8	462 (24h/d)	370 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.6  
 Loss Along Rod String (hp) : 7.53  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 12

Lost Displacement (bpd) : 2  
 Pump Power (hp) : 24.32  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8975  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kr : 0.26  
 N/No' : 0.13

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 53.2	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Bead Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14788
Total Load on Pump (lbs)	: 11654	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 899	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.396
Pump Depth (ft)	: 8990	Pump Intake Pressure (psi)	: 1005
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 13938
TV Load (lbs)	: 26843		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO PICHINCHA-002

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Mirland (433-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0267)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : PICHINCHA 002  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : PCH-00-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESTS  
 DATE/TIME : 27/03/2015 18:42:09  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfg and Type : Nema D Motor60 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1212  
 Min Speed (rpm) : 1134  
 Power Required (hp) : 45.61  
 Motor Load (% of Rating) : 76  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.695  
 Speed Variation (%) : 6.5  
 Cyclic Load Factor : 1.154  
 Peak Regenerative Power (hp) : -13.65  
 Prime Mover Output (hp) : 35.59

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

Mfg and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 29742  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.99  
 Polished Rod Power (hp) : 32.03  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5  
 Actual Min Load (lbs) : 11935  
 Max Load (% of Rating) : 82.6  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 3.56

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	155.7
Min Torque (m in-lbs)	-39.9
Counterbalance Moment (lbs)	20774
Percent of Reducer Rating	48.6

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4275	30.5	78
2)	0.75	4655	30.5	78
3)	1	50	30.5	28

Max Stress (surf.) (psi) : 49295  
 Min Stress (surf.) (psi) : 20015

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	213	146	78
0.9	282	183	92
0.8	419	244	113
0.7	810	366	145

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>RPD at 100% eff.</u>	<u>RPD at 80% eff.</u>
Gross:	235.8	556 (24h/d)	445 (24h/d)
Net:	200.1	472 (24h/d)	378 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.6  
 Loss Along Rod String (hp) : 7.72  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 11  
 Lost Displacement (bpd) : 1  
 Pump Power (hp) : 24.3  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8965  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kz : 0.25  
 N/No' : 0.13

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 52.7	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14866
Total Load on Pump (lbs)	: 11383	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 898	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.397
Pump Depth (ft)	: 8980	Pump Intake Pressure (psi)	: 1078
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 14016
TV Load (lbs)	: 26650		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO PICHINCHA-005

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Milford (433-697-3238)  
 Oklahoma (405-677-0367)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : PICHINCHA 005  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : PCH-00-2.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 18:45:39  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor30 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1207  
 Min Speed (rpm) : 1139  
 Power Required (hp) : 24.11  
 Motor Load (% of Rating) : 80.4  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 2.338

Speed Variation (%) : 5.6  
 Cyclic Load Factor : 1.106  
 Peak Regenerative Power (hp) : -4.04  
 Prime Mover Output (hp) : 17.51

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 23475  
 Average Pumping Speed (spm) : 2.9  
 Polished Rod Power (hp) : 15.76  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 12227  
 Max Load (% of Rating) : 65.2  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 1.75

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	98.1
Min Torque (m in-lbs)	-16.8
Counterbalance Moment (lbs)	17768
Percent of Reducer Rating	30.6

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	3813	30.5	49
2)	0.75	5117	30.5	50

Max Stress (surf.) (psi) : 38872  
 Min Stress (surf.) (psi) : 20499

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	136	93	49
0.9	181	117	58
0.8	273	157	72
0.7	553	239	92

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	259.4	269 (24h/d)	215 (24h/d)
Net:	221.2	229 (24h/d)	183 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.4  
 Loss Along Rod String (hp) : 4.77  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 7

Lost Displacement (bpd) : 0  
 Pump Power (hp) : 10.99  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8915  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kz : 0.14  
 N/No' : 0.1

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

Reducer Rating (in-lbs) : 320  
 Overall Speed Ratio : 72.6  
 Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A  
 Total Load on Pump (lbs) : 6634  
 Pump Load Adjustment (lbs) : 893  
 Pump Depth (ft) : 8930  
 Pump Friction (lbs) : 300  
 TV Load (lbs) : 21380

Crank Rotation : N/A  
 Rod Damping Factors (up/down) : 0.15 / 0.25  
 Buoyant Rod Weight (lbs) : 14346  
 Pump Bore Size (in) : 1.75  
 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.43  
 Pump Intake Pressure (psi) : 1603  
 SV Load (lbs) : 13499

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO PICHINCHA-013D

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-493-1100)



Midland (432-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : PICHINCHA 13D  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATE/TIME : 27/03/2015 18:49:26  
 DATA FILE : PCH-13-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Deviated

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

Mfrgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1200  
 Min Speed (rpm) : 1131  
 Power Required (hp) : 47.99  
 Motor Load (% of Rating) : 80  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.77  
 Speed Variation (%) : 5.8  
 Cyclic Load Factor : 1.113  
 Peak Regenerative Power (hp) : -1.15  
 Prime Mover Output (hp) : 39.83

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

Mfrgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 30843  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.81  
 Polished Rod Power (hp) : 35.85  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5  
 Actual Min Load (lbs) : 11016  
 Max Load (% of Rating) : 85.7  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 3.98

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

	IN BALANCE
Max Torque (m in-lbs)	175.5
Min Torque (m in-lbs)	-9.7
Counterbalance Moment (lbs)	20894
Percent of Reducer Rating	54.8

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

Loading	Diameter (in)	Length (ft)	Modulus (M psi)	Fr Coeff	Guides
1)	0.875	3350	30.5	0.2	N (0)
85					
2)	0.75	5970	30.5	0.2	N (0)
83					
3)	1	50	30.5	0.2	N (0)
24					

Max Stress (surf.) (psi) : 51125  
 Min Stress (surf.) (psi) : 18487

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

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	226	158	85
0.9	293	195	100
0.8	417	254	121
0.7	719	366	153

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

	Stroke (in)	BPD at 100% eff.	BPD at 80% eff.
Gross:	230.7	410 (24h/d)	328 (24h/d)
Net:	196.3	349 (24h/d)	279 (24h/d)
Tubing Stretch (in)	: 0.5	Lost Displacement (bpd)	: 1
Loss Along Rod String (hp)	: 16.57	Pump Power (hp)	: 19.28
Tubing Size (in)	: 3.5	Tubing Anchor Location (ft)	: 9360

Pump Spacing Guide (in) : N/A  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Co/S/Kr : 0.23  
 N/No\* : 0.13

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 55	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
in/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14867
Netal Load on Pump (lbs)	: 8883	Pump Bore Size (in)	: 2
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.384
Pump Depth (ft)	: 9370	Pump Intake Pressure (psi)	: 766
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 14467
TV Load (lbs)	: 24150		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales



## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SECOYA-002

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Milford (432-697-2238)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SECOYA 02  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : N/A (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 18:55:58  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfg and Type : Nema D Motor30 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1226  
 Min Speed (rpm) : 1140  
 Power Required (hp) : 22.86  
 Motor Load (% of Rating) : 76.2  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 2.553

Speed Variation (%) : 7.1  
 Cyclic Load Factor : 1.192  
 Peak Regenerative Power (hp) : -14.42  
 Prime Mover Output (hp) : 15.71

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

Mfg and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 25026  
 Average Pumping Speed (spm) : 2.66  
 Polished Rod Power (hp) : 14.14  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 12578  
 Max Load (% of Rating) : 69.5  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 1.57

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	108
Min Torque (m in-lbs)	-54.3
Counterbalance Moment (lbs)	18611
Percent of Reducer Rating	33.8

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	3945	30.5	66
2)	0.75	4945	30.5	67
Max Stress (surf.) (psi)	: 41452		Min Stress (surf.) (psi)	: 21084
<b>ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING</b>				
	<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
	1	153	104	55
	0.9	207	132	66
	0.8	318	179	81
	0.7	686	277	105

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>	
Gross:	247.7	236 (24h/d)	189 (24h/d)	
Net:	209.8	200 (24h/d)	160 (24h/d)	
Tubing Stretch (in)	: 0.5		Lost Displacement (bpd)	: 0
Loss Along Rod String (hp)	: 2.95		Pump Power (hp)	: 11.19
Tubing Size (in)	: 3.5		Tubing Anchor Location (ft)	: 8859
Pump Spacing Guide (in)	: 8		Pump Fillage (%)	: 85

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

Fo/S/Kz : 0.17      N/No' : 0.09

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 79.3	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14516
Total Load on Pump (lbs)	: 8204	Pump Bore Size (in)	: 1.75
Pump Load Adjustment (lbs)	: 889	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.389
Pump Depth (ft)	: 8890	Pump Intake Pressure (psi)	: 617
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 13771
TV Load (lbs)	: 23020		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SECOYA-023

Bakersfield (661-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2238)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SECOYA 023  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SCY-02-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 19:01:06  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor30 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1201  
 Min Speed (rpm) : 1126  
 Power Required (hp) : 26.33  
 Motor Load (% of Rating) : 87.8  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 2.049

Speed Variation (%) : 6.3  
 Cyclic Load Factor : 1.082  
 Peak Regenerative Power (hp) : -0.92  
 Prime Mover Output (hp) : 19.87

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 23668  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.29  
 Polished Rod Power (hp) : 17.88  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 11796  
 Max Load (% of Rating) : 65.7  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 1.99

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	104.9
Min Torque (m in-lbs)	-1.5
Counterbalance Moment (lbs)	17704
Percent of Reducer Rating	32.8

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (Msi psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4137	30.5	52
2)	0.75	4771	30.5	53

Max Stress (surf.) (psi) : 39194  
 Min Stress (surf.) (psi) : 19783

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
1	140	97	52
0.9	185	121	61
0.8	273	160	74
0.7	517	239	95

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	269.3	413 (24h/d)	330 (24h/d)
Net:	230	353 (24h/d)	282 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.3  
 Loss Along Rod String (hp) : 6.05  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 9

Lost Displacement (bpd) : 0  
 Pump Power (hp) : 11.83  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8877  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kc : 0.12  
 N/No : 0.11

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 63.7	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14627
Total Load on Pump (lbs)	: 5892	Pump Bore Size (in)	: 2
Pump Load Adjustment (lbs)	: 890	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.399
Pump Depth (ft)	: 8908	Pump Intake Pressure (psi)	: 2112
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 13781
TV Load (lbs)	: 20919		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SECOYA-033B

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0367)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SECOYA 033B  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SCY-03-4.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 19:04:48  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor40 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1201  
 Min Speed (rpm) : 1140  
 Power Required (hp) : 30.77  
 Motor Load (% of Rating) : 75.9  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.98

Speed Variation (%) : 5.1  
 Cyclic Load Factor : 1.094  
 Peak Regenerative Power (hp) : -1.51  
 Prime Mover Output (hp) : 23.3

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 25093  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.42  
 Polished Rod Power (hp) : 20.97  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 12451  
 Max Load (% of Rating) : 69.7  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 2.33

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	111.2
Min Torque (m in-lbs)	-4.7
Counterbalance Moment (lbs)	18804
Percent of Reducer Rating	34.8

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (M psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4382	30.5	56
2)	0.75	4578	30.5	57

Max Stress (surf.) (psi) : 41564  
 Min Stress (surf.) (psi) : 20872

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	155	105	56
0.9	208	133	66
0.8	317	180	81
0.7	468	277	106

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	261.5	528 (24h/d)	422 (24h/d)
Net:	222.8	450 (24h/d)	360 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.4  
 Loss Along Rod String (hp) : 6.31  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 10

Lost Displacement (bpd) : 1  
 Pump Power (hp) : 14.66  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8945  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kz : 0.15  
 N/No' : 0.11

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 61.5	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14833
Total Load on Pump (lbs)	: 7139	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 896	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.398
Pump Depth (ft)	: 8960	Pump Intake Pressure (psi)	: 2146
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 13984
TV Load (lbs)	: 22372		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SHUARA-003

Bakersfield (861-746-0311)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2238)  
 Oklahoma (405-677-0367)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SHUARA 03  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SHUARA 03.inp6e (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 19:08:33  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1208  
 Min Speed (rpm) : 1130  
 Power Required (hp) : 37.41  
 Motor Load (% of Rating) : 74.8  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.695

Speed Variation (%) : 6.4  
 Cyclic Load Factor : 1.14  
 Peak Regenerative Power (hp) : -7.24  
 Prime Mover Output (hp) : 28.62

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 26794  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.99  
 Polished Rod Power (hp) : 25.76  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 11331  
 Max Load (% of Rating) : 74.4  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 2.86

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

	IN BALANCE
Max Torque (m in-lbs)	135.2
Min Torque (m in-lbs)	-19.4
Counterbalance Moment (lbs)	19031
Percent of Reducer Rating	42.3

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

	Diameter (in)	Length (ft)	Modulus (MM psi)	Rod Loading (%)
1)	0.875	4120	30.5	78
2)	0.75	4760	30.5	78

Max Stress (surf.) (psi) : 44392  
 Min Stress (surf.) (psi) : 19010

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	179	124	67
0.9	234	154	78
0.8	336	202	95
0.7	601	295	121

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

	Stroke (in)	BPD at 100% eff.	BPD at 80% eff.
Gross:	263.4	521 (24h/d)	497 (24h/d)
Net:	223.8	528 (24h/d)	422 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.5  
 Loss Along Rod String (hp) : 5.63  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 14

Lost Displacement (bpd) : 1  
 Pump Power (hp) : 20.12  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8849  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Po/S/Kr : 0.18  
 N/No' : 0.13

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 52.7	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.05 / 0.15
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14447
Total Load on Pump (lbs)	: 8548	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 888	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.421
Pump Depth (ft)	: 8880	Pump Intake Pressure (psi)	: 2012
Pump Friction (lbs)	: 200	SV Load (lbs)	: 13702
TV Load (lbs)	: 23295		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SHUARA-036D

Edmonton (861-146-0311)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



AUTOMATION

Midland (409-677-2226)  
 Oklahoma (405-677-0367)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SHUARA 36D  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SEA-36-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 19:11:31  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Deviated

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1198  
 Min Speed (rpm) : 1136  
 Power Required (hp) : 47.25  
 Motor Load (% of Rating) : 78.8  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.728

Speed Variation (%) : 5.2  
 Cyclic Load Factor : 1.044  
 Peak Regenerative Power (hp) : 0  
 Prime Mover Output (hp) : 41.03

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH1100-500-306 NEW version yr. 2000  
 Actual Max Load (lbs) : 30037  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.49  
 Polished Rod Power (hp) : 36.93  
 Computed Surface Stroke (in) : 306.1

Actual Min Load (lbs) : 11058  
 Max Load (% of Rating) : 60.1  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 4.1

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

	IN BALANCE
Max Torque (m in-lbs)	156.6
Min Torque (m in-lbs)	-1.8
Counterbalance Moment (lbs)	20504
Percent of Reducer Rating	48.9

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

Loading	Diameter (in)	Length (ft)	Modulus (MM psi)	Fr Coeff	Guides
1)	1	1648	30.5	0.2	N (0)
58					
2)	0.875	2408	30.5	0.2	N (0)
59					
3)	0.75	5394	30.5	0.2	N (0)
59					
4)	1	50	30.5	0.2	N (0)
14					

Max Stress (surf.) (psi) : 38117

Min Stress (surf.) (psi) : 14206

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

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	147	106	58
0.9	181	127	67
0.8	235	157	80
0.7	335	208	98

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

	Stroke (in)	BPD at 100% eff.	BPD at 80% eff.
Gross:	282.5	562 (24h/d)	466 (24h/d)
Net:	240.7	496 (24h/d)	397 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.3      Lost Displacement (bpd) : 1

Loss Along Rod String (hp) : 23.72      Pump Power (hp) : 13.2  
 Tubing Size (in) : 3.5      Tubing Anchor Location (ft) : 9469  
 Pump Spacing Guide (in) : N/A      Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kr : 0.11      N/No\* : 0.12

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 53.7	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
din/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 16058
Total Load on Pump (lbs)	: 4865	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 0	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.425
Pump Depth (ft)	: 9500	Pump Intake Pressure (psi)	: 2800
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 15658
FV Load (lbs)	: 21324		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SHUSHUQUI-012

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Mirland (433-697-2238)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SHUSHUQUI 12  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SHH-12-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 19:14:19  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor60 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1212  
 Min Speed (rpm) : 1136  
 Power Required (hp) : 45.18  
 Motor Load (% of Rating) : 75.3  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.694

Speed Variation (%) : 6.3  
 Cyclic Load Factor : 1.147  
 Peak Regenerative Power (hp) : -13.61  
 Prime Mover Output (hp) : 35.48

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

Mfgr and Type : ROTAPLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 29678  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.99  
 Polished Rod Power (hp) : 31.94  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 12086  
 Max Load (% of Rating) : 82.4  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 3.55

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	155.7
Min Torque (m in-lbs)	-30.8
Counterbalance Moment (lbs)	20881
Percent of Reducer Rating	48.5

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4381	30.5	77
2)	0.75	4749	30.5	77

Max Stress (surf.) (psi) : 49188  
 Min Stress (surf.) (psi) : 20265

ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	212	145	77
0.9	282	182	92
0.8	422	244	112
0.7	835	369	144

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	235.4	555 (24h/d)	444 (24h/d)
Net:	200.4	472 (24h/d)	378 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.6  
 Loss Along Rod String (hp) : 7.7  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 12

Lost Displacement (bpd) : 1  
 Pump Power (hp) : 24.24  
 Tubing Anchor Location (ft) : 9120  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kz : 0.25  
 N/No\* : 0.14

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

Reducer Rating (in-lbs)	: 320	Crank Rotation	: N/A
Overall Speed Ratio	: 52.6	Rod Damping Factors (up/down)	: 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi)	: N/A	Buoyant Rod Weight (lbs)	: 14968
Total Load on Pump (lbs)	: 11253	Pump Bore Size (in)	: 2.25
Pump Load Adjustment (lbs)	: 913	Tubing Gradient (psi/ft)	: 0.42
Pump Depth (ft)	: 9130	Pump Intake Pressure (psi)	: 1384
Pump Friction (lbs)	: 300	SV Load (lbs)	: 14111
W Load (lbs)	: 26621		

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SHUSHUQUI-013

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7693)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Midland (432-697-2228)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SHUSHUQUI 13  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SHH-13-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 19:17:01  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor30 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1202  
 Min Speed (rpm) : 1132  
 Power Required (hp) : 25.67  
 Motor Load (% of Rating) : 85.6  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 2.084

Speed Variation (%) : 5.8  
 Cyclic Load Factor : 1.081  
 Peak Regenerative Power (hp) : -1.3  
 Prime Mover Output (hp) : 18.82

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288  
 Actual Max Load (lbs) : 22262  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.24  
 Polished Rod Power (hp) : 16.94  
 Computed Surface Stroke (in) : 291.5

Actual Min Load (lbs) : 11090  
 Max Load (% of Rating) : 61.8  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 1.88

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	97.1
Min Torque (m in-lbs)	-2.7
Counterbalance Moment (lbs)	16639
Percent of Reducer Rating	30.3

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	3791	30.5	48
2)	0.75	4609	30.5	49

Max Stress (surf.) (psi) : 36855

Min Stress (surf.) (psi) : 18608

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

<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>
1	127
0.9	165
0.8	235
0.7	408

<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
89	48
109	56
143	68
206	86

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>SPD at 100% eff.</u>
Gross:	271.2	410 (24h/d)
Net:	230.7	349 (24h/d)

	<u>SPD at 90% eff.</u>
	328 (24h/d)
	279 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.3  
 Loss Along Rod String (hp) : 5.78  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : 8

Lost Displacement (bpd) : 0  
 Pump Power (hp) : 11.16  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8390  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Po/S/Kr : 0.11

N/No' : 0.1

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

Reducer Rating (in-lbs) : 320  
 Overall Speed Ratio : 64.8  
 din/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A  
 Total Load on Pump (lbs) : 5575  
 Pump Load Adjustment (lbs) : 840  
 Pump Depth (ft) : 8400  
 Pump Friction (lbs) : 300  
 TV Load (lbs) : 19644

Crank Rotation : N/A  
 Rod Damping Factors (up/down) : 0.15 / 0.25  
 Buoyant Rod Weight (lbs) : 13669  
 Pump Bore Size (in) : 2  
 Tubing Gradient (psi/ft) : 0.413  
 Pump Intake Pressure (psi) : 2112  
 SV Load (lbs) : 12848

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales







## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SHUSHUQUI-021

Bakersfield (861-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-495-1100)



Miranda (432-697-2238)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SHUSHUQUI 21  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SHH-21-1.INP (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 19:26:18  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Vertical

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

Mfgr and Type : Nema D Motor50 hp (Recommended)		
Max Speed (rpm) : 1220	Speed Variation (%) : 7.8	
Min Speed (rpm) : 1125	Cyclic Load Factor : 1.193	
Power Required (hp) : 47.34	Peak Regenerative Power (hp) : -21.99	
Motor Load (% of Rating) : 78.9	Prime Mover Output (hp) : 36.7	
Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.693		

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

Mfgr and Type : ROTAFLEX RH900-360-288		
Actual Max Load (lbs) : 31346	Actual Min Load (lbs) : 11500	
Average Pumping Speed (spm) : 3.99	Max Load (% of Rating) : 87.1	
Polished Rod Power (hp) : 33.03	Unit and Drive Train Loss (hp) : 3.67	
Computed Surface Stroke (in) : 291.5		

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

	<u>IN BALANCE</u>
Max Torque (m in-lbs)	176.5
Min Torque (m in-lbs)	-53.6
Counterbalance Moment (lbs)	21405
Percent of Reducer Rating	55.2

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

	<u>Diameter (in)</u>	<u>Length (ft)</u>	<u>Modulus (MM psi)</u>	<u>Rod Loading (%)</u>
1)	0.875	4374	30.5	86
2)	0.75	4746	30.5	86
Max Stress (surf.) (psi)	: 51962		Min Stress (surf.) (psi)	: 19290
<b>ROD LOADING AT SURFACE AS % OF RATING</b>				
	<u>Service Factor</u>	<u>Class C,K</u>	<u>Class D</u>	<u>WEATHERFORD T-66</u>
	1	232	161	86
	0.9	305	200	101
	0.8	442	264	123
	0.7	806	388	157

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

	<u>Stroke (in)</u>	<u>BPD at 100% eff.</u>	<u>BPD at 80% eff.</u>
Gross:	223.6	527 (24h/d)	422 (24h/d)
Net:	190.2	448 (24h/d)	358 (24h/d)
Tubing Stretch (in) : 0.7		Lost Displacement (bpd) : 2	
Loss Along Rod String (hp) : 7.54		Pump Power (hp) : 25.48	
Tubing Size (in) : 3.5		Tubing Anchor Location (ft) : 9110	
Pump Spacing Guide (in) : 11		Pump Fillage (%) : 85	

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

Fo/S/Kr : 0.28	N/No' : 0.14
----------------	--------------

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

Reducer Rating (in-lbs) : 320	Crank Rotation : N/A
Overall Speed Ratio : 52.6	Rod Damping Factors (up/down) : 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A	Buoyant Rod Weight (lbs) : 14983
Total Load on Pump (lbs) : 12608	Pump Bore Size (in) : 2.25
Pump Load Adjustment (lbs) : 912	Tubing Gradient (psi/ft) : 0.413
Pump Depth (ft) : 9120	Pump Intake Pressure (psi) : 975
Pump Friction (lbs) : 300	SV Load (lbs) : 14126
TV Load (lbs) : 27991	

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales

## DISEÑO DE LA UNIDAD DE BOMBEO MECÁNICO SHUSHUQUI-022D

Bakersfield (661-746-0511)  
 Calgary (403-234-7692)  
 Houston - Headquarters  
 (281-493-1100)



Milano (432-697-2238)  
 Oklahoma (405-677-0567)  
 Lufkin Automation Website  
<http://www.lufkinautomation.com>

### SROD v6.8.4 - PREDICTION OF ROD PUMPING SYSTEM PERFORMANCE

WELL NAME : SHUSHUQUI 22D  
 ANALYST : JOSE BRASALES  
 DATA FILE : SRH-22-1.INF (BASE CASE)  
 COMMENTS : TESIS

DATE/TIME : 27/03/2015 19:29:14  
 COMPANY : SHE  
 WELL TYPE : Deviated

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

Mfg and Type : Nema D Motor 75 hp (Recommended)  
 Max Speed (rpm) : 1199  
 Min Speed (rpm) : 1136  
 Power Required (hp) : 57.2  
 Motor Load (% of Rating) : 76.3  
 Sheave Ratio (Unit/ Prime Mover) : 1.582

Speed Variation (%) : 5.3  
 Cyclic Load Factor : 1.057  
 Peak Regenerative Power (hp) : 0  
 Prime Mover Output (hp) : 50.24

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

Mfg and Type : ROTAFLEX RH1100-500-306 NEW version yr. 2000  
 Actual Max Load (lbs) : 32450  
 Average Pumping Speed (spm) : 3.82  
 Polished Rod Power (hp) : 45.22  
 Computed Surface Stroke (in) : 306.1

Actual Min Load (lbs) : 10821  
 Max Load (% of Rating) : 64.9  
 Unit and Drive Train Loss (hp) : 5.02

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

IN BALANCE

Max Torque (in in-lbs) : 179.3  
 Min Torque (in in-lbs) : -1.9  
 Counterbalance Moment (lbs) : 21688  
 Percent of Reducer Rating : 56

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

Loading	Diameter (in)	Length (ft)	Modulus (MM psi)	Fr Coeff	Guides
1)	1	2092	30.5	0.2	N (0)
66					
2)	0.875	2651	30.5	0.2	N (0)
65					
3)	0.75	4037	30.5	0.2	N (0)
65					
4)	1	50	30.5	0.2	N (0)
19					

Max Stress (surf.) (psi) : 41189  
 Min Stress (surf.) (psi) : 13906

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

Service Factor	Class C,K	Class D	WEATHERFORD T-66
1	166	120	66
0.9	204	144	76
0.8	264	178	90
0.7	373	233	110

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

Stroke (in)	BPD at 100% eff.	BPD at 80% eff.
Gross: 274.9	375 (24h/d)	300 (24h/d)
Net: 234.2	319 (24h/d)	255 (24h/d)

Tubing Stretch (in) : 0.4  
 Lost Displacement (bpd) : 1

Loss Along Rod String (hp) : 27.23  
 Tubing Size (in) : 3.5  
 Pump Spacing Guide (in) : N/A

Pump Power (hp) : 17.99  
 Tubing Anchor Location (ft) : 8815  
 Pump Fillage (%) : 85

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

Fo/S/Kr : 0.14  
 N/No' : 0.12

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

Reducer Rating (in-lbs) : 320	Crank Rotation : N/A
Overall Speed Ratio : 49.2	Rod Damping Factors (up/down) : 0.15 / 0.25
Min/Max Tubing Head Press. (psi) : N/A	Buoyant Rod Weight (lbs) : 15754
Total Load on Pump (lbs) : 6752	Pump Bore Size (in) : 1.75
Pump Load Adjustment (lbs) : 0	Tubing Gradient (psi/ft) : 0.395
Pump Depth (ft) : 8830	Pump Intake Pressure (psi) : 672
Pump Friction (lbs) : 300	SV Load (lbs) : 15354
TV Load (lbs) : 22906	

Fuente: Software SROD v 6.8.4

Elaboración: José Brasales