



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACION DE UNIDADES
HPS EN LA ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN DEL CAMPO PUCUNA**

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEO

Presentado por:

Irene Elizabeth Choca Yupa

Marjorie Alexandra Quisnancela Romero

**Guayaquil – Ecuador
2018**

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, mi padre de perdón, amor y paciencia.

A mis Padres Luis Choca e Inés Yupa, y a mi abuelita Juanita Yungán que descansan en el Señor, con su infinito amor, siempre han estado conmigo. A mi tía Dolores Choca, mis hermanos, mis pastores Fidel Guamán y Manuel Guamán, y a mis amigos spoudanos, todos ellos me han ayudado a ser una mejor persona día a día, a caminar en la Verdad y me han brindado su apoyo incondicional en muchos momentos de mi vida.

Irene Elizabeth Choca Yupa

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar a cumplir este objetivo con sabiduría.

A mis Padres Gloria Romero y Fredy Quisnancela por ser el pilar fundamental de mi vida al brindarme su paciencia y apoyo incondicional en todo momento, a mis hermanos Alex y Ángelo por siempre estar ahí cuando más los necesitaba brindándome consejos y alentándome día a día, a mi tía Marujita Romero por su compañía y cariño, y a mis amigos por compartir momentos de alegría y aprendizaje en las aulas. Gracias a todos ellos porque me han permitido desarrollarme y progresar en mi vida.

Marjorie Alexandra Quisnancela
Romero.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral y a todos los profesores de la Facultad de Ciencias de la Tierra que han contribuido en nuestra formación académica.

A Petroamazonas EP, en especial al Ing. Patricio Alarcón por su colaboración en el desarrollo y realización del presente trabajo.

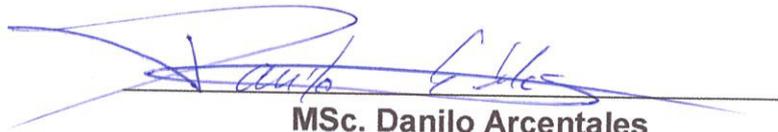
Irene Elizabeth Choca Yupa

Marjorie Alexandra Quisnancela

Romero

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

MSc. Xavier Vargas
COORDINADOR DE CARRERA



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Danilo Arcentales', is written over a horizontal line.

MSc. Danilo Arcentales
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA

MSc. Fernando Sagnay Sares
TUTOR DE MATERIA INTEGRADORA

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Materia Integradora, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Art. 12 del Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Irene Elizabeth Choca Yupa

Marjorie Alexandra Quisnancela Romero

RESUMEN

El propósito de este trabajo consiste en realizar un análisis de factibilidad para el reemplazo de las bombas quintuplex con el que cuenta el Sistema centralizado “Power Oil” por bombas HPS en la estación de producción del campo Pucuna. Uno de los principales objetivos de cambio de estas unidades es debido a que las bombas quintuplex trabajan a combustión interna, es decir, necesitan de un combustible para su funcionamiento, consumiendo alrededor de 260 galones de diésel diariamente cada unidad, representando un costo elevado de operación. Otra de las falencias que se quiere eliminar es el alto costo de mantenimiento que se le debe realizar a cada unidad, además de otros factores como la contaminación por ruido y las vibraciones. Los puntos que se tomarán en cuenta para el diseño de la bomba son presiones de succión, presiones de descarga, caudal total de inyección, número de etapas, frecuencia, potencia y eficiencia. Se procederá a la descripción de las facilidades de superficie con las que cuenta la estación incluyendo los equipos y componentes que forman parte del sistema centralizado actualmente.

Se describirá también a la unidad HPS (Horizontal Pump System), sus componentes y proceso de funcionamiento. Para el desarrollo de un correcto análisis de la implementación de las Unidades HPS, se tomó como referencia el catálogo de bombas del software PIPESIM para luego proceder a diseñar el esquemático de configuración de bombas en la estación. Este trabajo presenta fundamentos teóricos-técnicos, de los cuales se describen en cuatro capítulos a continuación:

El primer capítulo abarca la problemática, objetivos y marco teórico que justifica el desarrollo del presente proyecto. Luego en el capítulo dos, se describe la metodología que se utilizara para el desarrollo del tema a tratar. Siguiendo con la estructura del temario, en el capítulo tres se presenta los resultados obtenidos a través del análisis de la metodología de investigación. En el capítulo cuatro se muestran las conclusiones y recomendaciones que se deben tomar en cuenta al momento de implementar las unidades HPS.

Palabras claves: Quintuplex, HPS, Power Oil

ABSTRACT

The purpose of this work is to carry out a feasibility analysis for the replacement of the quintuplex pumps with which the centralized "Power Oil" system by HPS pumps in the production station of the Pucuna area. One of the main change objectives of these units is because the quintuplex pumps work under internal combustion, needing fuel for its operation, consuming about 260 gallons of diesel per unit daily, representing a high operation cost. Another of the shortcomings that we want to eliminate is the high maintenance cost that must be made to each unit, in addition to other factors such as noise pollution and vibrations. The items that will be taken into account for the design of the bomb are suction pressures, discharge pressures, total injection rate, number of stages, frequency, power and efficiency. It will proceed to the description of the surface facilities that the station have, including the equipment and components, currently parts of the centralized system currently.

Also, it will describe the HPS unit (Horizontal Pump System), as its components and operating process. For the development of a correct analysis of the HPS Units implementation, the PIPESIM software catalog of pumps was taken as a reference and then proceed to design the schematic of the pump configuration into the station. This work presents theoretical-technical basements, which are described in four chapters below:

The first chapter shows the problems, objectives and theoretical framework that justifies the development of this project. Then, in chapter two, the methodology that will be used for the development of the topic to be discussed is described. Following the structure of the agenda, chapter three presents the results obtained through the analysis of the research methodology. Chapter four shows the conclusions and recommendations that must be taken into account when implementing the HPS units.

Keywords: Quintuplex, HPS, Power Oil

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA _____	II
DEDICATORIA _____	III
AGRADECIMIENTO _____	IV
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN _____	V
DECLARACIÓN EXPRESA _____	VI
ÍNDICE GENERAL _____	III
ABREVIATURAS _____	VI
SIMBOLOGÍA _____	VII
ÍNDICE DE FIGURAS _____	VIII
ÍNDICE DE TABLAS _____	X
CAPÍTULO 1 _____	1
1. INTRODUCCIÓN _____	1
Descripción del problema _____	2
JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA _____	1
Objetivos _____	1
1.3.1 Objetivo General _____	1
1.3.2 Objetivos Específicos _____	1
Marco Teórico _____	2
1.4.1 Ubicación del campo Pucuna _____	2
1.5 Geología _____	5
1.5.1 Descripción Estructural _____	5
1.5.2 Descripción Estratigráfica _____	6
1.5.2.1 Formación Chapiza _____	6
1.5.2.2 Formación Hollín _____	7
1.5.2.3 Formación Napo _____	7
1.5.2.4 Formación Tiyuyacu _____	7
1.5.2.5 Formación Orteguaza _____	7
1.5.3 Descripción Litológica de los Yacimientos _____	7
1.5.3.1 Hollín Inferior _____	7
1.5.3.2 T Inferior _____	8
1.5.3.3 T Superior _____	8
1.5.3.4 U Superior _____	9
1.5.3.5 U Inferior _____	9
1.5.3.6 Basal Tena _____	9
1.6 Facilidades de Superficie _____	13

1.6.1 Estación de Producción	13
1.6.1.1 Componentes de la estación	15
1.6.1.1.1 <i>Manifold</i> o múltiple de recolección	15
1.6.1.1.2 Compresores de aire	15
1.6.1.1.3 Separadores Bifásicos	16
1.6.1.1.4 Bota de gas	17
1.6.1.1.5 Tanque de lavado (<i>Wash Tank</i>)	18
1.6.1.1.6 Tanque de surgencia o almacenamiento	20
1.6.1.1.7 Sistema Centralizado Power Oil	20
1.6.1.1.8 Sistema de reinyección de agua	21
1.6.1.1.9 Sistema contra incendios	22
1.6.2 Generación Eléctrica	22
1.6.3 Sistema Centralizado Power Oil	24
1.6.3.1 Bombas superficiales	24
1.6.3.1.1 Bombas <i>booster</i>	24
1.6.3.1.2 Bombas Quintuplex	25
1.6.3.2 Líneas de succión y de descarga	26
1.6.3.3 Motor	26
1.6.3.4 Tablero de control	27
1.6.3.5 Sistema de enfriamiento	28
1.6.4 Sistema de transferencia de crudo	29
1.6.5 Tanque de almacenamiento de combustible	30
1.6.6 Área de químicos	31
1.6.7 Sistema de reinyección de Agua	32
1.6.7.1 Principio de operación	35
1.7 Unidad Horizontal/ <i>Pump System</i> (HPS)	36
1.7.1 Componentes externos de la HPS:	37
1.7.1.1 Variador	37
1.7.1.2 Distribuidor de energía eléctrica	38
1.7.1.3 Bomba <i>Booster</i>	38
1.7.1.4 Medidores de flujo y presión	39
1.7.1.5 Líneas de descarga y de succión	40
1.7.1.6 Componentes internos de la HPS	40
1.7.1.6.1 Motor	40
1.7.1.6.2 Conjuntos de cojinetes	40
1.7.1.6.3 Cámara de empuje	41
1.7.1.6.4 Acoplamiento espaciador	41

1.7.1.6.5 Brida de descarga y brida de succión _____	41
1.7.1.6.6 Sello de extracción posterior _____	41
1.7.1.6.7 Sello mecánico _____	41
1.7.1.6.8 Sistema de contención de presión _____	42
1.7.1.6.9 Patín para servicio pesado _____	42
1.7.1.6.10 Bomba _____	42
1.7.1.7 Proceso operativo de la HPS _____	43
CAPÍTULO 2 _____	46
2. Metodología _____	46
2.1 Metodología de Investigación _____	46
2.2 Metodología de Campo _____	47
2.3.1 Tiempo de residencia del tanque de almacenamiento (Tr) _____	49
2.3.2 Diseño esquemático de bombas <i>Booster</i> _____	51
2.3.3.1 Cálculos analíticos y gráficos para el sistema con configuración de cuatro unidades _____	53
2.3.3.2 Cálculos analíticos y gráficos para el sistema con configuración de tres unidades _____	63
2.3.3.3 Pérdidas de presión en las líneas asociadas al sistema de Power Oil _____	74
2.3.3.4 Evaluación de la Red de Power Oil _____	76
CAPÍTULO 3 _____	80
RESULTADOS Y ANÁLISIS _____	80
3.1 Análisis de Costo _____	85
CAPÍTULO 4 _____	86
CONCLUSIONES _____	86
RECOMENDACIONES _____	87
BIBLIOGRAFIA _____	88
ANEXOS _____	92

ABREVIATURAS

API	American Petroleum Institute. Instituto Americano del Petróleo.
bbl, bbls	Barrel, barrels. (barril, barriles)
bbl/d, BPD	Barrels per day. (barriles por día)
bbl/h, BPH	Barrels per hour. (barriles por hora)
BS&W	Agua y sedimento (S&W)
°C	Celsius, grados Centígrados.
CF	Crudo Fiscalizado
cfm	cubic feet per minute. (pie cúbico por minuto)
cm	Centimetre. (Centímetro)
CSMS	Calidad, Seguridad, Medio Ambiente y Salud.
COW	Crude oil washing. (Lavado con petróleo crudo)
D/P	Diferencial Pressure (Presión Diferencial.)
fpm	feet per minute. (pie por minuto)
IP	Institute of Petroleum (Instituto de Petróleo)
°K	Kelvin (Grados Kelvin)
Kg	Kilogram. (Kilogramo)
OD	Outside Diameter. (Diámetro Externo)
PI	Presión inicial
ppm	Parts per million. (Partes por millón)
psi	pounds per square inch. (libras por pulgada cuadrada)
psig	pounds per square inch gauge. (Libras por pulgada cuadrada manométrica)
PT	Indicador de Temperatura
PV	Válvula de Presión
rpm	Revoluciones por minuto
Fmc	Fluido motriz cerrado

SIMBOLOGÍA

cm ³ =	Centímetros al cubo
cP =	Centi-poise
ft =	Feet
h =	Hora
in =	Pulgadas
km ² =	Kilómetros Cuadrados
lbf =	Libras fuerza
lpg =	Libra por Galón
mg/L =	Miligramos sobre litro
min =	Minutos
mm =	Milímetros
psi =	Libra por pulgada cuadrada
s =	Segundos
ppg =	Libra por Galón
° =	Grados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación del campo Pucuna.....	3
Figura 1.2 Mapa general de ubicación del campo Pucuna.....	4
Figura 1.3 Modelo Estructural del Campo Pucuna	6
Figura 1.4 Columna Estratigráfica de la Cuenca Oriente	11
Figura 1.5 Columna Estratigráfica General del Campo Pucuna	12
Figura 1.6 múltiple de recolección (manifold)	15
Figura 1.7 Compresores de aire	16
Figura 1.8 Separadores bifásicos	17
Figura 1.9 Bota de gas	18
Figura 1.10 Tanque de lavado en reparación.....	19
Figura 1.11 Tanque de surgencia usado	19
como tanque de lavado	19
Figura 1.12 tanque de almacenamiento	20
Figura 1.13 Sistema centralizado Power Oil.....	21
Figura 1.14 Bombas HPS, parte del sistema de reinyección.....	21
Figura 1.15 Sistema contra incendios	22
Figura 1.16 Generador eléctrico del campo Pucuna	23
Figura 1.17 bombas booster.....	25
Figura 1.18 Bomba Quintuplex.....	26
Figura 1.19 motor de bomba quintuplex	27
Figura 1.20 tablero de control.....	28
Figura 1.21 sistema de enfriamiento	29
Figura 1.22 sistema de transferencia de crudo.....	30
Figura 1.23 Tanque de almacenamiento de diesel.....	31
Figura 1.24 Área de químicos.....	32
Figura 1.25 Unidades de bombeo horizontal (HPS)	33
Figura 1.26 Centros de cargas y distribución	34
Figura 1.27 Tanques de reinyección de agua de formación	34
Figura 1.28 Variador (VFD)	37
Figura 1.29 Distribuidor de energía eléctrica	38
Figura 1.30 Bomba Booster.....	39

Figura 1.31 Medidor de turbina (Izq.) Analizador MCII, acoplado a la turbina	39
Figura 1.32 Bomba centrífuga de dos etapas	44
Figura 1.33 Bomba horizontal multietapas (HPS).....	45
Figura 2.1 Esquema y características de bombas booster	52
Figura 2.2 Esquema de unidades HPS	53
Figura 2.3 Curva de bomba HC7000	54
Figura 2.4 Curva y características de bomba HC7000	55
Figura 2.5 Curva de bomba S8000N	56
Figura 2.6 Curva y características de bomba S8000N	56
Figura 2.7 Curva de bomba HC9000	57
Figura 2.8 Curva y características de bomba HC9000	58
Figura 2.9 Curva de bomba TJ9000	59
Figura 2.10 Curva y características de bomba TJ9000	60
Figura 2.11 Esquema de unidades HPS	63
Figura 2.12 Curva de bomba TI10000	64
Figura 2.13 Curva y características de bomba TI10000	65
Figura 2.14 Curva de bomba TJ10000	66
Figura 2.15 Curva y características de bomba TJ10000	67
Figura 2.16 Curva de bomba TE11000	68
Figura 2.17 Curva y características de bomba TE11000.....	68
Figura 2.18 Curva de bomba HC12000	69
Figura 2.19 Curva y características de bomba HC12000	70
Figura 2.20 Curva de bomba TJ12000	71
Figura 2.21 Curva y características de bomba TJ12000	72
Figura 3.1 Curva y características de bomba HPS ideal	80
Figura 3.2 Configuración de unidades HPS.....	82
Figura 3.3 Esquemático a futuro de red Power Oil	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Generadores eléctricos.....	23
Tabla 1.2 Componentes del sistema Power Oil.....	24
Tabla 1.3 Características del tanque de reinyección.....	35
Tabla 1.4 Características operativas de bombas booster.....	36
Tabla 1.5 Características operativas de las bombas HPS.....	36
Tabla 2.1 Datos de producción del Sistema Power Oil.....	47
Tabla 2.2 Datos de producción del Sistema Power Oil.....	49
Tabla 2.3 Datos actuales de tanque.....	50
Tabla 2.4 Resultados de las bombas con configuración de 4 unidades horizontales....	62
Tabla 2.5 Resultados de las bombas con configuración de 3 unidades horizontales....	73
Tabla 2.6 Criterios de velocidad para líneas de bombas.....	74
Tabla 2.7 Resultados de las líneas asociadas al sistema Power Oil.....	75
Tabla 2.8 Evaluación hidráulica red de power oil.....	77
Tabla 3.1 Parámetros operacionales de la bomba ideal.....	81
Tabla 3.2 Análisis de costo de unidades horizontales.....	85

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Petroamazonas EP es una empresa estatal creada con la finalidad de administrar la producción petrolera, así como también de la exploración y explotación de los hidrocarburos en el Ecuador. Actualmente PAM EP tiene a cargo la operación de 21 bloques petroleros de los cuales 18 de ellos están ubicados en la cuenca oriente y los 3 restantes en la costa.

Dentro de los bloques que opera Petroamazonas está el bloque 44 o también llamado campo Pucuna el cual se encuentra situado al noroeste del país en la región amazónica de la Provincia de Francisco de Orellana.

Para el año de 1970 Texaco descubre el campo Pucuna e inicia su producción en abril de 1990 con la perforación del primer pozo denominado Pucuna 001, alcanzando así una producción total de 980 BPPD de las arenas Hollín, T, y U que son arenas que tienen características de entrapamiento estratigráfico con mecanismo de drenaje o de producción por gas en solución y expansión de roca y fluido, la gravedad API de este pozo se encontraba entre el 26 – 31 grados siendo este un petróleo de tipo liviano.

Con el transcurrir el tiempo y con estudios sísmicos que se le realizó al campo se procede a perforar el segundo pozo denominado Pucuna 002 el cual proporcionaba una producción total de 4.256 BPPD así mismo de las arenas Hollín, T y U con gravedades API de 26°, 34° y 29° respectivamente.

En el año 2008 fue adjudicado como campo marginal el campo Pucuna al Consorcio petrolero CPA, este consorcio designa a SUELOPETROL como

compañía operadora del campo entrando en operación a mediados del mes de Abril del mismo año con una producción inicial de 2.200 BPPD.

En enero del 2011 el campo Pucuna pasa a pertenecer al estado ecuatoriano teniendo como compañía operadora a PETROAMAZONAS EP. A Finales del mes de junio del mismo año el campo Pucuna cuenta con 12 pozos en producción, un pozo inyector, un pozo reinyector, 2 pozos en mantenimiento por trabajos de *work-over* y un pozo cerrado.

Actualmente el campo cuenta con un total de 17 pozos, de los cuales 14 pozos están en producción, 1 pozo cerrado, 1 pozo inyector de agua que se encuentra cerrado hasta implementar la recuperación secundaria y 1 pozo reinyector de agua de formación. La producción del campo es de aproximadamente 1.700 BPPD, la gravedad API promedio del crudo es 30,5°. El agua de producción es reinyectada por el pozo Pucuna-04 a la formación Hollín.

Descripción del problema

Actualmente el campo Pucuna opera sus pozos con el sistema de levantamiento artificial por bombeo hidráulico tipo jet, a través del sistema *Power Oil* que emplea como fluido motriz el petróleo para ser inyectado a alta presión al fondo del pozo con la ayuda de una unidad de potencia el mismo que se mezcla con el fluido producido para luego ser llevado a superficie y conducido a la estación de producción para iniciar su proceso de separación.

Uno de los varios componentes con los que cuenta el sistema Power Oil son las bombas Quintuplex que son unidades de bombeo de alta presión reciprocantes de tipo desplazamiento positivo accionadas por un motor a

combustión interna, la presión de succión y de descarga de estas bombas son de 50 psi y 4.160 psi respectivamente.

Dichas bombas pueden ser reemplazadas en el sistema mejorando el rendimiento de éste y por consiguiente otros factores como la disminución del alto consumo de combustible diésel, el costo elevado de mantenimiento, la reducción de la contaminación por ruido y la vibración. Es por esto que se busca reemplazar en el campo las unidades Quintuplex por unidades HPS.

Las unidades HPS son bombas horizontales de tipo centrifuga que superan el rendimiento de operación de las quintuplex e incrementan el caudal de succión en superficie. Estas bombas trabajan con una presión de hasta 6650 psi (Schlumberger, 2018).

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Las unidades HPS optimizan el rendimiento del bombeo gracias al sistema multi-etapas con el que cuenta la bomba centrífuga incrementando la presión de inyección a través del impulsor y el difusor, el bajo costo de mantenimiento, el bajo nivel de ruido y la baja vibración representan ventajas importantes que permiten mejorar el sistema Power Oil convirtiéndose en una alternativa confiable y flexible en comparación a otras unidades.

Estas unidades tienen la capacidad de desplazar todo tipo de fluidos provenientes de los yacimientos especialmente los fluidos más pesados, que son con los que comúnmente cuenta el oriente ecuatoriano.

En este campo de estudio se cuenta con un crudo liviano (30.5 °API) con el que trabaja la estación centralizada.

Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar unidades HPS en el campo Pucuna con la finalidad de optimizar las facilidades que componen el Sistema Power Oil en superficie.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir los componentes principales que conforman la unidad HPS.
- Detallar los parámetros operacionales de las unidades HPS para su correcto funcionamiento.
- Determinar el tipo de bomba ideal para el sistema con sus características principales tales como presión, frecuencia, potencia y eficiencia.
- Analizar las variables de factibilidad del equipo a implementar.

Marco Teórico

1.4.1 Ubicación del campo Pucuna

El campo Pucuna se encuentra situado en la Provincia de Francisco de Orellana en la Región Amazónica del Ecuador en el centro oeste de la cuenca oriente, que limita al norte con el Campo Palo Azul, al este con el Campo Sacha y al suroeste con los Campos Paraíso, Biguno y Huachito.

La ubicación geográfica del campo es como sigue a continuación:

LONGITUD 76° 58' 00" OESTE
77° 04' 00" OESTE

LATITUD 00° 13' 00" SUR
00° 18' 00" SUR

En la figura 1.1 y 1.2 se muestran el mapa de ubicación del campo Pucuna.

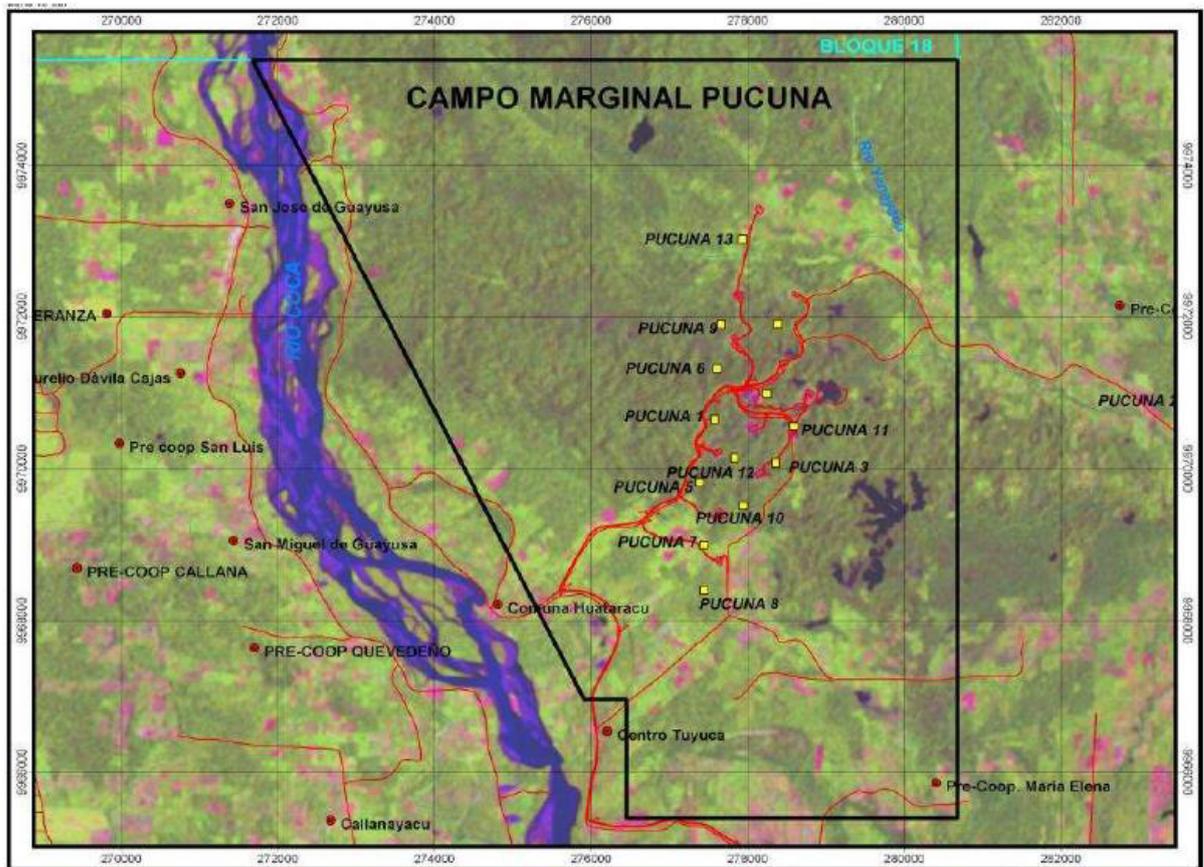


Figura 1.1 Mapa de ubicación del campo Pucuna
Fuente: Departamento de Cartografía (PETROECUADOR, 2012)

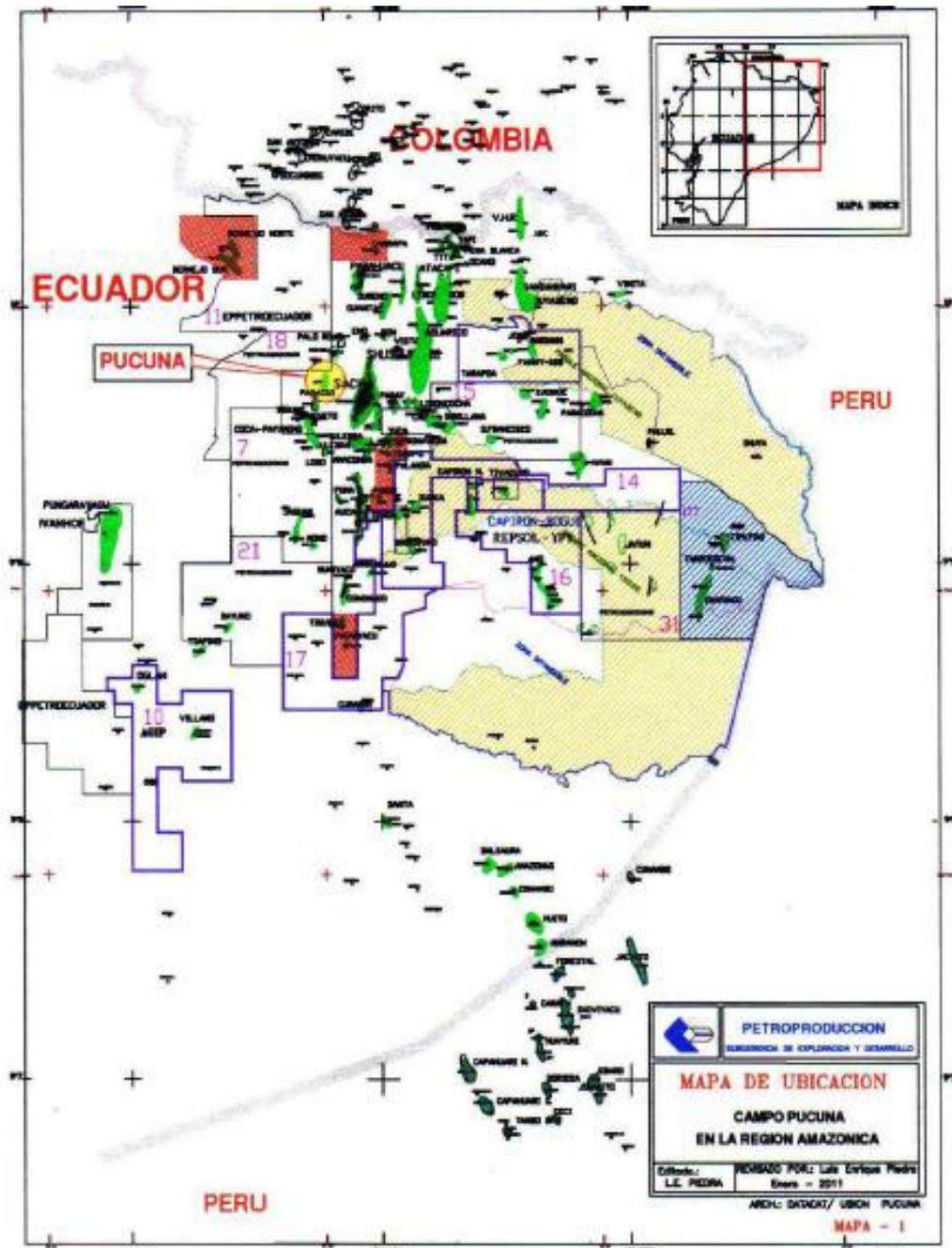


Figura 1.2 Mapa general de ubicación del campo Pucuna
Fuente: Departamento de Cartografía(PETROECUADOR, 2012)

1.5 Geología

1.5.1 Descripción Estructural

“La estructura geológica del campo Pucuna, está conformado por un anticlinal asimétrico, donde el eje mayor va en dirección NE-SO, con buzamiento suave de aproximadamente 8 grados. Tiene una longitud aproximada de 4.5 Km. en toda la línea del eje mayor. El campo Pucuna está acotado al este como al oeste por fallas inversas o normales invertidas en el paleógeno, las cuales son de muy bajo desplazamiento, además que resultarían ser o no barreras al flujo de fluidos.

En dirección al límite sur, se encuentra un cierre estructural. Este alto estructural se ve reflejado en todos los horizontes productores del campo como lo son: Basal Tena, U, T, y Hollín; pero su interpretación proviene de una línea sísmica 2D, que fue comprada en tres diferentes campañas” (Agila, 2012).

En la figura 1.3 se muestra el modelo estructural del campo Pucuna.

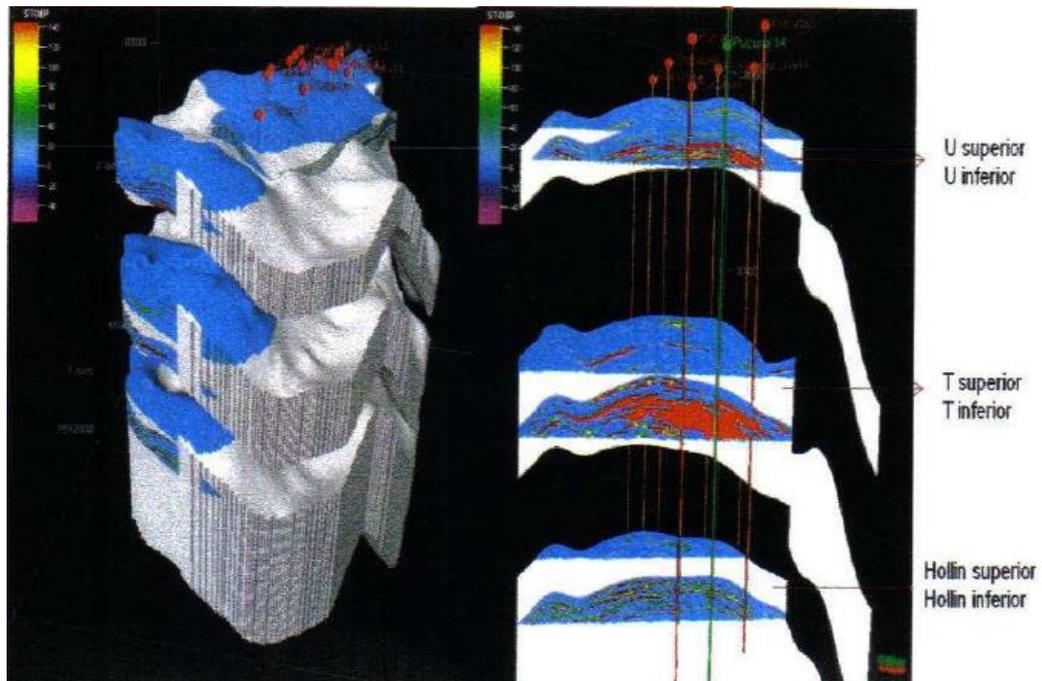


Figura 1.3 Modelo Estructural del Campo Pucuna
Fuente: Archivo Técnico (PETROECUADOR, 2012)

En el Anexo 1.1 se presenta el mapa estructural al tope de la arena T Inferior, como el yacimiento más representativo del campo Pucuna y también se observa la estructura Pucuna Suroeste.

1.5.2 Descripción Estratigráfica

“La estratigrafía que atraviesa el campo Pucuna está formada por rocas que comprenden desde la Edad del Jurásico al Cuaternario y están representadas por las formaciones: Chapiza, Hollín, Napo, Tiyuyacu y Orteguzaza” (Agila, 2012).

1.5.2.1 Formación Chapiza

“La formación Chapiza está compuesta por rocas volcánicas Felsíticas. Su espesor es de aproximadamente 36 pies” (Agila, 2012).

1.5.2.2 Formación Hollín

La formación Hollín se encuentra en discordancia angular relativo a la formación Chapiza. Su espesor comprende los 325 pies.

1.5.2.3 Formación Napo

Formación de fácil reconocimiento por la existencia de caliza, además de lutitas con intercalaciones de areniscas.

1.5.2.4 Formación Tiyuyacu

Yace sobre la formación Tena y corresponde a un ambiente continental fluvial.

1.5.2.5 Formación Orteguaza

La formación Orteguaza tiene presencia de lutita con pequeñas intercalaciones de arena fina. Su espesor posee un valor de aproximadamente 500 pies.

En la figura 2.4 se muestra la columna estratigráfica de la cuenca oriente y en la figura 2.5 del campo Pucuna.

1.5.3 Descripción Litológica de los Yacimientos

Los yacimientos productores del campo Pucuna son los siguientes:

1.5.3.1 Hollín Inferior

Su litología es una arenisca cuarzosa que revela un ambiente continental y cuenta con las siguientes características:

- Color café claro
- Grano medio
- Forma subredondeada
- Selección de regular a buena
- Cemento silíceo

- Porosidad= 15.4%
- Sw= 28.8%
- ho=32.2 pies

(Agila, 2012).

1.5.3.2 T Inferior

En su litología contiene arenisca glauconítica que refleja un ambiente transicional marino, con las características siguientes:

- Color gris verdoso intenso y café claro
- Grano fino a medio
- Forma subredondeada y subangular
- Selección regular
- Cemento calcáreo
- Porosidad= 13.1%
- Sw= 14.9%
- ho= 31.5 pies

(Agila, 2012).

1.5.3.3 T Superior

Constituido por arenisca glauconítica intercalada de lutitas y calizas que cuenta con las características siguientes:

- Color gris verdoso intenso y gris oscuro
- Grano fino
- Forma subangular
- Selección regular a pobre
- Cemento calcáreo
- Porosidad= 10.1%
- Sw= 25.4%
- ho= 7.8 pies

(Agila, 2012).

1.5.3.4 U Superior

“Comprende la zona entre los topes de la arenisca T Superior y la arenisca U Superior, esta unidad posee un espesor promedio de 200 pies y consta de una serie de areniscas, calizas y lutitas que incluyen la caliza B, lutita U, caliza U y los miembros areniscas U Inferior y U Superior” (A., 2017).

1.5.3.5 U Inferior

Conformada por areniscas cuarzosas que cuenta con las siguientes características:

- Color gris claro a gris oscuro
- Grano fino a grano medio
- Forma subangular
- Selección regular a mala
- Cemento silíceo
- Porosidad=16.6%
- Sw=20.8%
- ho=13.2 pies

(Agila, 2012).

1.5.3.6 Basal Tena

Compuesto por areniscas cuarzosas con las características siguientes:

- Color gris oscuro
- Grano fino a grano medio
- Forma subangular
- Selección mala
- Cemento calcáreo
- Porosidad=15.4%

- $S_w=25.3\%$
- $h_o=10.3$ pies

(Agila, 2012).

En la figura 1.4 y figura 1.5 se muestra la columna estratigráfica de la cuenca oriente y la columna estratigráfica general del campo Pucuna respectivamente.

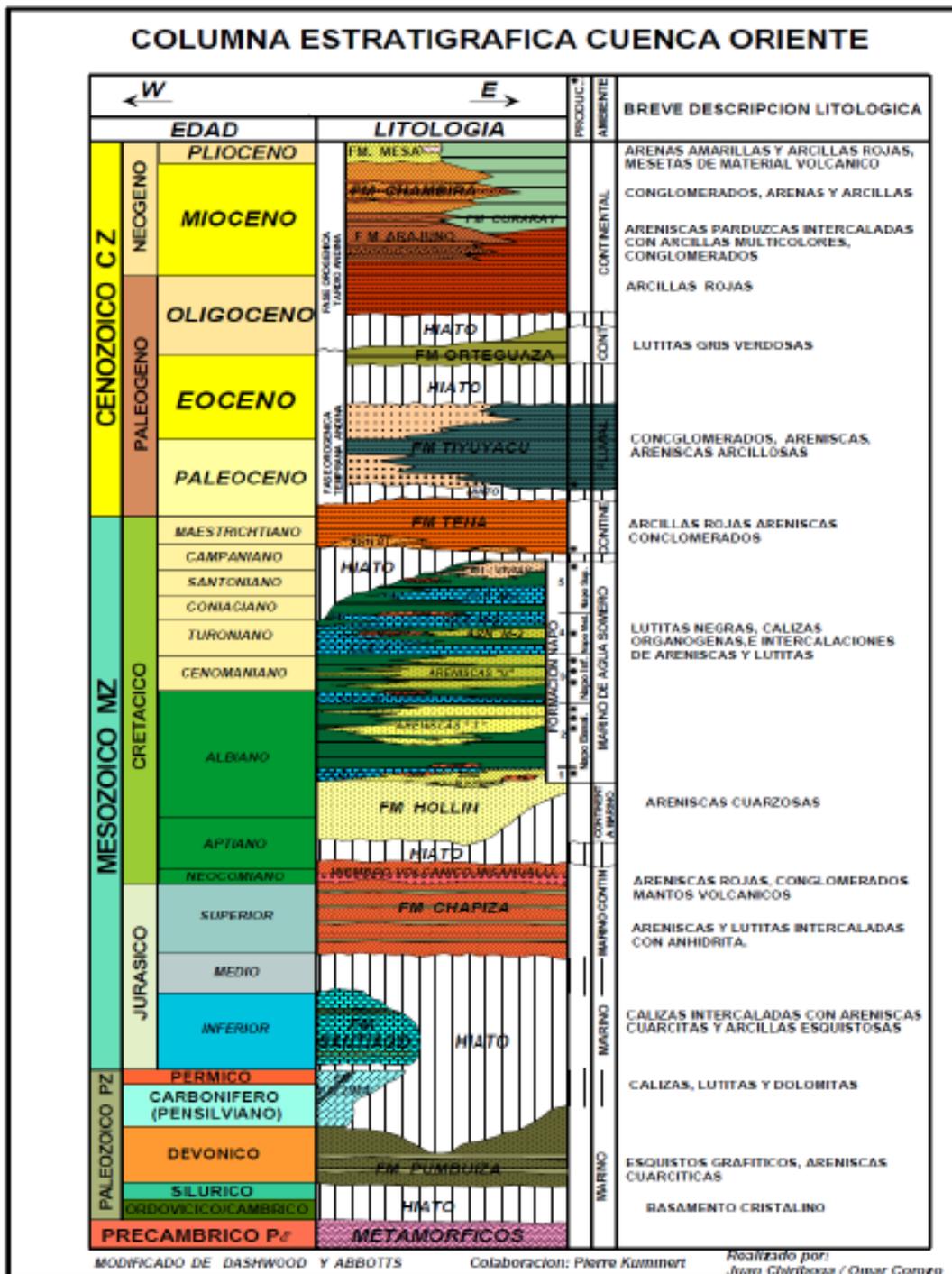


Figura 1.4 Columna Estratigráfica de la Cuenca Oriente
Fuente: Departamento de Cartografía (PETROECUADOR, 2012)

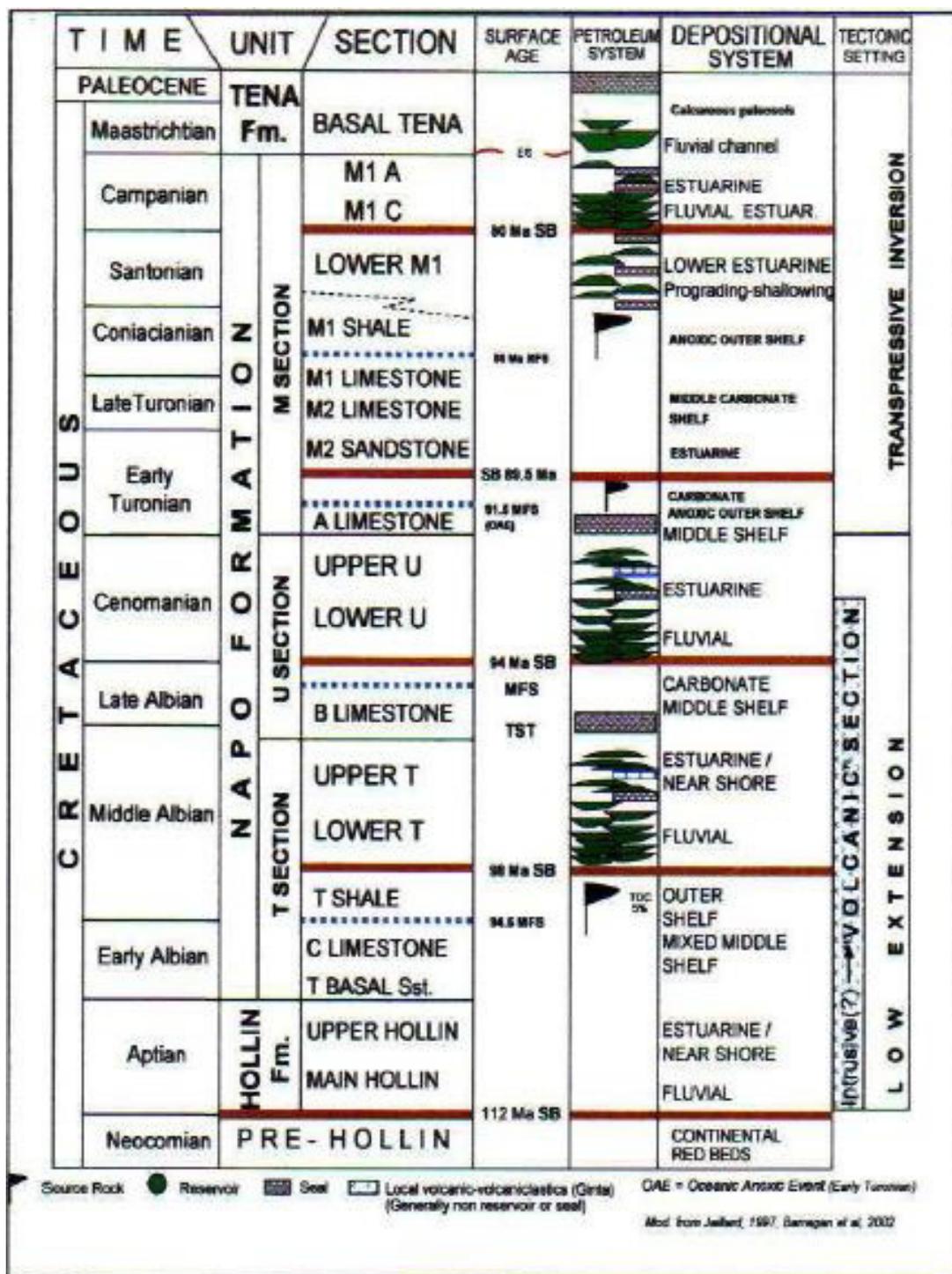


Figura 1.5 Columna Estratigráfica General del Campo Pucuna
Fuente: Departamento de Cartografía (PETROECUADOR, 2012)

1.6 Facilidades de Superficie

1.6.1 Estación de Producción

La estación de producción Pucuna recibe el fluido proveniente de los 12 pozos productores a través de un múltiple de producción o *manifold* para su respectivo proceso de separación, dicho fluido es enviado hacia dos separadores bifásicos con capacidades de 5.000bls y 8.000bls donde por acción de la gravedad se separan el crudo y el agua, para la optimización del proceso de separación y con la finalidad de evitar o mitigar problemas que pueden repercutir negativamente sobre el flujo de producción se inyecta químicos al crudo como:

- demulsificantes
- antiparafínicos
- antiescala
- anticorrosivo
- antiespumantes

Luego el crudo es enviado hacia la bota de gas para continuar con el proceso de separación y eliminar partículas de gas contenidas en el crudo, de la bota de gas el crudo es enviado al tanque de lavado para luego así ser almacenado en el tanque de surgencia.

Toda la producción de crudo es fiscalizada, parte de ella es utilizada para el sistema *power oil* y la parte restante es transferida a la planta de producción del campo Pata por medio de una tubería de 6 pulgadas de diámetro cedula 80.

La Estación Pucuna maneja una producción diaria en promedio de 1.700 bls a 1.720 bls de crudo proveniente de sus 14 pozos en producción con un BSW de 39.8 %, un grado °API promedio de 30,8 y una producción de gas de 913 MPC.

Para el proceso de inyección la estación de producción cuenta con un sistema centralizado *power oil* donde se emplea como fluido motriz el crudo proveniente del tanque de surgencia o de almacenamiento. Dentro de este sistema existen 7 unidades quintuplex instaladas que funcionan a combustión interna es decir requieren de un combustible necesario para su funcionamiento en este caso diésel. Dentro de las siete unidades quintuplex 5 unidades se encuentran operativas actualmente, una está en mantenimiento y la última unidad sirve de back up (reemplazo) ante cualquier emergencia. El volumen que se emplea como fluido motriz es de 20000 barriles diarios a una presión de 4150 a 4200 psi.

Para la conducción del fluido motriz se utiliza una tubería de 3 ½ pulgadas de diámetro la cual se conecta con cada pozo mediante líneas de 2 3/8 o 2 7/8 de pulgadas. En cada uno de los pozos se encuentra instalada una válvula de control para ajustar el volumen de inyección (Aguila, 2012).

El sistema de inyección *power oil* es un sistema centralizado que cuenta con dos bombas *booster* que son las que succionan el crudo del tanque de almacenamiento a una baja presión de alrededor de los 40 a 50 psi promedio, las unidades quintuplex reciben este fluido aumentando la presión a través de los pistones de cada bomba para que estas envíen el fluido de inyección con una mayor presión hacia los pozos destinados, el fluido ingresa por la tubería de producción o *tubing* hasta el fondo del pozo, empuja el petróleo de la formación y este asciende en conjunto con la producción del pozo por el espacio anular hacia la superficie retornando a la estación para continuar con el proceso, a esto se le llama un sistema de fluido cerrado (Fmc).

Dicho sistema posee un equipo de enfriamiento compuesto por 3 radiadores para la protección y seguridad de estos.

1.6.1.1 Componentes de la estación

1.6.1.1.1 *Manifold* o múltiple de recolección

Es conjunto de líneas y válvulas que sirve para direccionar el fluido hacia los separadores a la bota de gas y en algunos casos se puede direccionar directo al tanque de lavado.

En la figura 1.6 se muestra el múltiple de recolección (*manifold*) de la estación.



Figura 1.6 múltiple de recolección (*manifold*)

Fuente: (Choca-Quisnancela, 2018)

1.6.1.1.2 Compresores de aire

Es un sistema automático que sirve para aumentar la presión del aire y distribuir a los distintos equipos que se utilizan en la estación. Consta de dos compresores, una en uso y la otra en back-up o reserva, y de dos tanques de almacenamiento de aire. Trabaja en un rango de presiones de (80mínimo – 120máximo) psi.

En la **figura 1.7** se muestra los compresores de aire de la estación.



Figura 1.7 Compresores de aire
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

1.6.1.1.3 Separadores Bifásicos

Sirve para separar el líquido del gas, interiormente cuenta con unos baffles que permite que el fluido al ingresar choque con ellos y el gas se desprenda del líquido. Tienen válvulas de control de nivel de alta y de baja que funcionan neumáticamente.

En la **figura 1.8** se muestra los separadores bifásicos.



Figura 1.8 Separadores bifásicos
Fuente: (Choca-Quisnancela, 2018)

1.6.1.1.4 Bota de gas

Es un separador vertical que realiza la misma función de un separador horizontal bifásico, cuenta con unos baffles en su parte interna separando las partículas de gas que aún están contenidas en el crudo.

Adicional a esto la bota de gas trabaja a la presión atmosférica.

En la **figura 1.9** se muestra la bota de gas.



Figura 1.9 Bota de gas
Fuente: (Choca-Quisnancela, 2018)

1.6.1.1.5 Tanque de lavado (*Wash Tank*)

La función de este tanque es separar el crudo del agua mediante temperatura y químicos que vienen desde los separadores. Este tanque opera con un colchón de 13.7 ft que sirve para mantener la temperatura interna del tanque. Actualmente, el tanque de surgencia se está utilizando como tanque de lavado ya que éste se encuentra en reparación.

En la **figura 1.10** y **figura 1.11** se muestran el tanque de lavado y el tanque de surgencia respectivamente.



Figura 1.10 Tanque de lavado en reparación
Fuente: (Choca-Quisnancela, 2018)



Figura 1.11 Tanque de surgencia usado como tanque de lavado
Fuente: (Choca-Quisnancela, 2018)

1.6.1.1.6 Tanque de surgencia o almacenamiento

Tanque que sirve para almacenar el crudo que será utilizado para el sistema centralizado *power oil* y para la transferencia de la producción diaria del campo hacia el oleoducto SOTE.

En la **figura 1.12** se muestra el tanque de almacenamiento.



Figura 1.12 tanque de almacenamiento
Fuente: (Choca, Quisnancela, 2018)

1.6.1.1.7 Sistema Centralizado Power Oil

El sistema *power oil* cumple con la función de bombear fluido motriz “crudo” hacia los distintos pozos de bombeo hidráulico con una presión de planta estable de aproximadamente 4150psi. Consta de dos bombas *booster* de succión, y siete unidades quintuplex.

En la **figura 1.13** se muestra el sistema centralizado Power Oil.



Figura 1.13 Sistema centralizado Power Oil
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

1.6.1.1.8 Sistema de reinyección de agua

El sistema de reinyección cumple con la función de reinyectar el agua que produce los pozos del campo. Consta de dos tanques de pulido, dos bombas *booster* de succión y dos bombas horizontales para el bombeo hacia el pozo reinyector PCN-004.

En la **figura 1.14** se muestra las Bombas HPS como parte del sistema de reinyección.



Figura 1.14 Bombas HPS, parte del sistema de reinyección

Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

1.6.1.1.9 Sistema contra incendios

Sistema que evita un evento no deseado que atente contra la seguridad del personal y la estación. Consta de un tanque de agua de reservorio y dos bombas, una bomba mecánica y otra eléctrica, que funcionan cuando sucede un evento de peligro. Se realiza una prueba al sistema cada ocho días.

En la **figura 1.15** se muestra el sistema contra incendios.



Figura 1.15 Sistema contra incendios

Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

1.6.2 Generación Eléctrica

La generación eléctrica es proporcionada por tres generadores de combustión interna que se encuentran en la planta de producción abasteciendo de electricidad a varios sistemas de transferencia de crudo y agua, como también a la iluminación (Agila, 2012).

En la tabla 1.1 se detalla los componentes de la central de generación eléctrica.

Tabla 1.1 Generadores eléctricos

EQUIPO	CARACTERISTICAS	CAPACIDAD
GENERADOR 01	MOTOR CATERPILLAR 3406 GENERADOR CATERPILLAR 275 KW	275 KW
GENERADOR 02	MOTOR CATERPILLAR 3406 GENERADOR CATERPILLAR 480 KW	480 KW
GENERADOR 03	MOTOR CATERPILLAR 3412 GENERADOR CATERPILLAR 476 KW	476 KW

Fuente: Departamento de mantenimiento
Elaborado por: (Choca-Quisnancela, 2018)

En la **figura 1.16** se muestra uno de los tres generadores eléctricos del campo Pucuna.



Figura 1.16 Generador eléctrico del campo Pucuna
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

1.6.3 Sistema Centralizado Power Oil

La función del sistema centralizado Power Oil es bombear fluido motriz “crudo” hacia los distintos pozos de bombeo hidráulico con una presión de planta estable de aproximadamente 4150psi. Describiremos el equipo y los componentes utilizados para el sistema de inyección en superficie compuesto por bombas, líneas de flujo de succión y de descarga, motor, variador, entre otros.

Actualmente, la estación de producción inyecta un promedio de 20,000BPD de fluido motriz a los 14 pozos productores.

En la tabla 1.2 se aprecia los componentes del Sistema Power Oil.

Tabla 1.2 Componentes del sistema Power Oil

EQUIPO-ACCESORIO	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD
BOMBA BOOSTER 01	BOMBA CENTRÍFUGA MISSION MAGNUN-MOTOR CAT 3304; 90HP	470 PSI
BOMBA BOOSTER 02	BOMBA CENTRÍFUGA MISSION MAGNUN-MOTOR CAT 3304; 78HP	470 PSI
UNIDAD DE BOMBEO DE ALTA PRESIÓN 01	QUINTUPLEX 300Q-5H/NATIONAL MOTOR CATERPILLAR	4000PSI/3000BIPD
UNIDAD DE BOMBEO DE ALTA PRESIÓN 02	QUINTUPLEX 300Q-5H/NATIONAL MOTOR CATERPILLAR	4000 PSI/3000BIPD
UNIDAD DE BOMBEO DE ALTA PRESIÓN 03	QUINTUPLEX 300Q-5H/NATIONAL MOTOR CATERPILLAR	4000 PSI/3000BIPD
UNIDAD DE BOMBEO DE ALTA PRESIÓN 04	QUINTUPLEX 300Q-5H/NATIONAL MOTOR CATERPILLAR	4000 PSI/3000BIPD
UNIDAD DE BOMBEO DE ALTA PRESIÓN 05	QUINTUPLEX 300Q-5H/NATIONAL MOTOR CATERPILLAR	4000 PSI/3000BIPD
UNIDAD DE BOMBEO DE ALTA PRESIÓN 06	QUINTUPLEX 300Q-5H/NATIONAL MOTOR CATERPILLAR	4000 PSI/3000BIPD
UNIDAD DE BOMBEO DE ALTA PRESIÓN 07	QUINTUPLEX 300Q-5H/NATIONAL MOTOR CATERPILLAR	4000 PSI/3000BIPD

Fuente: Departamento de Mantenimiento

Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

1.6.3.1 Bombas superficiales

1.6.3.1.1 Bombas *booster*

Las bombas *booster* son bombas que se alimentan del fluido motriz proveniente del tanque de almacenamiento la cual trabaja a la presión

necesaria para el funcionamiento de la bomba quintuplex. Esta planta cuenta con dos bombas *booster* una eléctrica y una de combustión interna. La **figura 1.17** muestra la bomba *booster* del sistema.



Figura 1.17 bombas *booster*
Fuente: (Choca-Quisnancela, 2018)

1.6.3.1.2 Bombas Quintuplex

Las bombas quintuplex son las responsables de impulsar el fluido motriz en este tipo de levantamiento artificial, una bomba se subdivide en dos terminales: terminal de fluido y terminal de potencia.

Terminal de potencia: abarca los engranajes, el cigüeñal y la biela.

Terminal de fluido abarca: émbolos individuales, cada uno con válvulas de retención y descarga, las mismas que acostumbran a estar equipadas con resortes (Agila, 2012).

Las bombas quintuplex habitualmente instaladas en el campo Pucuna son del tipo recíprocante de desplazamiento positivo.

En la **Figura 1.18** se muestra una ilustración de la bomba quintuplex utilizada en superficie para la inyección del fluido motriz al sistema de levantamiento artificial.



Figura 1.18 Bomba Quintuplex.
Fuente: (PAM EP, 2018)

1.6.3.2 Líneas de succión y de descarga

Líneas de diferentes diámetros y material de fabricación, que sirven para transportar fluidos dependiendo de la presión y caudal que se requiera. Las líneas de succión tiene un diámetro de 10 pulgadas cedula 80 y la línea de descarga tiene diámetro de 6 pulgadas cedula 180.

1.6.3.3 Motor

Motor de combustión interna encargado de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento de la bomba.

En la **Figura 1.19** se muestra una ilustración del motor con el que trabaja las bombas quintuplex.



Figura 1.19 motor de bomba quintuplex
Fuente: (Choca, Quisnancela, 2018)

1.6.3.4 Tablero de control

Equipo de potencia que se utiliza para el control de varios parámetros del motor y de la bomba, datos como temperatura del motor y de la bomba, reductor de velocidad, presión de succión, presión de descarga, presión de aceite, entre otros.

En la **Figura 1.20** se muestra una ilustración del tablero de control de las unidades quintuplex.



Figura 1.20 tablero de control
Fuente: (Choca-Quisnancela, 2018)

1.6.3.5 Sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento sirve para mantener la temperatura ideal en las unidades de *power oil*. Consta de tres radiadores, un tanque de almacenamiento de agua con capacidad de 200bls, dos bombas de succión, una línea de descarga de 6 pulgadas y cedula 60 que llega a los motores de las unidades *power oil* para enfriarlas.

En la **Figura 1.21** se muestra una ilustración del sistema de enfriamiento de las unidades *power oil*.



Figura 1.21 sistema de enfriamiento
Fuente: (Choca-Quisnancela, 2018)

1.6.4 Sistema de transferencia de crudo

Sistema que bombea la producción diaria del campo Pucuna a la estación Pata. Consta de dos bombas, dos medidores de flujo y un recolector para muestras de fiscalización.

En la **Figura 1.22** se muestra una ilustración del sistema de transferencia de crudo.



Figura 1.22 sistema de transferencia de crudo

Fuente: (Choca-Quisnancela, 2018)

1.6.5 Tanque de almacenamiento de combustible

Hay un tanque que recibe el combustible tipo diésel y otro tanque que almacena el diésel filtrado. El combustible abastece a los generadores y a los motores de las unidades quintuplex.

En la **Figura 1.23** se muestra una ilustración de uno de los tanques de almacenamiento de combustible.



Figura 1.23 Tanque de almacenamiento de diésel
Fuente: (Choca-Quisnancela, 2018)

1.6.6 Área de químicos

Se requiere para inyectar a los separadores y en el fluido motriz con la finalidad de que se separe el crudo del agua.

En la **Figura 1.24** se muestra una ilustración del área de químicos.



Figura 1.24 Área de químicos
Fuente: (Choca-Quisnancela, 2018)

1.6.7 Sistema de reinyección de Agua

El sistema de reinyección de agua de formación está compuesto por dos unidades de bombeo horizontal multietapas (HPS), ambas en funcionamiento, una bomba se encuentra en uso y la otra sirve de back-up o reserva. Las dos bombas están ubicadas dentro de la estación de producción, la cual bombea el agua hacia el pozo reinyector PCN-004. En la figura 2.6 se muestra las unidades de bombeo horizontal multietapas.

En la **Figura 1.25** se muestra las unidades de bombeo horizontal.



Figura 1.25 Unidades de bombeo horizontal (HPS)

Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

La bomba HPS entra en funcionamiento cuando se enciende el *braker* del tablero de transferencia para finalmente prender la bomba *booster* mediante el variador, la cual trabaja con un arranque óptimo de 42Hz. El sistema de reinyección de agua en la estación tiene dos bombas *booster*, ambas en funcionamiento, una bomba se encuentra en uso y la otra sirve de back-up o reserva.

En la **Figura 1.26** se muestra los centros de carga y distribución.

La bomba *booster* succiona el agua que proviene de los tanques de reinyección de agua de formación, localizados aproximadamente a 50m de distancia de éstas. En la **Figura 1.27** se muestra los tanques de reinyección de agua de formación.



Figura 1.26 Centros de cargas y distribución
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)



Figura 1.27 Tanques de reinyección de agua de formación
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

1.6.7.1 Principio de operación

El funcionamiento del sistema de reinyección en la estación empieza desde los tanques de reinyección de agua de formación, la cual es alimentada por el agua proveniente del *wash tank* (tanque de lavado) que trabaja legalmente con un colchón de agua a 13.7pies de altura. La altura del colchón de agua puede variar según el porcentaje de BSW presente en los fluidos.

Los tanques de reinyección descargan el agua por una línea hacia la bomba *booster*, la cual succiona y lo descarga hacia la bomba horizontal multietapa (HPS). La bomba horizontal multietapa succiona esta agua y lo descarga a la línea principal de reinyección, la misma que transporta el agua hacia el pozo PCN-004.

En la tabla 1.3 se muestra las características de los tanques de reinyección de agua de formación.

En la tabla 1.4 y 1.5 se muestran las características operativas de las bombas *booster* y las bombas horizontales multietapas respectivamente.

La reinyección de agua de formación se envía al pozo PCN-004 con una cantidad de 1138.66 barriles.

Tabla 1.3 Características del tanque de reinyección

TANQUE	INV	MODELO	CAPACIDAD (BLS)
TK#1	CAF0147894	TK-SKIMMER-001	500
TK#2	CAF0147895	TK-SKIMMER-002	500

Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

Tabla 1.4 Características operativas de bombas *booster*

BOMBAS BOOSTER					
INV	PRESIÓN SUCCIÓN (PSI)	PRESIÓN DESCARGA (PSI)	TEMP (F)	CAUDAL (GPM)	MOTOR ELÉCTRICO
P-93250 ^a	90	275	100	82	10HP/1760RPM
P-93250B	90	275	100	82	10HP/1760RPM

Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

Tabla 1.5 Características operativas de las bombas HPS

BOMBAS HPS										
INV	TIPO	PRESIÓN SUCCIÓN (PSI)	PRESIÓN DESCARGA (PSI)	CAP. NOMINAL (PSI)	MOTOR ELÉCTRICO	CAUDAL (BPD)	VSD FR. (HZ)	VSD COR. (A)	VSD VOLT. (VAC)	HORAS DE TRABAJO (DIARIO)
P-93201	CENTRÍFUGA	50	1400	3000	250HP@60HZ	1130	50	95	360	8
P-93202	CENTRÍFUGA	50	1400	3000	250HP@60HZ	1130	50	95	360	8

Fuente: Departamento de Mantenimiento
Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

En el ANEXO 1.2 se muestran las tendencias de presiones tanto de las bombas *booster* como de las bombas HPS.

1.7 Unidad Horizontal/ *Pump System* (HPS)

La unidad móvil horizontal consiste en un sistema de bombeo centrífugo utilizado en superficie, que optimiza el rendimiento del bombeo por desplazamiento positivo utilizado en la MTU, para la inyección de fluido motriz en el levantamiento artificial hidráulico. Aprovecha el sistema multi-etapas de la bomba centrífuga, para elevar la presión de inyección al igual que el caudal, de esta manera se puede aplicar en sistemas centralizados que actúan en más de un pozo (Rengifo-Tobar, 2017).

1.7.1 Componentes externos de la HPS:

1.7.1.1 Variador

Denominado VFD (*Variable Frequency Drive*), es un equipo de potencia que está sujeto a controlar la velocidad que posee un motor de inducción al modificar su frecuencia y el voltaje, en una constante relación (V/Hz) con la finalidad de sostener y obtener las mejores condiciones de operación (Rengifo-Tobar, 2017).

El funcionamiento del variador consiste en obtener corriente a una frecuencia constante para modificarla a una corriente de frecuencia variante y poder suministrarla al equipo de bombeo, al proporcionar un incremento en la frecuencia se realiza un incremento en la velocidad y se obtiene un mayor caudal por parte de la bomba (Rengifo-Tobar, 2017).

En la **Figura 1.28** se muestra el variador.



Figura 1.28 Variador (VFD)
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

1.7.1.2 Distribuidor de energía eléctrica

Encargado de suministrar la energía requerida por el motor de la bomba *booster* y de la bomba centrífuga.

En la [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..29](#) se muestra el distribuidor de energía eléctrica.



Figura 1.29 Distribuidor de energía eléctrica
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

1.7.1.3 Bomba *Booster*

Se alimenta del fluido motriz proveniente del separador, y le aplica la presión requerida por la bomba centrífuga para desempeñar su labor (Rengifo-Tobar, 2017). En la [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..30](#) se muestra una bomba *Booster*.



Figura 1.30 Bomba *Booster*.
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

1.7.1.4 Medidores de flujo y presión

El equipo de medición de flujo consiste en un dispositivo MC-II que analiza los pulsos registrados por el contador tipo turbina con el paso del caudal en la descarga de la bomba horizontal; y los equipos de medición de presión consisten en transmisores de presión alta y baja que toman la lectura de presión en la línea de descarga de la bomba centrífuga y en la línea de descarga de la bomba *booster*, respectivamente. La **Figura** muestra los equipos mencionados anteriormente (Rengifo-Tobar, 2017).



Figura 1.31 Medidor de turbina (Izq.) Analizador MCII, acoplado a la turbina
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

1.7.1.5 Líneas de descarga y de succión

Las líneas de descargas son las encargadas de transportar el fluido, desde la salida de la bomba centrífuga hasta el cabezal de pozo, a elevada presión (Rengifo-Tobar, 2017).

Las líneas de succión se encargan de dirigir los fluidos, desde el separador hacia la bomba *booster* o hacia el tanque de almacenamiento, a bajas presiones (Rengifo-Tobar, 2017).

1.7.1.6 Componentes internos de la HPS

A continuación, se describe los componentes que conforman la bomba horizontal multietapa (HPS).

1.7.1.6.1 Motor

El motor tiene disponibilidad de unidades estándar de accionamiento por motor de combustión interna y/o eléctrico de 5-2500HP. Además, posee opciones de motor eléctrico, incluidos múltiples tipos de armaduras de acuerdo con la clasificación del área, sistemas de cojinetes y diversos mejoramientos. Su accionamiento es por motor (ya sea sistemas con diésel o gas combustible) con opciones de configuración, incluidas variantes de sistemas de encendido, modificaciones de temperatura y complejidad de los instrumentos (Schlumberger, 2018). Ver figura **1.33** parte A.

1.7.1.6.2 Conjuntos de cojinetes

Es el conjunto horizontal de cojinete de empuje rediseñado para temperaturas de operación más bajas y capacidades de empuje o esfuerzos axiales descendentes incrementados. El intercambiador de calor del aceite es para altas temperaturas o grandes esfuerzos axiales; puede ser readaptado en los diseños REDA HPS más antiguos. El arreglo de cojinete viene alineado

desde la fábrica con un soporte montado en patines. Los sellos están adaptados con cartuchos y sin cartuchos (Schlumberger, 2018). Ver figura **1.33** parte C.

1.7.1.6.3 Cámara de empuje

Está diseñada para incrementar la confiabilidad, el soporte de los sellos y el tiempo medio entre fallas. Los diseños de cojinetes son de empuje simples, dobles o triples dentro de un alojamiento. La capacidad de carga es hasta 80068N (18000 pies. lbf), (Schlumberger, 2018). Ver figura **1.33** parte D.

1.7.1.6.4 Acoplamiento espaciador

El acoplamiento espaciador es de 7 pulgadas API 610 permite el reemplazo rápido del sello sin desconectar la bomba o las bridas de la tubería de proceso (Schlumberger, 2018). Ver figura **1.33** parte E.

1.7.1.6.5 Brida de descarga y brida de succión

Disponible con materiales, tamaños, presiones y rangos de temperatura adecuados para su aplicación. La disponibilidad de conexiones de bridas de aspiración y descarga que cumplen con la especificación API 610. El conjunto está rediseñado de admisión de la bomba con características hidráulicas y de carga de boquillas mejoradas (Schlumberger, 2018). Ver figura **1.33** parte F.

1.7.1.6.6 Sello de extracción posterior

Tiene una sección de cojinetes de extracción posterior para un fácil acceso durante la reparación del sello (Schlumberger, 2018). Ver figura **1.33** parte G.

1.7.1.6.7 Sello mecánico

Solamente requiere un conjunto de sello en el extremo de baja presión de la bomba. Posee disponibilidad de sistemas de sello de alta y baja presión. Las

presiones de admisión son de hasta 4000 psi (27 579kPA) con elastómeros en el cuerpo y frente, que se adecuan a los requerimientos de cada aplicación. Tiene un sistema de barreras para control de fugas (Schlumberger, 2018). Ver figura 1.33 parte H.

1.7.1.6.8 Sistema de contención de presión

Con disponibilidad de sistemas de fluidos de lubricación y enfriamiento de los sellos que cumplen con las especificaciones API; los diseños comunes incluyen los planes API 11,21,31,32,52,53,54, 65 (detección de pérdidas de líquidos), 74,75 y 76 (Schlumberger, 2018). Ver figura 1.33 parte I.

1.7.1.6.9 Patín para servicio pesado

La rigidez incrementada permite instalar motores más grandes, lo que reduce las vibraciones y la flexión. El eje de la bomba, es más bajo, lo que mejora las características de aspiración de la bomba, reduciendo las vibraciones y facilitando el mantenimiento del equipo. Su proceso especial de fresado en la fábrica basado en motores, asegura una alineación precisa. Conjunto de cojinetes está en una localización fija para todos los diseños de patines y sellos.

Tiene abrazaderas de ajuste y puntos de montaje para izado que facilita un mantenimiento más fácil del equipo (Schlumberger, 2018). Ver figura 1.33 parte K.

1.7.1.6.10 Bomba

La bomba tiene capacidades de flujo por etapa de 40-1850 galones/minuto (218-10084m³/d) en la configuración estándar, y mayores con diseños especiales. Las capacidades de presión soportan hasta 6650psi (45951kPA) con contención de presión de la cubierta y del apilado de las múltiples etapas.

Cuenta con Ni-Resist como material estándar en las etapas de flujo axial y mixto, y disponibilidad de otros materiales a pedido. Las configuraciones de cojinetes se adecuan a los líquidos bombeados, lo que incluye *Graphalloy*® para los líquidos de baja lubricidad y zirconio resistente a la abrasión ARZ para una mayor resistencia al desgaste. El alojamiento modular del conjunto permite un cambio rápido y minimiza el tiempo muerto (Schlumberger, 2018). Ver figura 1.33 parte L.

1.7.1.7 Proceso operativo de la HPS

El proceso del bombeo horizontal inicia en el distribuidor de energía eléctrica, que transmite la energía al motor de inducción de la bomba *booster* y al motor de la bomba centrífuga. La bomba *booster* comienza la succión del fluido motriz proveniente del tanque de producción y eleva su presión inicial, a la requerida por la bomba centrífuga, enviando el fluido impulsor hacia la primera etapa de la bomba centrífuga (Rengifo-Tobar, 2017).

La etapa inicial de la centrífuga succionará el fluido motriz proveniente de la bomba *booster* dado a la caída de presión que se genera en el centro del impulsor debido a la velocidad rotacional (elevada) que imparte la cámara de empuje, al impulsor, desde el motor de inducción.

El fluido motriz es disparado a gran velocidad hacia las paredes del difusor, debido a la fuerza centrífuga, donde su energía cinética se convierte en energía de presión (mayor a la de la entrada de la etapa) por la disminución de la velocidad, y es dirigido por el difusor hacia el impulsor de la siguiente etapa (Rengifo-Tobar, 2017).

Luego de repetir el proceso n-etapas veces, el fluido motriz es descargado a presión alta hacia el *manifold* y posteriormente a los pozos a ser intervenidos (Rengifo-Tobar, 2017).

La cantidad de presión obtenida al final de la bomba centrífuga, va a depender del número de etapas utilizadas; de igual forma, la curva de rendimiento de la bomba centrífuga, depende de la curva de eficiencia de la etapa utilizada. El

caudal de descarga, dependerá de la dimensión de la etapa; es decir, del tamaño del difusor y del impulsor en cuestión (Rengifo-Tobar, 2017).

En la **Figura 1.32** se muestra el paso del flujo motriz, a través de las etapas de las bombas con una sección de dos etapas como ejemplo.

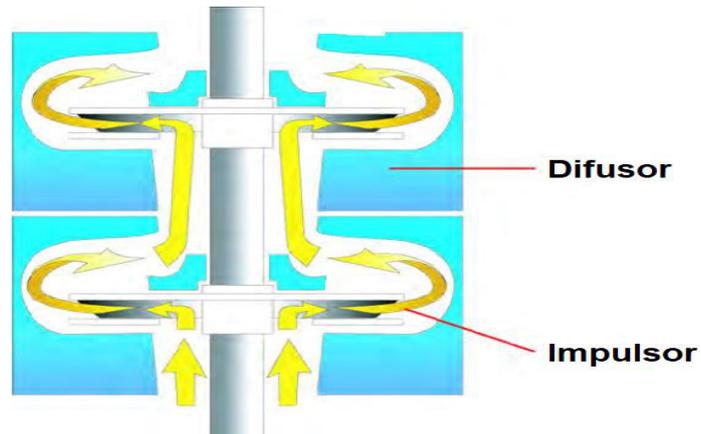


Figura 1.32 Bomba centrífuga de dos etapas

Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

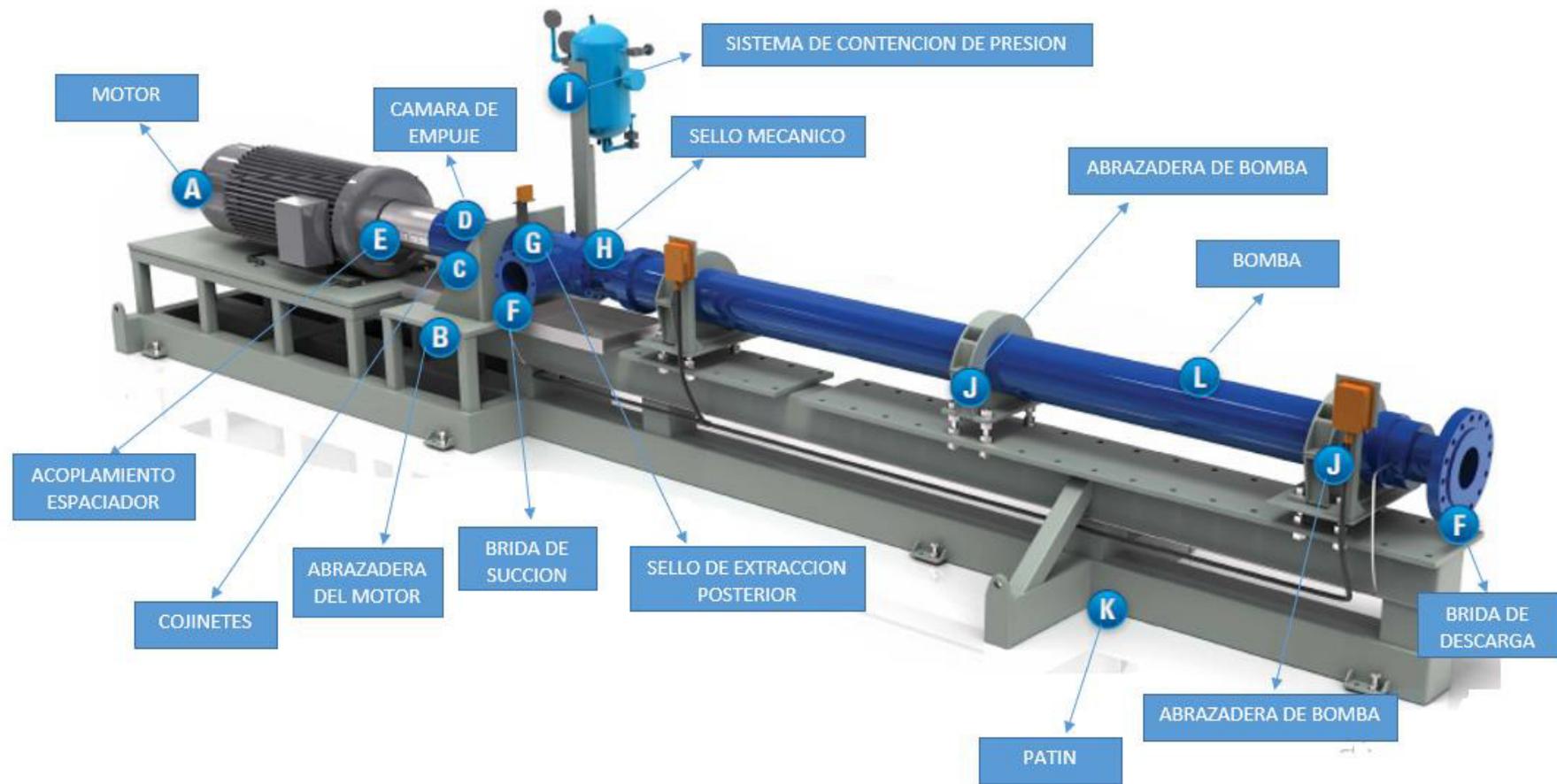


Figura 1.33 Bomba horizontal multietapas (HPS)
 Fuente: (Schlumberger, 2018)

CAPÍTULO 2

2. Metodología

En base al conocimiento de las facilidades de superficie con las que cuenta la estación Pucuna y tomando como referencia el catálogo de bombas del software *PipeSim* determinaremos el número total de etapas necesario para el correcto funcionamiento de la bomba de acuerdo al caudal y presión requerido por el sistema. A partir de esta premisa se construirá nueve modelos diferentes de bombas dentro de un rango de 7000 hasta 12000 bbl/d para luego hacer uso de las ecuaciones de estimación de la presión de inyección del sistema descrito en la sección 2.3.1.

Actualmente el sistema centralizado *power oil* se encuentra operando con un caudal de inyección de 20,000bbl/d y una presión de inyección de 4200 psi. Sin embargo, para el desarrollo del análisis de la implementación de las bombas multietapas se tomará en cuenta la adición de tres nuevos pozos que serán perforados de acuerdo con el Plan Anual de Actividades 2019 por parte del Consorcio Igapó de los cuales dos saldrán de la plataforma PCN-009 y un pozo de la plataforma PCN-011.

Además, se analizará criterios de caídas de presión en las líneas del sistema con las nuevas unidades.

2.1 Metodología de Investigación

El análisis de la implementación de las unidades HPS se basa en documentos referenciales que contienen criterios, procedimientos, cálculos y resultados asociadas a los equipos del bombeo *power oil*: bombas *booster* y bombas horizontales multietapas, la cual forma parte de las facilidades de producción del bloque 44 de Petroamazonas EP.

Otro punto importante que considerar es la fuente de energía que requerirá la estación para el funcionamiento de las unidades HPS, ya que éstas trabajan con un motor eléctrico.

2.2 Metodología de Campo

El trabajo requiere de la obtención de datos o parámetros propios de la estación de producción y datos de los 14 pozos productores además de los tres nuevos pozos que se perforarán, estos son: las facilidades de superficie disponibles, fuente de energía eléctrica, presión de succión, presión de descarga, grado API del crudo, caudal y presión de inyección del sistema, y potencia requerida.

En la tabla 2.1 se observa datos de producción del Sistema Power Oil a la fecha que se recolectó los datos de los pozos que se encontraban en operación.

Tabla 2.1 Datos de producción del Sistema Power Oil

CAMPO PUCUNA SISTEMA POWER OIL								
No.	POZO	BFPD	BPPD	BAPD	BSW	API	PRESION DE INYECCION (PSI)	BARRILES INYECTADOS (BPPD)
1	PCN 002	166,28	149,67	16,61	9,98	30,00	3900	1300
2	PCN 003	411,44	410,2	1,24	0,30	30,80	3300	3110
3	PCN 005	1071,40	46,77	1024,63	95,63	24,20	3900	1290
4	PCN 006	71,60	63,25	8,35	11,66	29,90	3900	1295
5	PCN 007	206,44	204,23	2,21	1,071	30,60	3950	1590
6	PCN 009	163,35	125,11	38,24	23,41	25,60	3600	1295
7	PCN 010	124,45	110,64	13,81	11,09	30,50	3950	1570
8	PCN 011	129,95	128,08	1,97	1,44	30,20	3950	1475
9	PCN 013	108,14	94,19	13,95	12,90	29,90	3850	1265
10	PCN 014	113,77	99,35	14,42	12,67	31,20	3900	1660
11	PCN 016	227,68	227,22	0,46	0,20	26,90	3850	1585

12	PCN 017	63,62	60,75	2,87	4,51	30,70	3900	1305
PROMEDIO		238,18	143,29	94,90	15,41	29,21	3829,2	18740

Fuente: (Petroamazonas, 2018)

Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

Desarrollo

Se necesita determinar las características principales de operación de las bombas *booster* y las bombas multietapas.

Entre las primeras consideraciones, se determinó que el reemplazo de las unidades HPS elimina la necesidad de operar con unidades quintuplex en el sistema centralizado, dado que, una sola HPS puede alimentar 3 a 4 pozos debido a la presión y caudal de inyección que generan este tipo de bombas; adicionalmente a esto se descarta el requerimiento de más facilidades en superficie (Rengifo, 2017).

De esta manera se reduciría el consumo de energía, el costo de mantenimiento y el control de la unidad; es decir, la implementación del proyecto representaría beneficios económicos y operativos a largo plazo.

Para el cálculo de diseño de las unidades horizontales se tomará en cuenta el nuevo caudal y presión de inyección del sistema como se muestra en la Tabla 2.2.

CAUDALES DE POWER OIL Y PRESION DE INYECCION POR POZO EXISTENTE				
No.	POZO	POWER OIL (BOPD)	POWER OIL + 10% (BOPD)	PRESION INYECCION A POZO (PSIG)
1	PCN-002	1300	1430	3900
2	PCN-003	3110	3421	3300
3	PCN-005	1290	1419	3900
4	PCN-006	1295	1424,5	3900
5	PCN-007	1590	1749	3950
6	PCN-008	1400	1540	3850
7	PCN-009	1295	1424,5	3600
8	PCN-010	1570	1727	3950
9	PCN-011	1475	1622,5	3950
10	PCN-012	1500	1650	3900
11	PCN-013	1265	1391,5	3850
12	PCN-014	1660	1826	3900
13	PCN-015	-	—	—
14	PCN-016	1585	1743,5	3850
15	PCN-017	1305	1435,5	3900
16	PCN-NVO 1	2000	2200	3900
17	PCN-NVO 2	2000	2200	3850
18	PCN-NVO 3	2000	2200	3950
	Σ	27640	30404	
	Promedio			3850
	Presión + 10%			4200

Tabla 2.2 Datos de producción del Sistema Power Oil

Fuente: (PETROAMAZONAS, 2014)

Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

2.3.1 Tiempo de residencia del tanque de almacenamiento (Tr)

El sistema de inyección *power oil* es un sistema centralizado que cuenta con dos bombas *booster* que son las que succionan el crudo del tanque de almacenamiento a una baja presión de alrededor de los 40 a 50 psi promedio,

las unidades quintuplex reciben este fluido aumentando la presión a través de los pistones de cada bomba para que estas envíen el fluido de inyección con una mayor presión hacia los pozos destinados, el fluido ingresa por la tubería de producción o *tubing* hasta el fondo del pozo, empuja el petróleo de la formación y este asciende en conjunto con la producción del pozo por el espacio anular hacia la superficie retornando a la estación para continuar con el proceso, a esto se le llama un sistema de fluido cerrado (Fmc).

Datos actuales:

Tabla 2.3 Datos actuales de tanque

Altura (ft)	Cantidad (bbl)
3	1524.24
42	14734.32

$$Capacidad\ Operativa\ del\ tanque = 14734,32 - 1524,24 = 13210,08\ bbl$$

$$tiempo\ residencia = \frac{C.O\ tanque}{BIPD + BPPD}$$

$$tiempo\ de\ residencia = \frac{13210,08}{23604}$$

$$tiempo\ de\ residencia = 0,559\ dia * \frac{24\ h}{1\ dia} = 13,43\ h$$

Datos futuros:

Para el cálculo del tiempo de residencia en el tanque de almacenamiento se usó datos de la Tabla 2.3.

$$Capacidad\ Operativa\ del\ tanque = 14734,32 - 1524,24 = 13210,08\ bbl$$

$$tiempo_{residencia} = \frac{C.O_{tanque}}{BIPD + BPPD}$$

$$tiempo_{de\ residencia} = \frac{13210,08}{30804}$$

$$tiempo_{de\ residencia} = 0,428\ dia * \frac{24\ h}{1\ dia} = 10,29\ h$$

2.3.2 Diseño esquemático de bombas *Booster*

Para el sistema se requiere de tres unidades *booster*, de las cuales dos deben estar en servicio y una de back-up. Por consiguiente, se detalla características operacionales de la unidad:

Tipo: Centrífuga

Capacidad: 14000 BOPD

Presión de descarga: 115,7psig

Accionamiento: Eléctrico

Potencia: 44Hp

En la figura 2.21 se muestra el esquema de las bombas *booster* del sistema Power Oil, diseñadas a través del software *PipeSim*.

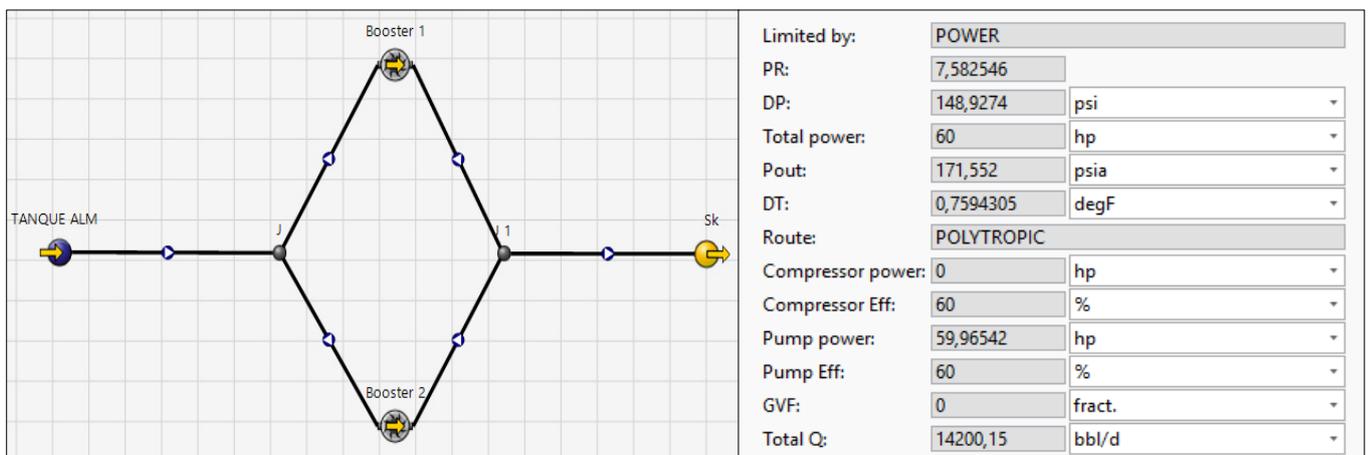


Figura 2.1 Esquema y características de bombas booster
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

2.3.3 Ecuaciones para cálculo de estimación de la presión de inyección para las unidades HPS del sistema

Q: Caudal estimado según software Pipe Sim (bbl/d)

h: cabeza que levanta el impulsor por etapa (ft)

H: cabeza total de acuerdo con el caudal estimado (ft)

Constante de presión en ft:

$$1 \text{ psig} = 1 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times \frac{(12\text{in})^2}{(1\text{ft})^2} \times \frac{1\text{ft}^3}{62,42 \text{ lb}}$$

$$1 \text{ psig} = 2,3 \text{ ft}$$

Gravedad específica del oil:

$$SG_{oil} = \frac{141,5}{131,5 + API}$$

$$SG_{oil} = \frac{141,5}{131,5 + 30,5}$$

$$SG_{oil} = 0,88$$

$$P_{por \ etapa} \text{ (psig)} = \frac{h \text{ (ft)}}{\text{cte. de presión (ft)}} \times SG_{oil}$$

$$N_{etapas} = \frac{\text{Presión inyección del sistema}}{\text{presión por etapa}}$$

$$P_{estimada}(psig) = \frac{H_{total}}{cte. de presion} \times SG_{oil}$$

2.3.3.1 Cálculos analíticos y gráficos para el sistema con configuración de cuatro unidades

Para los siguientes modelos de bombas HC7000-S8000N- HC9000-TJ9000 se configuro un sistema de 4 unidades multietapas de acuerdo con los caudales de diseño que se encuentre dentro del rango de operación a su mayor eficiencia.

El modelo de cada bomba nos indica el caudal óptimo de operación, de acuerdo con este caudal y al caudal de inyección que manejará el sistema se adicionarán nuevas unidades tratando de llegar al caudal necesario que operará el sistema. Así, con el modelo HC7000 se requerirá de 4 unidades HPS dando un total de 28000bbl/d, necesarios para el manejo del sistema.

En la **Figura 2.2** se muestra el esquema de configuración de 4 unidades HPS.

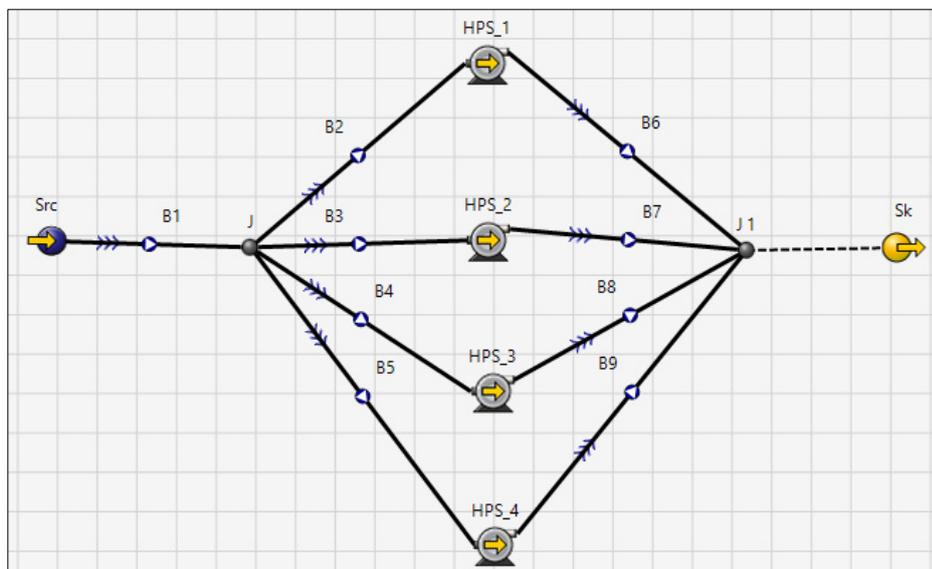


Figura 2.2 Esquema de unidades HPS
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

Con $Q = 7000 \frac{bbl}{d}$ tenemos $h = 74,52 \text{ ft}$ por etapa

En la **Figura 2.3** se muestra la curva de bomba HC7000 para una etapa.

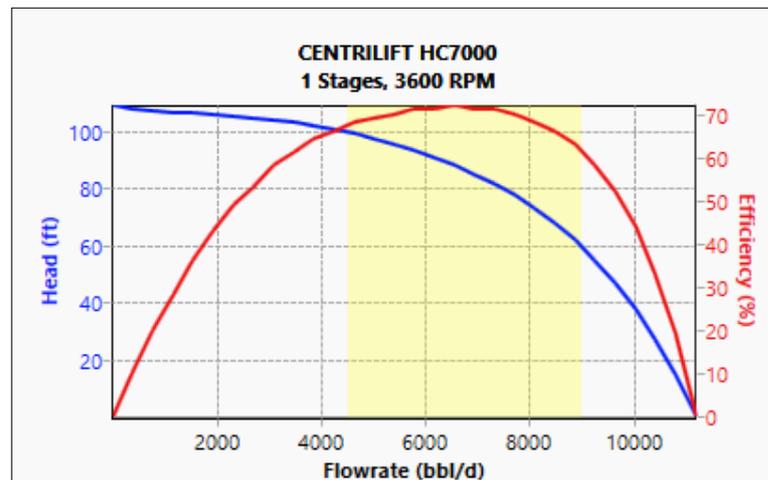


Figura 2.3 Curva de bomba HC7000
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{74,52}{2,3} (0,884) = 28,51 \text{ Psig por cada etapa}$$

$$N = \frac{4200}{28,51} = 147 \text{ etapas}$$

Con el número de etapas calculado ingreso a curva HC7000 para obtener la cabeza total que levantará la bomba.

En la **Figura 2.4** se muestra la curva de bomba HC7000 para 147 etapas.

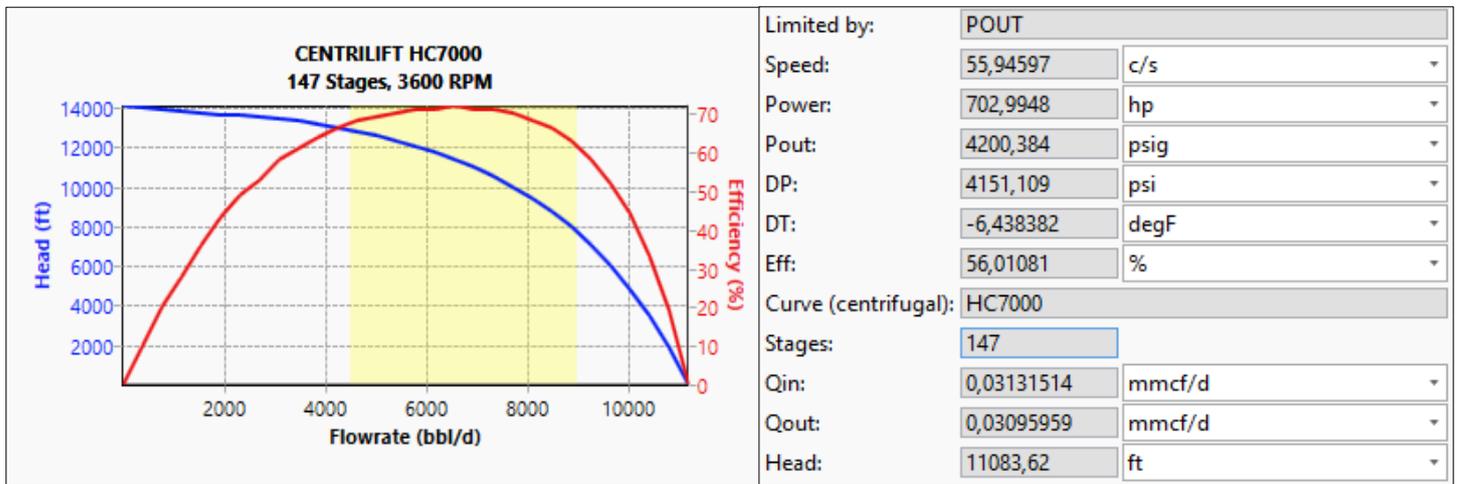


Figura 2.4 Curva y características de bomba HC7000

Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{10817}{2,3} (0,884) = 4139 \text{ psig}$$

Característica operacional de la bomba HC7000

Fabricante: Centrilift

Modelo: HC7000

Tasa de flujo mínimo: 4500bbl/d

Tasa de flujo máximo: 9000bbl/d

Velocidad de referencia: 3600rpm

Etapas de referencia: 100

Numero de etapas: 147

Velocidad de operación: 3600rpm

Factor de cabeza: 0,88

Diámetro nominal: 6.75

- Con $Q = 8000 \frac{\text{bbl}}{\text{d}}$ tenemos $h = 54,33 \text{ ft}$ por etapa
En la **Figura 2.5** se muestra la curva de bomba S8000N para una etapa.

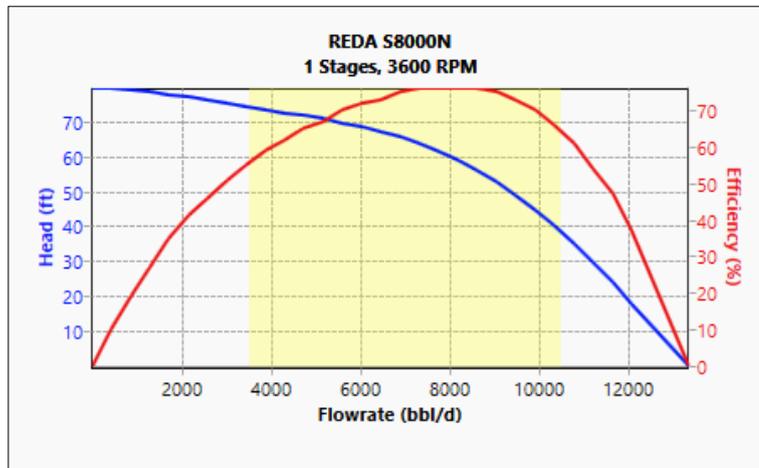


Figura 2.5 Curva de bomba S8000N
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{54,33}{2,3} (0,884) = 20,8 \text{ Psig por cada etapa}$$

$$N = \frac{4200}{20,8} = 202 \text{ etapas}$$

Con el número de etapas calculado ingreso a curva S8000N para obtener la cabeza total que levantará la bomba.

En la **Figura 2.6** se muestra la curva de bomba S8000N para 81 etapas.

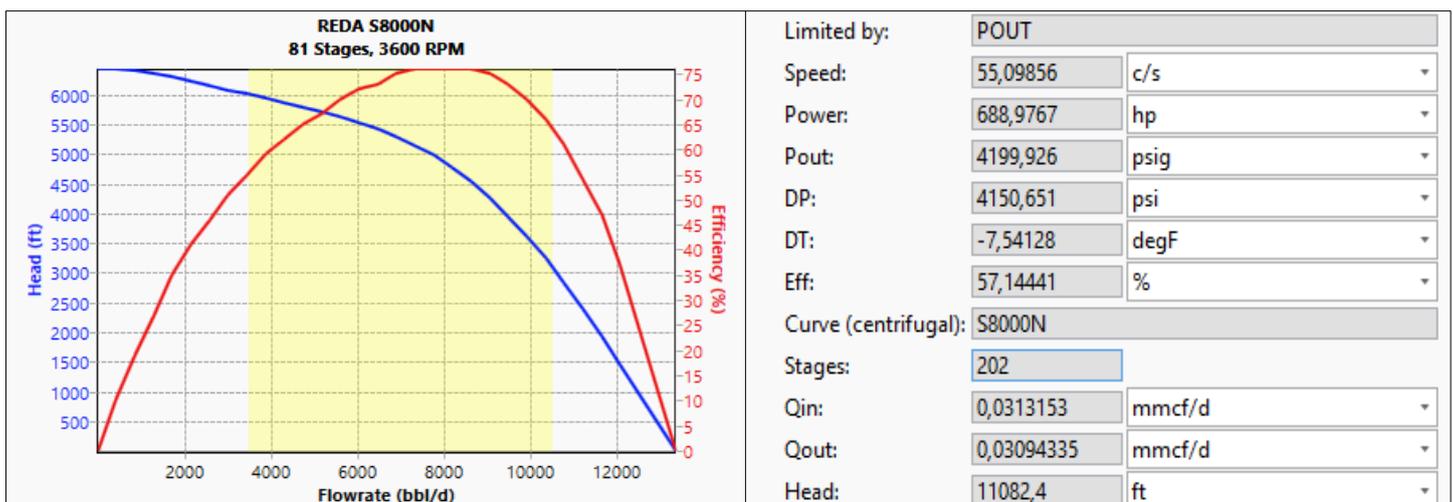


Figura 2.6 Curva y características de bomba S8000N
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{4263}{2,3} (0,884) = 1631 \text{ psig}$$

Característica operacional de la bomba S8000N

Fabricante: REDA

Modelo: S8000N

Tasa de flujo mínimo: 3500bbl/d

Tasa de flujo máximo: 10500bbl/d

Velocidad de referencia: 3600rpm

Etapas de referencia: 81

Numero de etapas: 81

Velocidad de operación: 3600rpm

Factor de cabeza: 0,88

Diámetro nominal: 5.38

REDA trabaja con numero de etapas permitidas de hasta 81.

Con $Q = 9000 \frac{\text{bbl}}{\text{d}}$ tenemos $h = 74,26 \text{ ft}$ por etapa (A)

En la Figura 2.7 se muestra la curva de bomba HC9000 para una etapa.

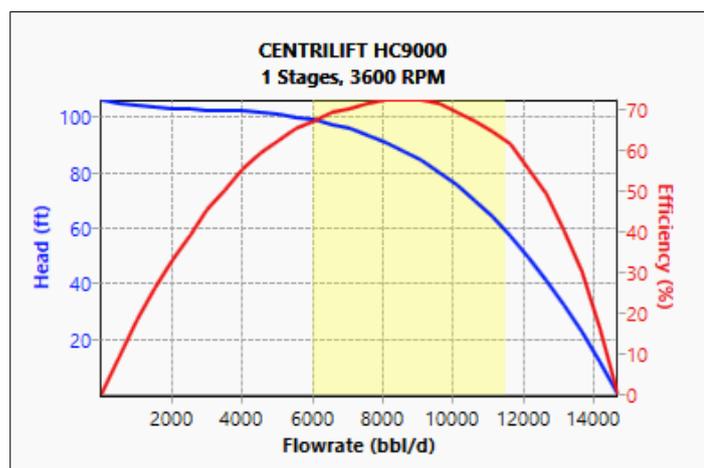


Figura 2.7 Curva de bomba HC9000
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{74,26}{2,3} (0,884) = 28,41 \text{ Psig por cada etapa}$$

$$N = \frac{4200}{28,41} = 148 \text{ etapas}$$

Con el número de etapas calculado ingreso a curva HC9000 para obtener la cabeza total que levantará la bomba.

En la **Figura 2.8** se muestra la curva de bomba HC9000 para 148 etapas.

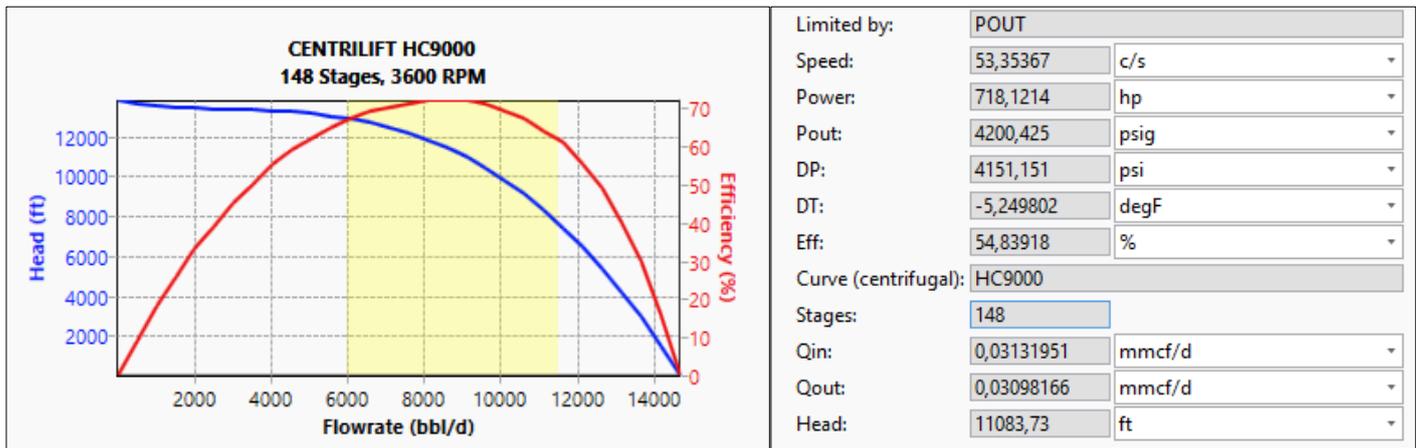


Figura 2.8 Curva y características de bomba HC9000
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{10989,97}{2,3} (0,884) = 4205 \text{ psig}$$

Característica operacional de la bomba HC9000

Fabricante: Centrilift

Modelo: HC9000

Tasa de flujo mínimo: 6000bbl/d

Tasa de flujo máximo: 11500bbl/d

Velocidad de referencia: 3600rpm

Etapas de referencia: 100

Numero de etapas: 148

Velocidad de operación: 3600rpm

Factor de cabeza: 0,88

Diámetro nominal: 6.75

Con $Q = 9000 \frac{\text{bbl}}{\text{d}}$ tenemos $h = 78,22 \text{ ft}$ por etapa (B)

En la **Figura 2.9** se muestra la curva de bomba TJ9000 para una etapa.

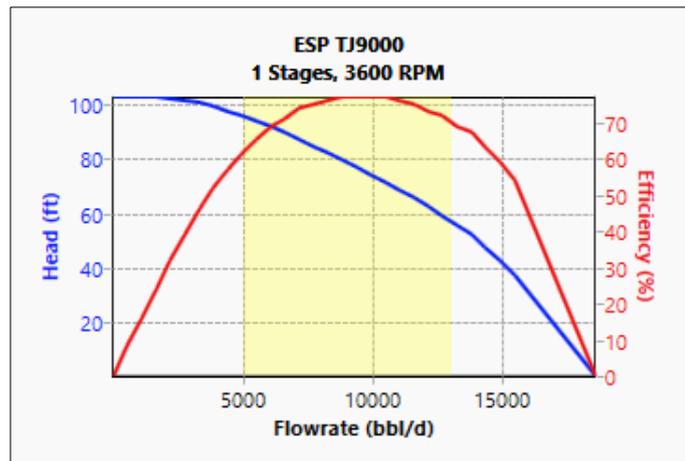


Figura 2.9 Curva de bomba TJ9000

Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{78,80}{2,3} (0,884) = 30,28 \text{ Psig por cada etapa}$$

$$N = \frac{4200}{30,28} = 139 \text{ etapas}$$

Con el número de etapas calculado ingreso a curva TJ9000 para obtener la cabeza total que levantará la bomba.

En la **Figura 2.10** se muestra la curva de bomba TJ9000 para 139 etapas.

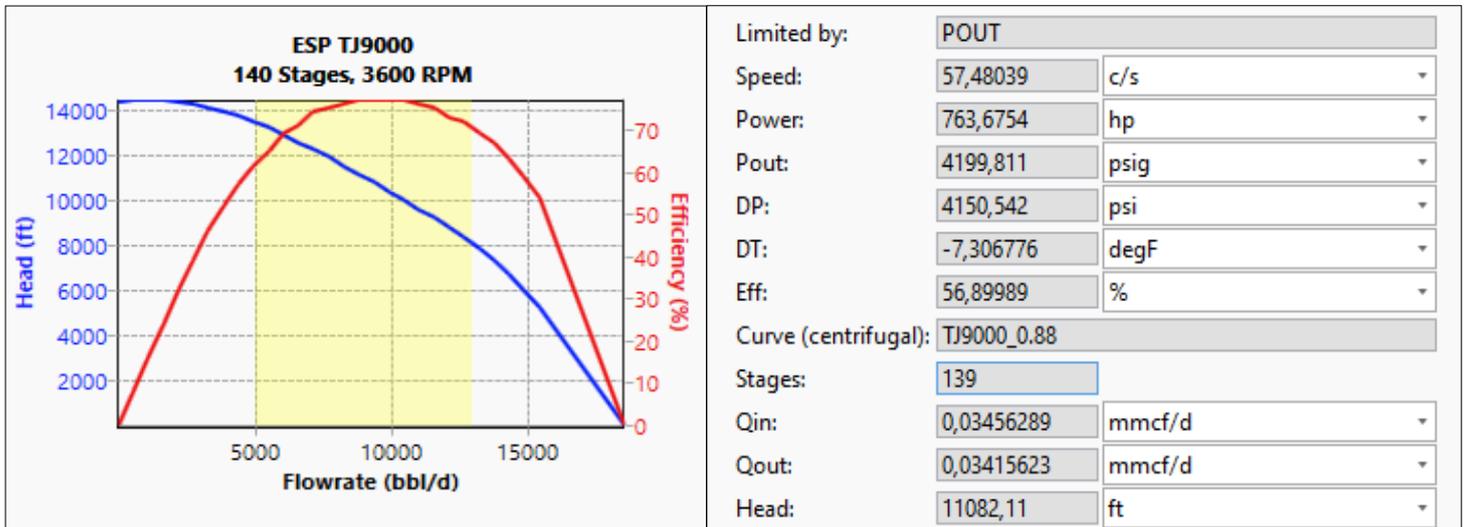


Figura 2.10 Curva y características de bomba TJ9000
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{10803,8}{2,3} (0,884) = 4152 \text{ psig}$$

Característica operacional de la bomba TJ9000

Fabricante: ESP

Modelo: TJ9000

Tasa de flujo mínimo: 5000bbl/d

Tasa de flujo máximo: 13000bbl/d

Velocidad de referencia: 3600rpm

Etapas de referencia: 100

Numero de etapas: 139

Velocidad de operación: 3600rpm

Diámetro nominal: 6.75

En la tabla 2.4 se muestra los resultados obtenidos de las bombas con configuración de 4 unidades horizontales para caudales de 7000, 8000, y 9000 bbl/d.

Los modelos HC7000, S8000N, TJ9000 no cumplen con la presión de inyección requerida por el sistema. Sin embargo, el modelo HC9000 cumple con la presión de inyección necesaria para el sistema mas no con la eficiencia ni la frecuencia porque no se aproximan con mayor exactitud a los valores estándares de operación.

Valores estándares de operación

Frecuencia: 60Hz

Eficiencia: 60%

Tabla 2.4 Resultados de las bombas con configuración de 4 unidades horizontales

Fuente: (Petroamazonas, 2018)

No.	MODELO	CAUDALES	CABEZA/ETAPA	(ETAPA/2,3)*0,88	No. ETAPAS	CABEZA (FT)	PRESION INY (PSIG)	FRECUENCIA (Hz)	EFICIENCIA %	POTENCIA (HP)
1	HC7000	7000	74,5	28,51	147	10817	4139	57	56	705
2	S8000N	8000	54,3	20,79	202	4263,05	1631	57	56	705
3	HC9000	9000	74,3	28,41	148	10989,97	4205	53	55	718
4	TJ9000	9000	78,2	29,93	140	10278,23	4152	57	57	764

Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

2.3.3.2 Cálculos analíticos y gráficos para el sistema con configuración de tres unidades

Para los siguientes modelos de bombas TI10000/TJ10000/TE11000/HC12000/TJ12000 se configuro un sistema de 3 unidades multietapas de acuerdo con los caudales de diseño que se encuentre dentro del rango de operación a su mayor eficiencia.

El modelo de cada bomba nos indica el caudal óptimo de operación, de acuerdo con este caudal y al caudal de inyección que manejará el sistema se adicionarán nuevas unidades llegando al caudal necesario con el que operará el sistema. Así, con el modelo TJ10000 se requerirá de 3 unidades HPS dando un total de 30000bbl/d, cantidad suficiente para el requerimiento del sistema.

En la **Figura 2.11** se muestra el esquema de configuración de 3 unidades HPS.

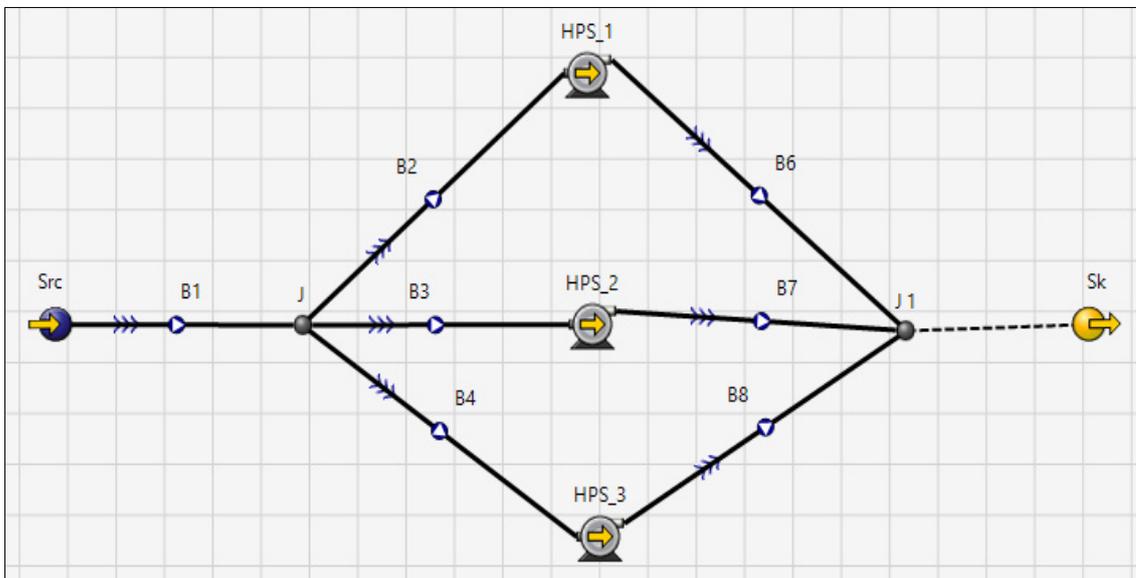


Figura 2.11 Esquema de unidades HPS
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

- Con $Q = 10000 \frac{bbl}{d}$ tenemos $h = 45,09 \text{ ft}$ por etapa (A)
 En la **Figura 2.12** se muestra la curva de bomba TI10000 para una etapa.

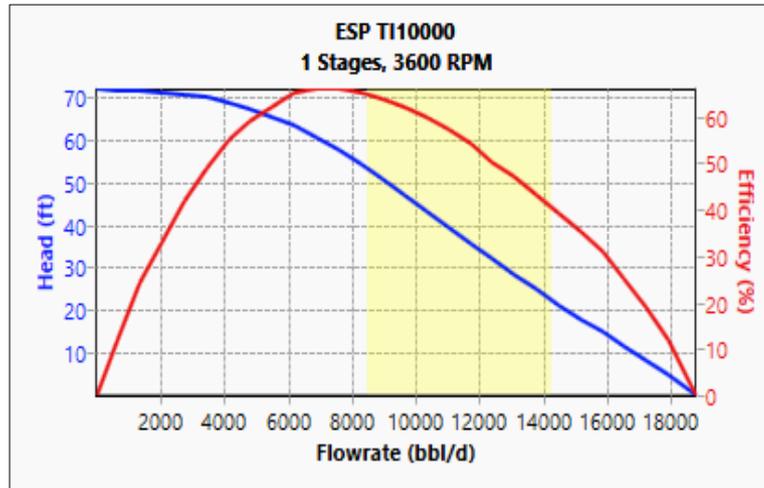


Figura 2.12 Curva de bomba TI10000
 Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{45,09}{2,3} (0,884) = 17,25 \text{ Psig por cada etapa}$$

$$N = \frac{4200}{17,25} = 243 \text{ etapas}$$

Con el número de etapas calculado ingreso a curva TI10000 para obtener la cabeza total que levantará la bomba.

En la **Figura 2.13** se muestra la curva de bomba TI10000 para 243 etapas.

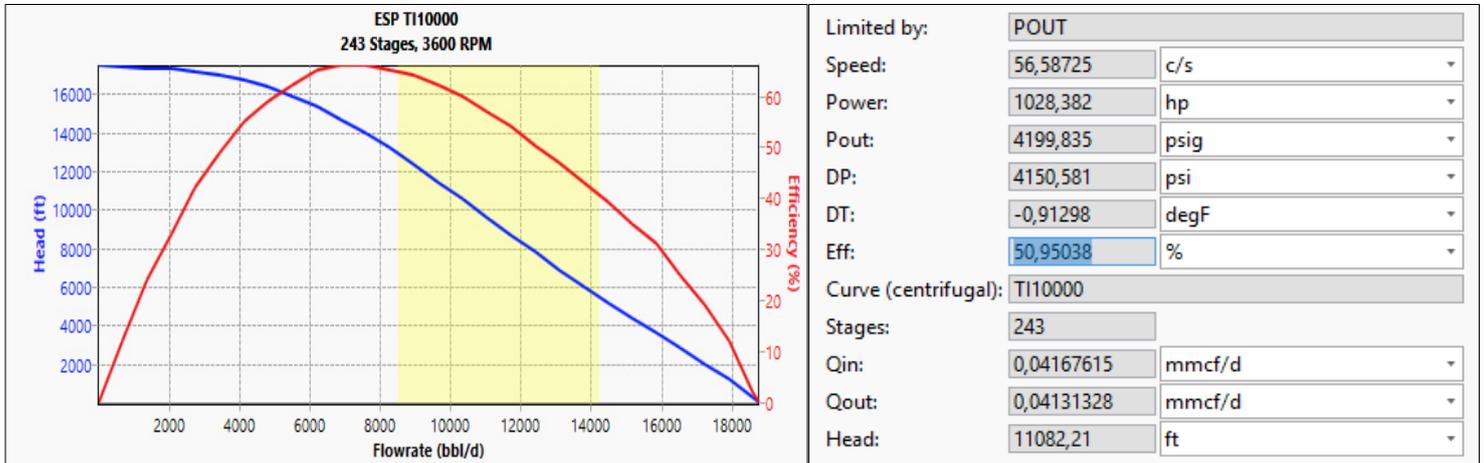


Figura 2.13 Curva y características de bomba TI10000
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{11056,86}{2,3} (0,884) = 4230 \text{ psig}$$

Característica operacional de la bomba TI10000

Fabricante: ESP

Modelo: TI10000

Tasa de flujo mínimo: 8500bbl/d

Tasa de flujo máximo: 14250bbl/d

Velocidad de referencia: 3600rpm

Etapas de referencia: 100

Numero de etapas: 243

Velocidad de operación: 3600rpm

Diámetro nominal: 6.75

➤ Con $Q = 10000 \frac{\text{bbl}}{\text{d}}$ tenemos $h = 65,20 \text{ ft}$ por etapa (B)

En la **Figura 2.14** se muestra la curva de bomba TJ10000 para una etapa.

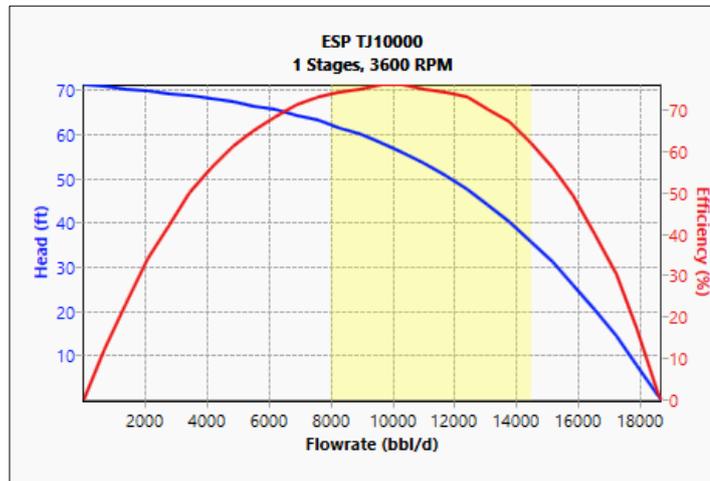


Figura 2.14 Curva de bomba TJ10000
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{65,20}{2,3} (0,884) = 24,95 \text{ Psig por cada etapa}$$

$$N = \frac{4200}{24,95} = 168 \text{ etapas}$$

Con el número de etapas calculado ingreso a curva TJ10000 para obtener la cabeza total que levantará la bomba.

En la **Figura 2.15** se muestra la curva de bomba TJ10000 para 168 etapas.

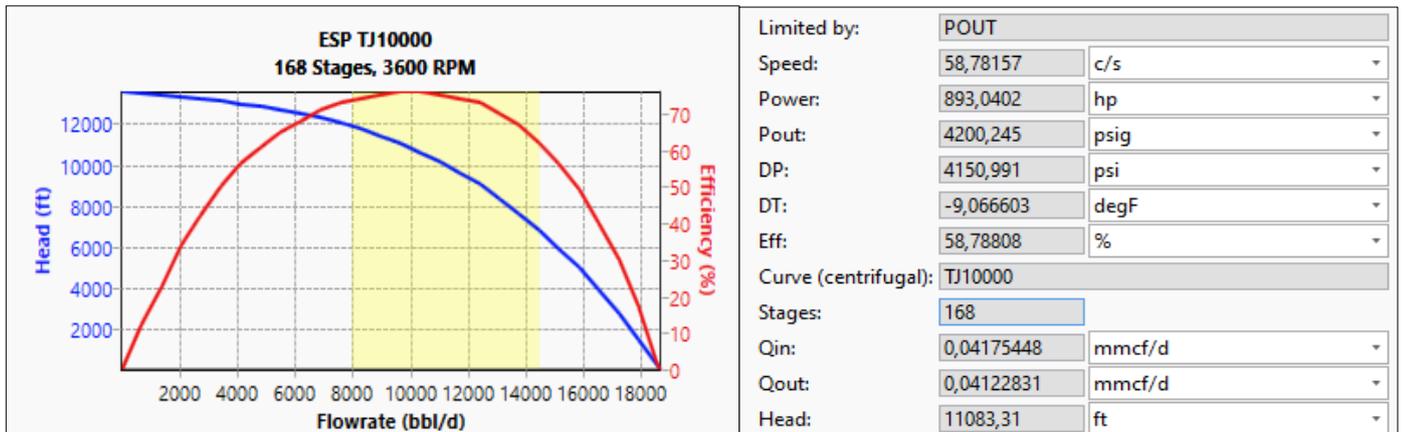


Figura 2.15 Curva y características de bomba TJ10000

Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{11024,89}{2,3} (0,884) = 4218 \text{ psig}$$

Característica operacional de la bomba TJ10000

Fabricante: ESP

Modelo: TJ10000

Tasa de flujo mínimo: 8000bbl/d

Tasa de flujo máximo: 14500bbl/d

Velocidad de referencia: 3600rpm

Etapas de referencia: 100

Numero de etapas: 168

Velocidad de operación: 3600rpm

Diámetro nominal: 6.75

➤ Con $Q = 11000 \frac{\text{bbl}}{\text{d}}$ tenemos $h = 38,88 \text{ ft}$ por etapa

En la **Figura 2.16** se muestra la curva de bomba TE11000 para una etapa.

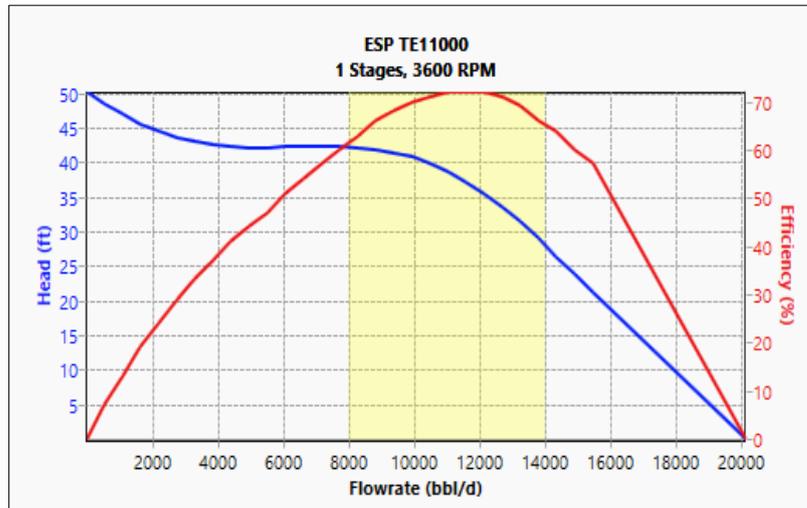


Figura 2.16 Curva de bomba TE11000
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{38,88}{2,3} (0,884) = 14,88 \text{ Psig por cada etapa}$$

$$N = \frac{4200}{14,88} = 282 \text{ etapas}$$

Con el número de etapas calculado ingreso a curva TE11000 para obtener la cabeza total que levantará la bomba.

En la **Figura 2.17** se muestra la curva de bomba TE11000 para 282 etapas.

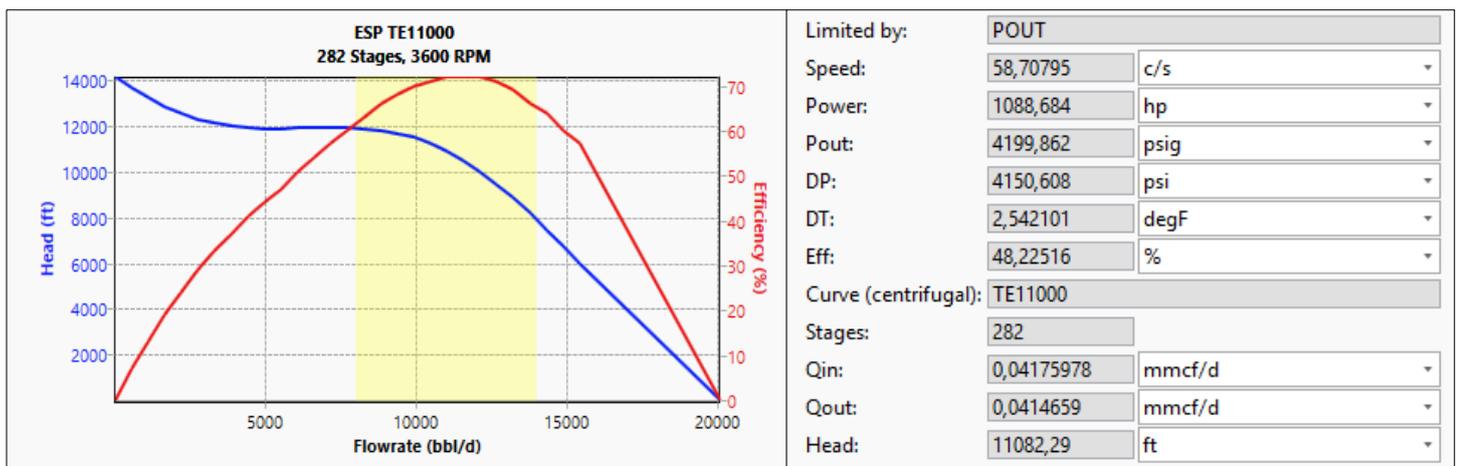


Figura 2.17 Curva y características de bomba TE11000

Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{10895,53}{2,3} (0,884) = 4169 \text{ psig}$$

Característica operacional de la bomba TE11000

Fabricante: ESP

Modelo: TE11000

Tasa de flujo mínimo: 8000 bbl/d

Tasa de flujo máximo: 14000 bbl/d

Velocidad de referencia: 3600 rpm

Etapas de referencia: 100

Numero de etapas: 282

Velocidad de operación: 3600 rpm

Diámetro nominal: 5.38

➤ Con $Q = 12000 \frac{\text{bbl}}{\text{d}}$ tenemos $h = 72,42 \text{ ft}$ por etapa (A)

En la **Figura 2.18** se muestra la curva de bomba HC12000 para una etapa.

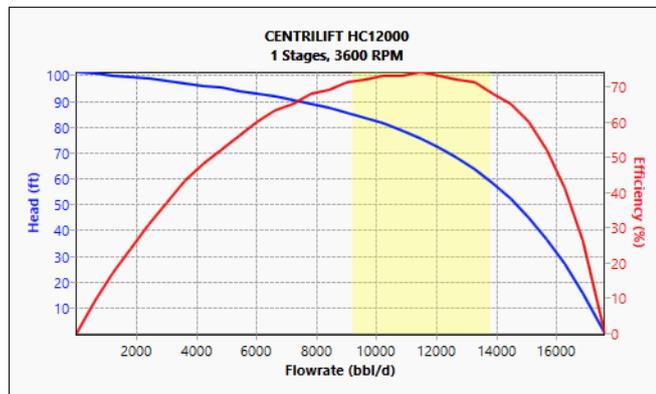


Figura 2.18 Curva de bomba HC12000

Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{72,42}{2,3} (0,884) = 27,71 \text{ Psig por cada etapa}$$

$$N = \frac{4200}{27,71} = 152 \text{ etapas}$$

Con el número de etapas calculado ingreso a curva HC12000 para obtener la cabeza total que levantará la bomba.

En la **Figura 2.19** se muestra la curva de bomba HC12000 para 152 etapas.

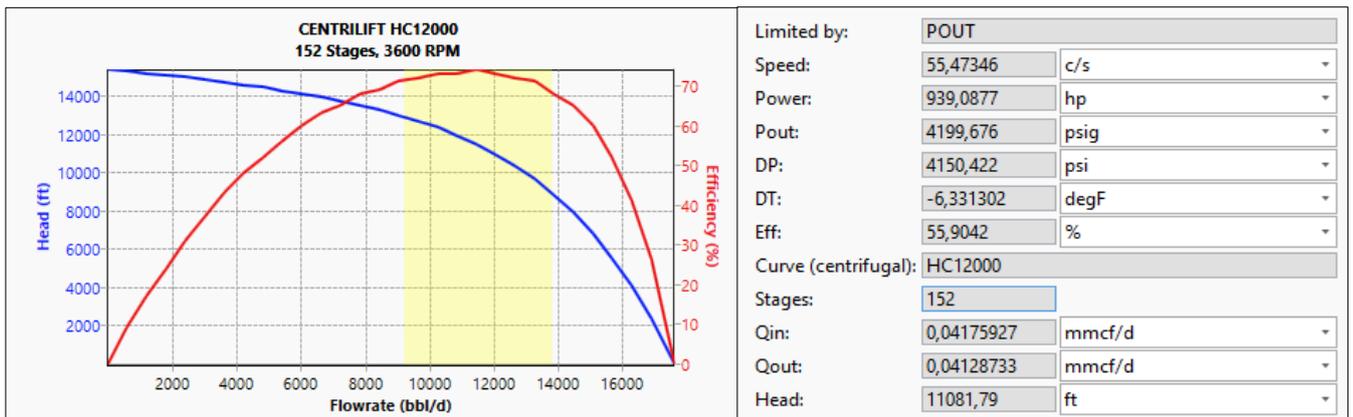


Figura 2.19 Curva y características de bomba HC12000
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{11008,32}{2,3} (0,884) = 4212 \text{ psig}$$

Característica operacional de la bomba HC12000

Fabricante: Centrilift

Modelo: HC12000

Tasa de flujo mínimo: 9200bbl/d

Tasa de flujo máximo: 13800bbl/d

Velocidad de referencia: 3600rpm

Etapas de referencia: 100

Numero de etapas: 152

Velocidad de operación: 3600rpm

Diámetro nominal: 6.75

➤ Con $Q = 12000 \frac{bbl}{d}$ tenemos $h = 86,93 \text{ ft}$ por etapa (B)

En la **Figura 2.20** se muestra la curva de bomba TJ12000 para una etapa.

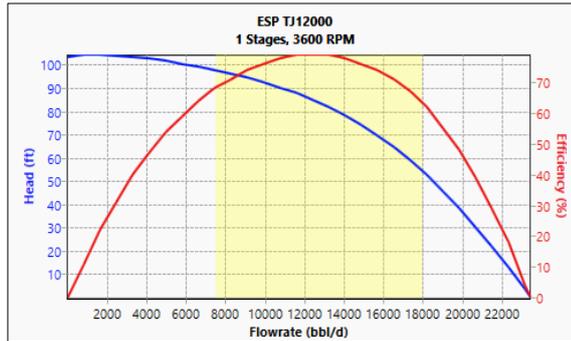


Figura 2.20 Curva de bomba TJ12000
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{86,93}{2,3} (0,884) = 33,26 \text{ Psig por cada etapa}$$

$$N = \frac{4200}{33,26} = 126 \text{ etapas}$$

Con el número de etapas calculado ingreso a curva TJ12000 para obtener la cabeza total que levantará la bomba.

En la **Figura 2.21** se muestra la curva de bomba TJ12000 para 126 etapas.

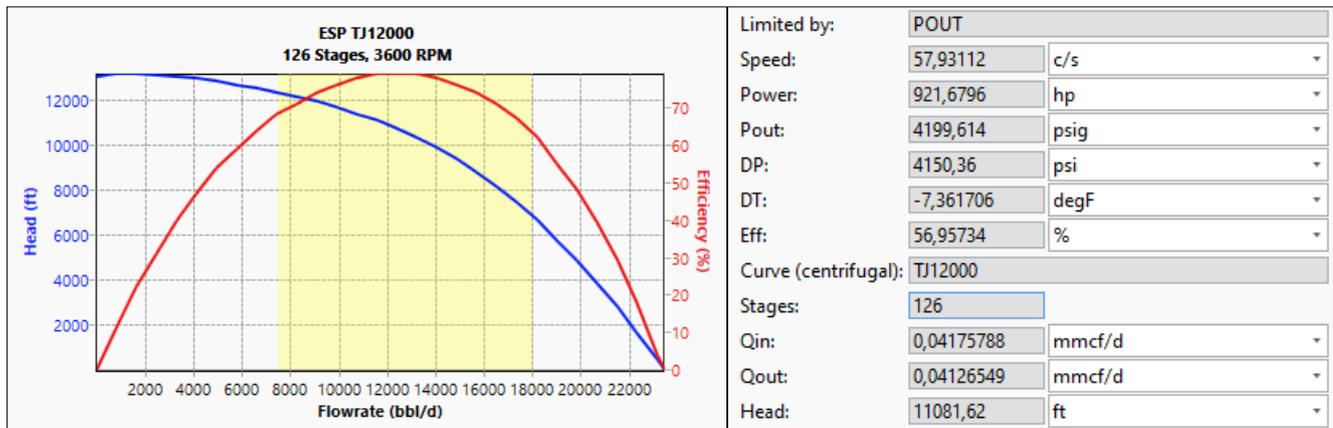


Figura 2.21 Curva y características de bomba TJ12000

Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

$$P = \frac{10823,92}{2,3} (0,884) = 4141 \text{ psig}$$

Característica operacional de la bomba TJ12000

Fabricante: ESP

Modelo: TJ12000

Tasa de flujo mínimo: 7500bbl/d

Tasa de flujo máximo: 18000bbl/d

Velocidad de referencia: 3600rpm

Etapas de referencia: 100

Numero de etapas: 126

Velocidad de operación: 3600rpm

Diámetro nominal: 6.75

En la tabla 2.5 se muestra los resultados obtenidos de las bombas con configuración de 3 unidades horizontales para caudales de 10000, 11000, y 12000 bbl/d.

Los modelos TE11000 y TJ12000 no cumplen con la presión de inyección requerida por el sistema. Los modelos TI10000, TJ10000 y HC12000 cumplen con la presión de inyección requerida por el sistema. Pero si analizamos la frecuencia, eficiencia y potencia de cada uno de estos modelos observamos que el modelo TJ10000 posee una frecuencia de 59Hz, eficiencia del 59% y una potencia de 893Hp aproximándose a los valores estándares de operación.

Tabla 2.5 Resultados de las bombas con configuración de 3 unidades horizontales

No.	MODELO	CAUDALES	CABEZA/ETAPA	(ETAPA/2,3)*0,88	No. ETAPAS	CABEZA	PRESION INY (PSIG)	FRECUENCIA (Hz)	EFICIENCIA %	POTENCIA (HP)
1	TI10000	10000	45,1	17,25	243	11056,86	4230	57	51	1028
2	TJ10000	10000	65,2	24,95	168	11024,89	4218	59	59	893
3	TE11000	11000	38,9	14,88	282	10895,53	4169	59	48	1089
4	HC12000	12000	72,4	27,71	152	11008,32	4212	56	56	939
5	TJ12000	12000	86,9	33,26	126	10823,92	4141	58	57	922

Fuente: (Petroamazonas, 2018)
Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

2.3.3.3 Pérdidas de presión en las líneas asociadas al sistema de

Power Oil

Para el diseño y cálculo de las líneas del sistema y red de Power Oil se utilizó el documento referenciado “Cálculos hidráulicos de líneas del nuevo sistema de bombeo de *power oil*” proporcionado por la empresa estatal Petroamazonas EP.

En la tabla 2.6 se muestra los criterios de velocidad para líneas de bombas reciprocantes y centrífugas.

Tabla 2.6 Criterios de velocidad para líneas de bombas

TIPO DE BOMBA	VELOCIDAD (pies/s)	
	Succión	Descarga
Bombas Reciprocantes		
<250 RPM	2	6
251-330 RPM	1 1/2	4 1/2
>330 RPM	1	3
Bombas Centrífugas	2-3	6-9
CONDICIÓN DEL FLUIDO	VELOCIDAD (pies/s)	
	Succión	Descarga
Líquido en punto de burbuja	0,5 a 3	N/A
Líquido sub-enfriado	1 a 5	N/A

Fuente: (Petroamazonas, 2018)

Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

En la tabla 2.7 se muestra los resultados de las líneas asociadas al sistema Power Oil.

Tabla 2.7 Resultados de las líneas asociadas al sistema Power Oil

DIÁMETRO NOMINAL A EVALUAR (pulg)	DESDE	HASTA	LONGITUD (pies)	PRESIÓN DE ENTRADA (psig)	PRESIÓN DE SALIDA (psig)	CAÍDA DE PRESIÓN (psig)	CAÍDA DE PRESIÓN (psig/100 pies)	CRITERIO CAÍDA DE PRESIÓN (psi/100 pies)	VELOCIDAD (pies/s)
10	Tanque de almacenamiento	Cabezal de succión bombas booster A/B	270	1	0,4965	0,5035	0,1554	3,5	2,89
8	Cabezal de succión bombas booster A/B	Succión de bombas booster A/B	10	0,4965	0,4802	0,0163	0,1358	0,5	2,28
4	Descarga de bombas booster A/B	Cabezal de descarga bombas booster A/B	10	100	99,5658	0,4342	3,6183	2	8,95
10	Cabezal de descarga bombas booster A/B	Cabezal de succión bombas HPS 1/2/3	30	99,5658	99,5097	0,0561	0,1558	3,5	2,89
10			30	100	99,9411	0,0589	0,1636	3,5	2,97
6	Cabezal de succión bombas HPS 1/2/3	Succión de bombas HPS 1/2/3	10	99,9411	99,9098	0,0313	0,2608	0,5	2,7
4	Descarga de bombas HPS 1/2/3	Cabezal de descarga bombas HPS 1/2/3	10	4200	4199,0928	0,9072	7,56	2	9,92

Fuente: (Petroamazonas, 2018)

Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

2.3.3.4 Evaluación de la Red de Power Oil

En la tabla 2.8 se aprecia la evaluación hidráulica de la red de *power oil*.

Tabla 2.8 Evaluación hidráulica red de *power oil*

Nombre	Temperatura	Presión	Flujo másico	Flujo líquido	Presión máxima	DP líneas	Velocidad promedio	Velocidad de líquido	Velocidad de erosión
	F	Psig	lb/s	STB/d	psig	psi	ft/s	ft/s	ft/s
Estación Pucuna	90	4188	84,1	23764					
J-11	91,39	3980,6	23,2	6556					
J_10	90,72	4090,8	84,1	23764					
J_11	91,7	3921,1	22,18	6267,8					
PCN 15D-17D	91,67	3902,6	10,65	3010,7					
PCN NUEVO 1	97,03	3038,5	5,84	1650					
PCN NUEVO 2	97,49	3112,1	5,84	1650					
PCN NUEVO 3	97,49	3112,1	5,84	1650					
PCN-10	91,14	3896,1	6,2	1751,2					
PCN-11-14D	91,12	3901,1	5,63	1589,5					
PCN-12	91,04	3970,5	4,73	1336,5					
PCN-13	96,88	3059,1	10,98	3102,5					
PCN-2	93,86	3654,2	38,72	10940					
PCN-3	91,66	3922,3	18,47	5219,5					
PCN-4			0	0					
PCN-6	96,2	3314,1	33,21	9383,5					
PCN-7	91,69	3872,8	11,53	3257,1					
PCN-8	91,3	3856,4	5,6	1581,8					
PCN-9	97,34	3132,5	27,66	7816					
Pucuna 1			0	0					
Pucuna 10	91,3	3872,6	6,2	1751,2					
Pucuna 11-14D	91,26	3880	5,63	1589,5					
Pucuna 12	91,16	3953,7	4,73	1336,5					
Pucuna 13	96,99	3043,9	5,14	1452,5					
Pucuna 17	91,81	3883,4	5,63	1591,7					
Pucuna 2	93,97	3638,2	5,51	1556,5					
Pucuna 3	91,83	3899	6,65	1878,8					
Pucuna 4			0	0					

Pucuna 5	91,8	3885,5	5,02	1419					
Pucuna 6	96,33	3296,8	5,55	1567,5					
Pucuna 7	91,24	3853,4	5,93	1675,3					
Pucuna 8	90,45	3823,3	5,6	1581,8					
Pucuna 9	97,44	3118,3	5	1413,5					
B21	90	4188	84,1	23764	4188	101,03	28,67	28,67	13,59
B15	90,73	4089,3	23,2	6556	4089,3	108,7	7,91	7,91	13,59
B19	91,39	3980,6	18,47	5219,5	3980,6	54,24	6,3	6,3	13,6
B23	91,39	3980,6	4,73	1336,5	3980,6	9,42	1,61	1,61	13,6
B1	90,75	4087	38,72	10940	4087	431,92	13,2	13,2	13,59
B22			0	0					
B24	90,72	4090,8	22,18	6267,8	4090,8	169,75	7,56	7,56	13,59
B25	91,7	3921,1	10,65	3010,7	3921,1	16,99	3,64	3,64	13,6
B26	91,7	3921,1	11,53	3257,1	3921,1	44,31	3,93	3,93	13,6
B31	91,67	3902,6	5,02	1419	3902,6	17,07	14,07	14,07	13,6
B32	91,67	3902,6	5,63	1591,7	3902,6	19,14	15,79	15,79	13,6
B3	96,88	3059,1	5,84	1650	3059,1	20,61	16,43	16,43	13,63
B16	97,34	3132,5	5,84	1650	3132,5	20,36	16,44	16,44	13,63
B4	97,34	3132,5	5,84	1650	3132,5	20,36	16,44	16,44	13,63
B30	91,14	3893,7	6,2	1751,2	3893,7	21,11	17,36	17,36	13,6
B8	91,66	3922,3	6,2	1751,2	3922,3	26,23	2,12	2,12	13,6
B29	91,12	3899,2	5,63	1589,5	3899,2	19,23	15,76	15,76	13,6
B7	91,66	3922,3	5,63	1589,5	3922,3	21,19	1,92	1,92	13,6
B28	91,04	3970,5	4,73	1336,5	3970,5	16,77	13,25	13,25	13,6
B12	96,88	3059,1	5,14	1452,5	3059,1	15,22	14,47	14,47	13,63
B14	97,34	3132,5	10,98	3102,5	3132,5	47,36	3,76	3,76	13,63
B10	93,86	3654,2	33,21	9383,5	3654,2	340,87	11,35	11,35	13,61
B2			0	0					
B9	93,86	3654,2	5,51	1556,5	3654,2	16,07	15,46	15,46	13,61
B18	91,66	3922,3	6,65	1878,8	3922,3	23,34	18,63	18,63	13,6
B27			0	0					
B11	96,2	3314,1	27,66	7816	3314,1	195,36	9,47	9,47	13,62
B20	96,2	3314,1	5,55	1567,5	3314,1	17,31	15,6	15,6	13,62
B17	91,69	3872,8	5,6	1581,8	3872,8	14,92	1,91	1,91	13,6
B5	91,69	3872,8	5,93	1675,3	3872,8	19,37	2,02	2,02	13,6
B6	91,3	3856,4	5,6	1581,8	3856,4	33,03	1,91	1,91	13,6

B13	97,34	3132,5	5	1413,5	3132,5	14,12	14,08	14,08	13,63
B21	90,75	4087	84,1	23764		101,03	28,68	28,68	13,59
B15	91,39	3980,6	23,2	6556		108,7	7,92	7,92	13,6
B19	91,63	3926,4	18,47	5219,5		54,24	6,3	6,3	13,6
B23	91,03	3971,2	4,73	1336,5		9,42	1,61	1,61	13,6
B1	93,85	3655,1	38,72	10940		431,92	13,23	13,23	13,61
B22			0	0					
B24	91,7	3921,1	22,18	6267,8		169,75	7,57	7,57	13,6
B25	91,66	3904,1	10,65	3010,7		16,99	3,64	3,64	13,6
B26	91,66	3876,8	11,53	3257,1		44,31	3,93	3,93	13,6
B31	91,8	3885,5	5,02	1419		17,07	14,07	14,07	13,6
B32	91,81	3883,4	5,63	1591,7		19,14	15,79	15,79	13,6
B3	97,03	3038,5	5,84	1650		20,61	16,44	16,44	13,63
B16	97,49	3112,1	5,84	1650		20,36	16,44	16,44	13,63
B4	97,49	3112,1	5,84	1650		20,36	16,44	16,44	13,63
B30	91,3	3872,6	6,2	1751,2		21,11	17,37	17,37	13,6
B8	91,13	3896,1	6,2	1751,2		26,23	2,11	2,11	13,6
B29	91,26	3880	5,63	1589,5		19,23	15,76	15,76	13,6
B7	91,11	3901,1	5,63	1589,5		21,19	1,92	1,92	13,6
B28	91,16	3953,7	4,73	1336,5		16,77	13,25	13,25	13,6
B12	96,99	3043,9	5,14	1452,5		15,22	14,47	14,47	13,63
B14	96,69	3085,1	10,98	3102,5		47,36	3,76	3,76	13,63
B10	96,21	3313,4	33,21	9383,5		340,87	11,37	11,37	13,62
B2			0	0					
B9	93,97	3638,2	5,51	1556,5		16,07	15,46	15,46	13,61
B18	91,83	3899	6,65	1878,8		23,34	18,64	18,64	13,6
B27			0	0					
B11	97,44	3118,7	27,66	7816		195,36	9,48	9,48	13,63
B20	96,33	3296,8	5,55	1567,5		17,31	15,6	15,6	13,62
B17	91,28	3857,9	5,6	1581,8		14,92	1,91	1,91	13,6
B5	91,24	3853,4	5,93	1675,3		19,37	2,02	2,02	13,6
B6	90,45	3823,3	5,6	1581,8		33,03	1,91	1,91	13,6
B13	97,44	3118,3	5	1413,5		14,12	14,08	14,08	13,63

Fuente: (Petroamazonas, 2018)

Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y ANÁLISIS

De acuerdo con la data de manejo de parámetros operacionales del sistema, la estación trabaja con un caudal de inyección de 20000bbl/d y una presión de inyección de 4200psig. Adicional a esto se le sumaron los caudales de tres nuevos pozos a perforar para el año 2019 obteniendo un caudal de inyección total de 28000bbl/d para la misma presión de inyección.

Basados en el catálogo de bombas del software PIPESIM y los cálculos analíticos y gráficos realizados en la sección de metodología se presentan los siguientes resultados:

- Tiempo de residencia (Tr)
- Bombas *booster*
- Bombas HPS

La figura 2.22 se muestra la curva y características de la bomba que se recomienda utilizar en la red Power Oil.

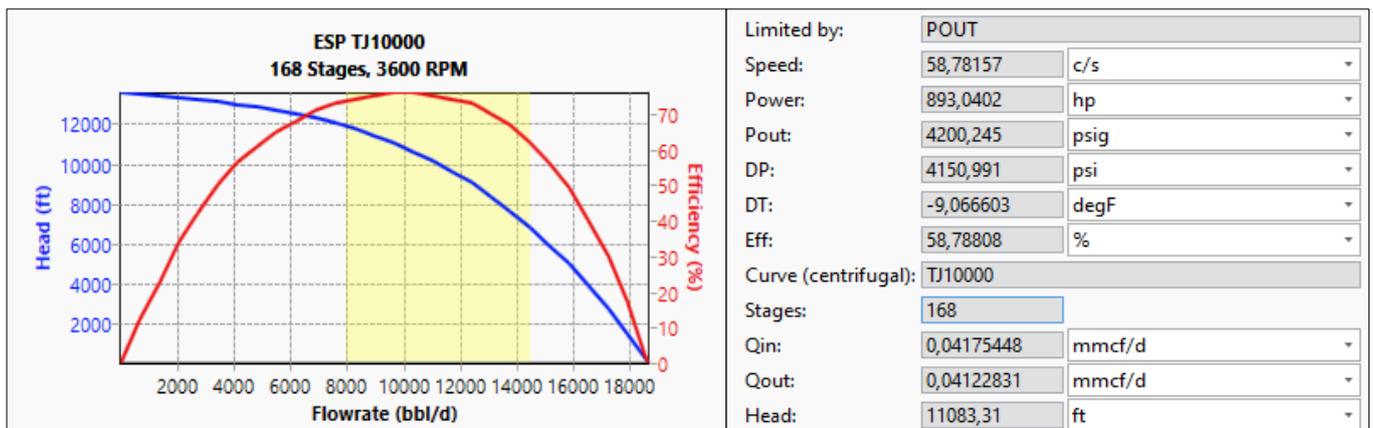


Figura 3.1 Curva y características de bomba HPS ideal

Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

En la tabla 3.1 se muestran los datos operacionales de la bomba seleccionada a implementar en el sistema:

Tabla 3.1 Parámetros operacionales de la bomba ideal

Modelo	TJ10000
Caudal (bbl/d)	10000
Cabeza/etapa	65,2
$(\text{etapa}/2,3)*0,88$	24,95
No. Etapas	168
Cabeza (ft)	11024,89
$P_{\text{inyeccion}}$ (psig)	4218
Eficiencia (%)	59
Potencia (Hp)	893

Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

Una vez determinada la bomba que se recomienda, en la figura 2.23 se muestra la configuración de las unidades horizontales para el sistema.

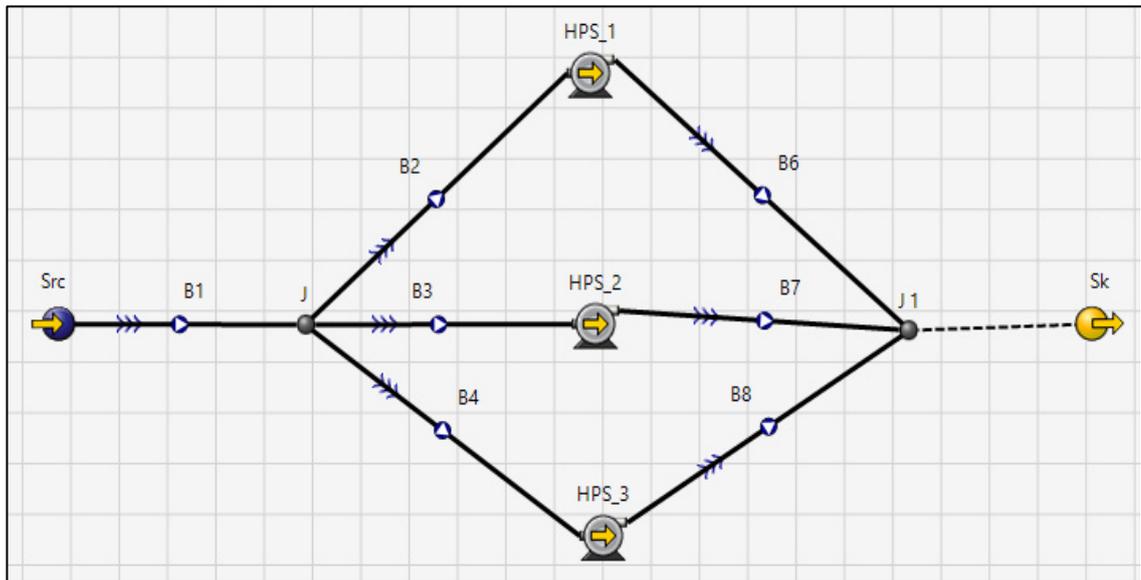


Figura 3.2 Configuración de unidades HPS
Fuente: (Choca-Quinancela, 2018)

En la figura 2.24 se aprecia la evaluación hidráulica de la red de *power oil*.

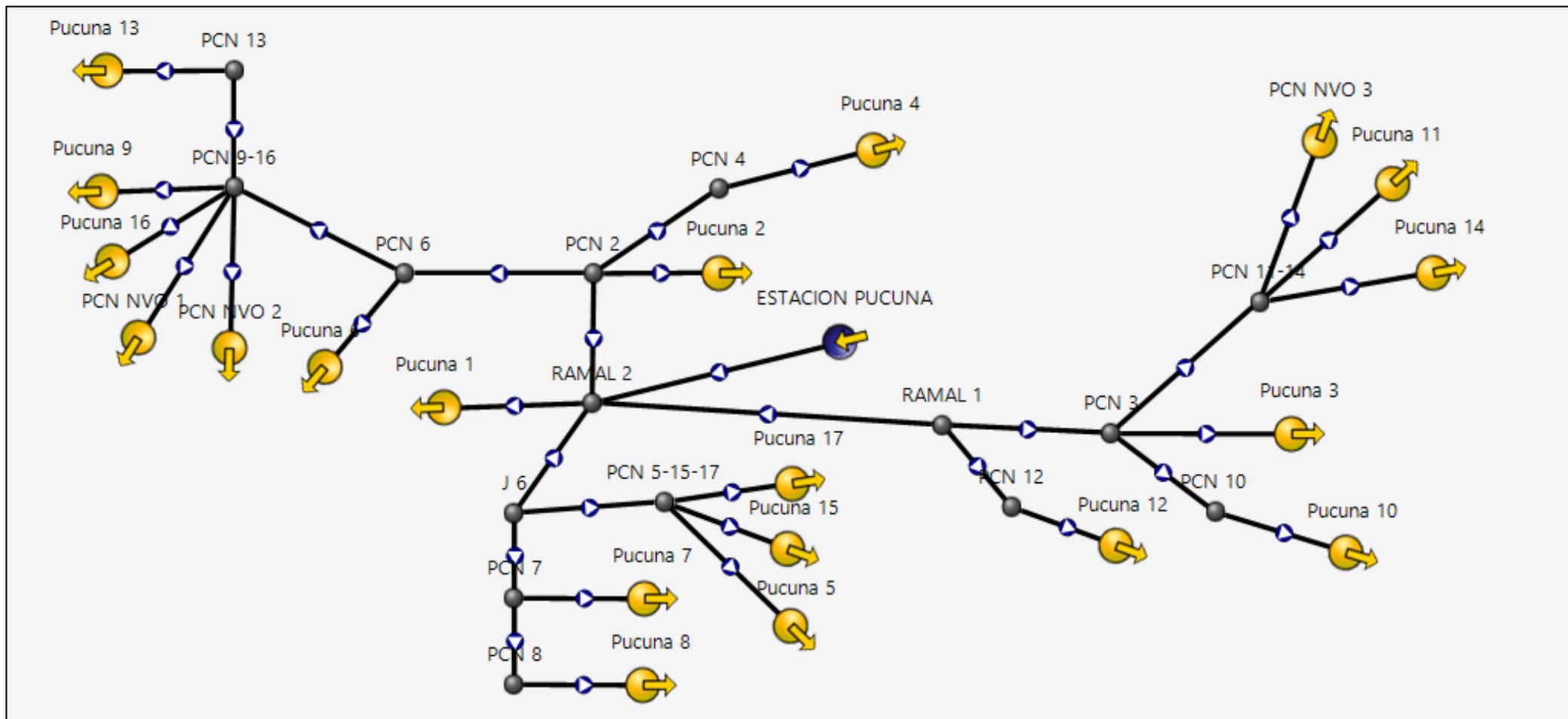


Figura 3.3 Esquemático a futuro de red Power Oil
 Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

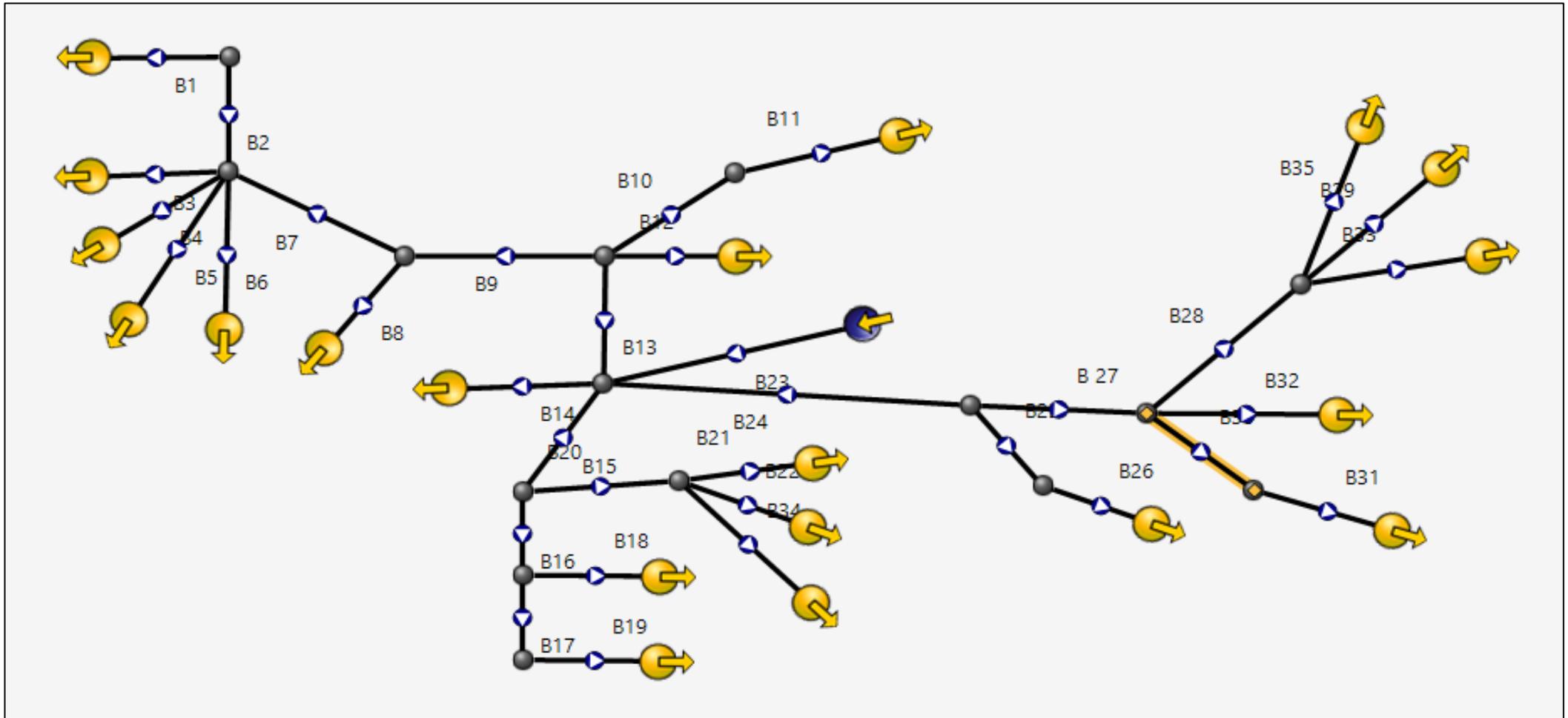


Figura 3.4 Esquemático a futuro de red Power Oil
 Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

3.1 Análisis de Costo

El presente análisis muestra costos de manera referencial por cada unidad horizontal que se encuentra en el mercado en la actualidad. Sin embargo, el presente trabajo no se enfoca en la relación costo-beneficio de la implantación. En la tabla 2.10 se muestra el análisis el análisis de costo de las unidades horizontales multietapas.

Tabla 3.2 Análisis de costo de unidades horizontales

EQUIPO	COSTO (\$)
Multietapa 1	800,000.00
Multietapa 2	800,000.00
Multietapa 3	800,000.00
Multietapa 4	800,000.00
Total	3200000.000.

Elaborado por: (Choca-Quinancela, 2018)

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados mostrados en el capítulo tres, se requieren de 4 bombas horizontales modelo TJ10000 de capacidad de 10000BOPD, con una presión de inyección de 4218psig, frecuencia 59Hz, eficiencia 59% y potencia 893hp.
- En base a la bomba seleccionada se requiere de una configuración de 3 unidades abasteciendo el caudal de inyección necesario que requiere el sistema.
- El sistema centralizado debe contar con 4 unidades horizontales, debido a que tres unidades deben estar en operación y una de respaldo.
- Se requiere de tres unidades *booster* con capacidades de 14000bbl/d, de las cuales dos deben estar operativas y una de respaldo.
- Las bombas HPS requieren un bajo mantenimiento en comparación con las bombas quintuplex, que requieren un mantenimiento cada 10 días.
- Para el mantenimiento de las bombas quintuplex se usa como combustible el diésel, lo que lo convierte en un proceso costoso, ya que es necesario 260 galones por cada bomba y el costo por galón es de \$3, dando un total, por las 6 bombas que se encuentran en uso, de aproximadamente \$4,680 diario.
- El tiempo de mantenimiento por cada bomba quintuplex es de 2-3 horas y si se realiza un mantenimiento profundo toma un periodo de 15 días.
- En lo que respecta a la generación eléctrica se tienen dos opciones para la sustentabilidad energética en la estación Pucuna, sea a través de la adquisición de un generador a gas o recibir energía por parte del bloque 18 (Palo Azul).
- La implementación de las unidades HPS representa un costo muy elevado de inversión para un campo antiguo y de baja producción más aún porque la estación no cuenta con un sistema de generación eléctrica apropiada.

RECOMENDACIONES

- La mejor opción de suministro de energía desde el bloque 18 es por vía subterránea, debido a factores económicos y ambientales. El campo cuenta con tubería de construcción en bodega que se emplearía para transportar las líneas eléctricas lo que representaría un ahorro. En comparación con el suministro por aire se tendría que talar árboles viéndose afectada la comunidad.
- En caso de que se llegue a adquirir un generador a gas, sería rentable debido a que el campo cuenta con una calidad de gas buena que no se tiene la necesidad de implementar una planta de tratamiento.
- Se recomienda a PAM verificar el correcto funcionamiento de la red de Power Oil de acuerdo con los resultados obtenidos de manera de que se cubra los caudales y presiones requeridas para las nuevas condiciones del proceso de producción.

BIBLIOGRAFIA

- A., L. M. (2017). *Modelo Petrofísico-Estratigráfico del Campo Pucuna, Cuenca Oriental del Ecuador*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Agila, C., & Espinosa, C. (2012). *Estudio técnico-económico para incrementar la producción de petróleo en el Campo Pucuna operado por EP-PETROECUADOR*. Quito: EPN.
- Agila, E. (2012). *Estudio Técnico-Económico para incrementar la producción de petróleo operado en el campo Pucuna operado por EP PETROECUADOR*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Aguila, C. E. (2012). *estudio tecnico-economico para incrementar la produccion de petroleo en el campo Pucuna*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Aracely, T., & Játiva, R. (2007). *Actualización de reservas y ubicación de pozos de desarrollo en el Campo Tapi-Tetete*. QUITO/EPN/2007.
- Armijos Honores, A. E., & Yépez Pazmiño, D. F. (2013). *Estudio técnico-económico de la perforación de pozos tipo re-entry en los campos Tetete-Tapi-Frontera*. Quito, 2013.
- Baby, P., Rivadeneira, M., & Barragán, R. (2004). *La cuenca Oriente: geología y petróleo* (Vol. 144): Institut français d'études andines.
- Bearden, J. (2006). Electrical Submersible Pumps. In J. D. Clegg (Ed.), *Petroleum Engineering Handbook* (Vol. IV): Society of Petroleum Engineers.

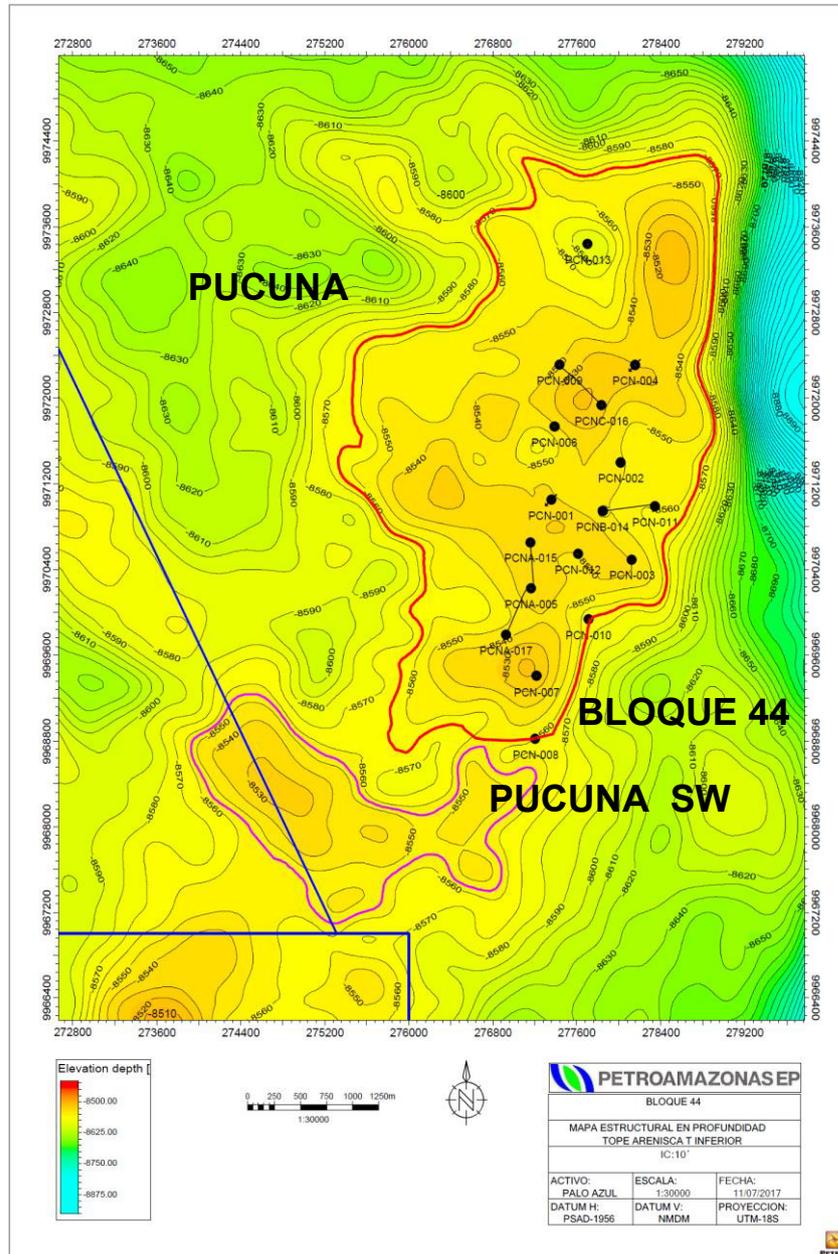
- Beltrán, F., & Fierro, O. (2007). *Análisis técnico-económico para optimizar el sistema de fluido motriz, aplicado en el campo Lago Agrio operado por Petroproducción*. Quito: EPN.
- Cano Delgado, C. A., & Sarmiento Ordóñez, J. E. (2017). *Optimización de la Producción Del Pozo fict-01, Mediante el Análisis de Los Sistemas de Levantamiento Artificial Por Bombeo Hidráulico y Electrosumergible*. Espol.
- Carlos Ortiz, H. R. (2009). *Diseño de Completaciones Duales Paralelas para un Sistema de Bombeo Hidráulico*. Guayaquil: ESPOL.
- Carlos Ronquillo, W. M. (2003). *Centralización del Bombeo Hidraulico en el campo lago agrio*. Guayaquil: CICYT.
- Castillo, F. E. L. (2016). *Evaluación del Sistema de Levantamiento Artificial en el Campo Palo Azul*. Universidad Central del Ecuador.
- Chiriboga, C. (2015). [Unidad Móvil Horizontal (HPS)].
- Choca, I. Q. (2018). *Choca, I., Quisnancela, M.* Coca: Choca, I., Quisnancela, M.
- Choca-Quinancela. (2018). *Choca-Quinancela,.* Coca: Choca-Quinancela,.
- Coello Zambrano, A. H. (2017). *Manual de operaciones para levantamiento artificial por bombeo hidráulico tipo JET con unidad móvil de evaluación*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- Collahuazo, C., & Romero, M. (2011). *Estudio del sistema de bombeo hidráulico en el campo Lago Agrio para incrementar su producción*. Quito: EPN.
- Fretwell, J. (2006). Hydraulic Pumping in Oil Wells. In L. W. Lake (Ed.), *Petroleum Engineering Handbook* (Vol. IV): Society of Petroleum Engineers.
- García, J. (1979). *Diseño computarizado de un sistema de bombeo hidráulico tipo pistón*. Guayaquil: ESPOL.
- Lake, L. W. (2006). *Petroleum Engineering Handbook, Volume IV*.
- Lake, L. W. (2006). *Petroleum Engineering Handbook, Volume IV* (pp. 714-757).
- Perlaza Diaz, G. X., & Beltrán Apolo, V. J. (2016). *Levantamiento Hidráulico con Bomba Jet Para Evaluar y Producir Pozos en el Oriente Ecuatoriano*. Espol.
- PETROAMAZONAS. (2017). *CAMPOS MENORES 2017*. Retrieved from QUITO: <http://www.petroamazonas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/06/Brochure-Campos-Menores.pdf>
- PETROAMAZONAS. (2014). *Ampliación Estación Pucuna*. Quito: PETROAMAZONAS.
- Petroamazonas. (2018).
- PETROECUADOR, E. (Dirección). (2012). *Departamento de Cartografía* [Película].

- Rengifo, J., & Tobar, K. (2017). *Implementación del sistema power oil móvil utilizando HPS en pozos con sistema de levantamiento artificial hidráulico en la misma locación*. Guayaquil: ESPOL.
- Rengifo-Tobar. (2017). *Implementacion del Sistema Power Oil Móvil utilizando HPS en pozos con Sistema de Levantamiento Artificial Hidráulico en la misma locación* . Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral .
- Schlumberger. (25 de Mayo de 2018). *Schlumberger*. Obtenido de Schlumberger: www.slb.com/hps
- Sertecpet. (2015). Bombeo Hidráulico Sertecpet _ Español: Sertecpet.
- Sertecpet. (2017a). CATÁLOGO DE SERVICIOS Y PRODUCTOS. In Sertecpet (Ed.), (pp. 94): Sertecpet.
- Sertecpet. (2017b). Unidad móvil Horizontal UMH/ HPS. Retrieved from <http://www.sertecpet.net/jetclaw.html>
- SIERRA, L. GEOLOGIA GENERAL DEL NORORIENTE ECUATORIANO.

ANEXOS

ANEXO 1.1



Mapa Estructural al Tope de T Inferior del campo Pucuna

ANEXO 1.2

Tendencias de presión de succión y de descarga de la bomba *booster* y HP

