



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**"ANÁLISIS TÉCNICO ENTRE UNIDADES DE DESPLAZAMIENTO
POSITIVO TRIPLEX Y UNIDADES CENTRIFUGAS HPS PARA OPTIMIZAR
EL SISTEMA DE FLUIDO MOTRIZ EN EL CAMPO ESPOL "A" "**

PROYECTO DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEO

Presentado por:

KATHERINE MARTHA BRBORICH ÁLVAREZ

EUNICE FERNANDA BRICEÑO RÍOS

GUAYAQUIL-ECUADOR
2018

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por darme la fuerza necesaria para continuar mi camino, a mi familia quienes con su amor y apoyo me han motivado y ayudado a conseguir cada una de mis metas y por sobre todo quiero dedicar este logro a mi hijo Hugo Alejandro; porque, aunque el camino lo empecé yo, tú fuiste mi mayor motivación e inspiración para culminar esta etapa.

Katherine Martha Brborich Álvarez

DEDICATORIA

A Dios porque sin él nada de esto sería posible, a mis padres Abg. Gonzalo Briceño y Katherine Ríos, quienes han sido mi inspiración de lucha y perseverancia.

A mis hermanos Víctor Briceño, Isaac Briceño y a mi novio Daniel Quiñonez por el apoyo brindado.

Eunice Fernanda Briceño Ríos.

AGRADECIMIENTO

A lo largo del camino encontramos personas las cuales influyen en nuestras vidas y nos ayudan a ser la mejor versión de nosotros mismos, por lo cual agradecemos de manera muy especial a todas las personas que han contribuido con nuestra formación académica, a nuestra familia por ser el pilar fundamental y apoyo constante, a esos amigos que han sido parte de esta etapa creando momentos que siempre llevaremos en el corazón.

Katherine Martha Brborich Álvarez

Eunice Fernanda Briceño Ríos

TRIBUNAL DEL PROYECTO

MSc. Fernando Sagnay
MIEMBRO EVALUADOR

MSc. Danilo Arcentales
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA

MSc. Xavier Vargas
COORDINADOR DE LA CARRERA

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la
ESPOL)

KATHERINE MARTHA BRBORICH ÁLVAREZ

EUNICE FERNANDA BRICEÑO RÍOS

RESUMEN

En el sistema de bombeo hidráulico convencional utilizado en la producción de hidrocarburos, el fluido motriz es suministrado por unidades de desplazamiento positivo *Triplex* o *Quintuplex*, estas bombas presentan deficiencias de operación, por lo que es necesario implementar un sistema de bombeo más eficiente.

El siguiente proyecto tiene como objetivo optimizar el sistema del fluido de potencia, conocido también como fluido motriz en el campo ESPOL A, realizando un estudio técnico de las unidades HPS (*Horizontal Pumping System*), eligiendo la mejor propuesta para una posible implementación de estas unidades en lugar del sistema actual.

En el capítulo 1 se especifica el preámbulo, planteamiento del problema, los objetivos a alcanzar y la metodología de estudio.

El capítulo 2 define el marco teórico en donde se describe el campo el cual se procederá a analizar y se desarrollan los temas como levantamiento artificial, bombeo hidráulico, unidad móvil de prueba MTU, Unidad de bombeo horizontal HPS. Se analizan y describen los equipos tanto en funcionamiento como en especificaciones de normas internacionales.

En el capítulo 3 se desarrolla nuestro proyecto, se procederá a realizar los criterios de selección de los pozos y realizando la comparación técnica de las distintas unidades de bombeo en donde se darán las propuestas de implementación para optimizar el sistema de fluido motriz.

En el capítulo 4 se analiza los costos por: pérdidas de producción, costos energéticos, costos de mantenimiento; el capítulo finaliza con el análisis FODA del problema.

Nuestra investigación culmina con las conclusiones y recomendaciones detalladas en el capítulo 5.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	IV
TRIBUNAL DEL PROYECTO	V
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ABREVIATURAS	XIV
SIMBOLOGÍA	XVII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIX
CAPÍTULO 1.....	21
INTRODUCCIÓN	21
1.1. Preámbulo	22
1.2. Planteamiento del problema	23
1.3. Hipótesis.....	23
1.4. Objetivos.....	23
1.4.1. Objetivo General	23

1.4.2. Objetivos Específicos.....	24
1.5. Metodología de estudio.....	24
1.5.1. Investigación Documental	24
1.5.2. Esquema Metodológico.....	25
CAPÍTULO 2.....	26
MARCO TEÓRICO	26
2.1. Antecedentes del campo ESPOL “A”	27
2.1.1. Ubicación Geográfica.....	27
2.1.2. Estructura Geológica.....	28
2.1.3. Estratigrafía y Litología de la zona de Interés	28
2.2. Estado Actual del Campo ESPOL “A”	32
2.2.1. Distribución de los Pozos en el Campo ESPOL “A”	32
2.2.2. Pozos del campo ESPOL “A”	33
2.2.3. Parámetros de Operación del Campo ESPOL “A”	35
2.3. Levantamiento Artificial.....	35
2.3.1. Factores que afectan al costo del Levantamiento Artificial	36
2.3.2. Tipos de Levantamiento Artificial	37
2.4. Descripción General del Bombeo Hidráulico.....	42
2.4.1. Principio Físico utilizado en el Bombeo Hidráulico.....	42
2.4.2. Componentes del Bombeo Hidráulico.....	43
2.4.3. Tipos de Bombeo Hidráulico	48
2.4.4. Ventajas y Desventajas Generales del Bombeo Hidráulico	49

2.5.	Fluido Motriz	50
2.5.1.	Selección del Fluido Motriz	50
2.5.2.	Sistema de Inyección del Fluido Motriz.....	51
2.6.	Bombas de desplazamiento positivo	53
2.7.	Descripción del Sistema de Bombeo de Superficie HPS (<i>Horizontal Pumping System</i>).....	54
2.7.1.	Funcionamiento del Sistema de Bombeo de Superficie.....	55
2.7.2.	Componentes del Sistema de Bombeo de Superficie	56
2.7.3.	Ventajas y Desventajas del Sistema de Bombeo de Superficie...	58
2.8.	Descripción de la Unidad de Prueba Móvil MTU (<i>Mobile Test Unit</i>)	59
2.8.1.	Funcionamiento de la Unidad Móvil De Prueba (MTU)	59
2.8.2.	Componentes de la Unidad Móvil De Prueba (M.T.U)	60
2.8.3.	Ventajas de la MTU.....	62
2.9.	Descripción del sistema de producción de los pozos que operan con bombeo hidráulico.....	63
2.9.1.	Diagrama de flujo del sistema de Bombeo Hidráulico convencional	63
2.9.2.	Diagrama de flujo del sistema de Bombeo Hidráulico con unidad móvil de prueba MTU.....	64
2.9.3.	Diagrama de flujo del sistema de Bombeo Hidráulico con HPS..	65
CAPÍTULO 3		67
METODOLOGÍA		67

3.1. Población y muestra	68
3.1.1. Población	68
3.1.2. Muestra	68
3.2. Métodos	69
3.3. Recolección de Datos	69
3.4. Selección de la muestra.....	70
3.5. Diseño del sistema de bombeo hidráulico actual del campo	73
3.5.1. Situación actual del campo ESPOL “A”	73
3.5.2. Descripción técnica del diseño del sistema actual	75
3.5.3. Consideraciones Operativas y de Diseño del Campo	78
3.5.4. Evaluación de las unidades de desplazamiento del campo	79
3.5.5. Volumen de Fluido Motriz Inyectado y Petróleo Producido de los pozos con Bombeo Hidráulico	81
3.6. Principales Problemas de operación con las bombas de desplazamiento positivo en el campo	82
3.7. Consideraciones técnicas de las unidades de sistema de bombeo propuestas	84
3.7.1. Sistema de Bombeo Horizontal (HPS)	84
3.7.2. Sistema con unidad móvil de prueba MTU	87
3.8. Propuesta para el cambio del sistema de bombeo actual del fluido motriz.....	88
3.8.1. Consideraciones	89

3.8.2. Evaluación Técnica de las unidades de bombeo descritas en la propuesta.....	89
CAPÍTULO 4.....	94
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	94
4.1. Análisis comparativo de Costos.....	95
4.1.1. Costos del Sistema Actual con Bombas de Desplazamiento Positivo	95
4.1.2. Costos del Sistema Propuesto con unidad HPS	100
4.1.3. Síntesis de costos de las unidades	105
4.2. Matriz Comparativa.....	106
4.3 Análisis FODA	107
CAPÍTULO 5.....	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
CONCLUSIONES	110
RECOMENDACIONES.....	113
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
ANSI	Instituto Americano Nacional de Estándares
API	Instituto Americano de Petróleo
BFPD	Barriles de Fluido por Día
BPPD	Barriles de Petróleo por Día
BLS	Barriles de Petróleo
Np	Petróleo Producido Acumulado
B/D	Barriles de petróleo por Día
PSI	Libras por Pulgada Cuadrada
BSW	Base Sedimento Agua
GOR	Relación Gas-Petróleo
NGL	Líquidos de Gas Natural
GL	Gas-Lift
BM	Bombeo Mecánico

BES	Bombeo Electro-Sumergible
BH	Bombeo Hidráulico
BHA	Bottom Hole Assembly
HS	Arena Hollín Superior
TI	Arena Napo "T" Inferior
TS	Arena Napo "T" Superior
H+T	Arena Hollín y Napo "T"
U	Arena U
U+T	Arena U y Napo "T"
BT	Basal Tena
NO	Noreste
SO	Suroeste
NE	Nereste
SE	Sureste
MTU	Mobile Test Unit
HPS	Sistema Horizontal de Bombeo

NPHSR	Cabeza Neta Positiva de Succión Requerida
RPM	Revoluciones por minuto
HP	Potencia
USD	Dólares Americanos
Csg	Casing
Pulg	Pulgada
Stg	Etapa

SIMBOLOGÍA

m	Metros, unidad de medición
Km ²	Kilómetros cuadrados
USD	Dólares Americanos
gl	Galones
%	Porcentaje
Cp	Centipoise

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Esquema Metodológico.....	25
Figura 2. 1 Ubicación del bloque AZ	28
Figura 2. 2 Estratigrafía y Litología de la Zona de Interés.....	31
Figura 2. 3 Componentes del Bombeo Mecánico	38
Figura 2. 4 Sistema de Bombeo Electro Sumergible.....	39
Figura 2. 5 Configuración del Bombeo por Cavidad Progresiva	40
Figura 2. 6 Funcionamiento del Gas Lift	41
Figura 2. 7 Instalación completa de Bombeo Hidráulico	42
Figura 2. 8 Elementos de Superficie del Bombeo Hidráulico	45
Figura 2. 9 Equipo de fondo del Bombeo Hidráulico	47
Figura 2. 10 Partes de una bomba tipo pistón	49
Figura 2. 11 Sistema de Fluido Motriz Cerrado.....	52
Figura 2. 12 Sistema de Fluido Motriz Abierto	53
Figura 2. 13 Componentes externos de una Bomba Horizontal (HPS)	55
Figura 2. 14 Componentes de la unidad móvil de prueba (MTU).....	62
Figura 2. 15 Sistema de Bombeo Hidráulico.....	64
Figura 2. 16 Sistema de Bombeo Hidráulico con M.T.U.	65
Figura 2. 17 Sistema de Bombeo Hidráulico con H.P.S.....	66
Figura 3. 1 Diagrama de Flujo del Sistema De Bombeo del Campo ESPOL A	76
Figura 3. 2 Configuraciones estándar de series de bombas para SPS.....	90
Figura 3. 3 Curva WOOD GROUP TJ- 9000.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Parámetros Petrofísicos de los Yacimientos Productores	31
Tabla II. Distribución de los pozos en el campo ESPOL A.	32
Tabla III. Pozos productores con Bombeo Hidráulico.	33
Tabla IV. Pozos productores con Bombeo Mecánico	33
Tabla V. Pozos productores con Bombeo Electro sumergible.	34
Tabla VI. Pozos cerrados.	34
Tabla VII. Pozos con abandono.	34
Tabla VIII. Síntesis de los pozos en el campo ESPOL A.	35
Tabla IX. Producción del campo ESPOL A	35
Tabla X. Pozos seleccionados para el análisis técnico.	71
Tabla XI. Tubería de fluido motriz.	77
Tabla XII. Tubería de fluido producido.	77
Tabla XIII Potencia a necesitar por cada estación.	77
Tabla XIV. Unidades de bombeo del campo ESPOL “A”	80
Tabla XV. Desempeño de las presiones en el sistema bomba triplex.	80
Tabla XVI. Comportamiento de las presiones en el sistema Quintuplex.	81
Tabla XVII. Volumen de fluido motriz inyectado y petróleo producido	82
Tabla XVIII. Principales problemas de operación	84
Tabla XIX. Descripción de las unidades de bombeo HPS y MTU	87
Tabla XX. Aplicaciones de las unidades HPS y MTU.	88
Tabla XXI. Valores residuales del Sistema de Bombeo Actual.	95

Tabla XXII. Costo Total Del Sistema Actual	96
Tabla XXIII. Bombas eléctricas del Campo ESPOL A	96
Tabla XXIV. Tarifa KW-H.....	97
Tabla XXV. Consumo Total del Campo ESPOL A.....	97
Tabla XXVI. Consumo de galones de diésel del Campo ESPOL A.....	98
Tabla XXVII. Tarifa normal del diésel	98
Tabla XXVIII. Consumo Total del diésel del Campo ESPOL A.....	99
Tabla XXIX. Costos de mantenimiento y reparación en el sistema actual de bombeo	99
Tabla XXX. Pérdidas de producción.....	100
Tabla XXXI. Características de la bomba a instalarse en el Sistema Propuesto.	101
Tabla XXXII. Costo Energético de Motores eléctricos Del Sistema Propuesto HPS	101
Tabla XXXIII. Costos unidad HPS	102
Tabla XXXIV. Mantenimiento y fallas HPS	104
Tabla XXXV. Análisis comparativo de costos	105
Tabla XXXVI. Matriz Comparativa	107

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Preámbulo

El presente proyecto de investigación realiza un estudio técnico de las facilidades tempranas de producción como el bombeo horizontal de superficie HPS (*Horizontal Pumping System*), para optimizar el sistema de fluido motriz del levantamiento artificial Bombeo Hidráulico.

Estas unidades obtienen información significativa del pozo que se vaya a evaluar, estos datos son:

- Caudal producido
- Caudal inyectado
- Presiones de entrada y salida del fluido
- Temperatura de entrada y salida del fluido

Es necesario la realización del proyecto ya que actualmente se suministra fluido motriz a través de las unidades de bombeo de desplazamiento positivo como: *Triplex* y *Quintuplex*, por lo cual se debe escoger el sistema que sea más eficiente a la hora de bombear el fluido motriz.

1.2. Planteamiento del problema

En la industria petrolera es importante optimizar costos en las diferentes operaciones que se realice, por lo cual se debe escoger el sistema que sea más eficiente a la hora de bombear el fluido motriz.

En la producción del campo ESPOL A, alrededor del 50% representa a los pozos que operan mediante bombeo hidráulico, El problema se basa en que las actuales unidades de bombeo del campo: unidades *Triplex* y *Quintuplex* no aportan la energía necesaria para la correcta operación de las bombas de subsuelo de los pozos.

Lo cual se procederá a sustentar mediante la realización de un estudio técnico para la realización de este proyecto.

1.3. Hipótesis

- El actual sistema de bombeo optimiza alrededor del 100% del fluido motriz inyectado en los pozos del campo ESPOL A

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Proponer la optimización del sistema de fluido motriz en el campo ESPOL A, mediante un estudio de la HPS (*Horizontal Pumping System*) eligiendo la unidad más eficiente y rentable.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar si las unidades actuales de bombeo es el adecuado para la carga de trabajo.
- Evaluar problemas de mantenimiento y operacionales
- Analizar el circuito del sistema del fluido motriz.
- Establecer las diferencias entre las unidades HPS y MTU.
- Elegir el sistema más eficiente para el cambio.

1.5. Metodología de estudio

La metodología de estudio a utilizar, se fundamentará a través de las investigaciones exhaustivas para el desarrollo del proyecto según el problema planteado.

1.5.1. Investigación Documental

Este proyecto investigativo permite elaborar y seleccionar información de diferentes fuentes. Las distintas fuentes son:

- Libros
- Tesis
- Monografías
- Informes técnicos y de investigación
- Artículos

1.5.2. Esquema Metodológico

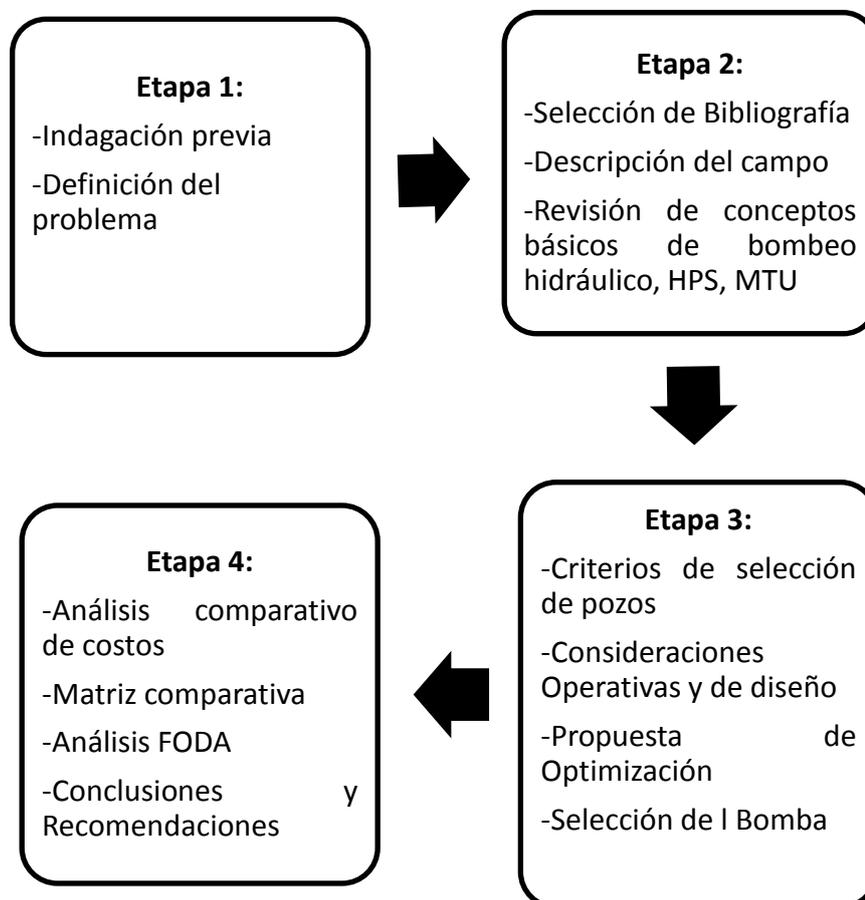


Figura 1. 1 Esquema Metodológico

Fuente: Autores.

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del campo ESPOL “A”

El campo ESPOL A fue descubierto en abril de 1980 con la perforación del pozo ESPOL A1, que alcanzó una producción a flujo natural de 1960 BPPD, proveniente de la Formación Hollín a una profundidad aproximada de 10170 pies con un grado API de 29.

La formación Hollín es el objetivo primario, y las areniscas, calizas Napo son consideradas como objetivo secundario.

2.1.1. Ubicación Geográfica

El campo ESPOL A perteneciente al bloque AZ, ubicado dentro de la provincia de Sucumbíos, cantón Cuyabeno, al sureste del campo TARAPOA, cuenta con una extensión de 9,4 km de largo en el eje principal NO-SE y 3.3 km de ancho en la dirección NE-SO, conformado por un área aproximada de 31.02 km^2 y cierre vertical de 120 pies.

Las coordenadas geográficas dentro de las cuales se localizan el campo ESPOL A son:

Latitud: 00° 12' 23" Norte 00° 06' 03" Sur

Longitud: 75° 32' 41" Oeste 75° 30' 07" Este

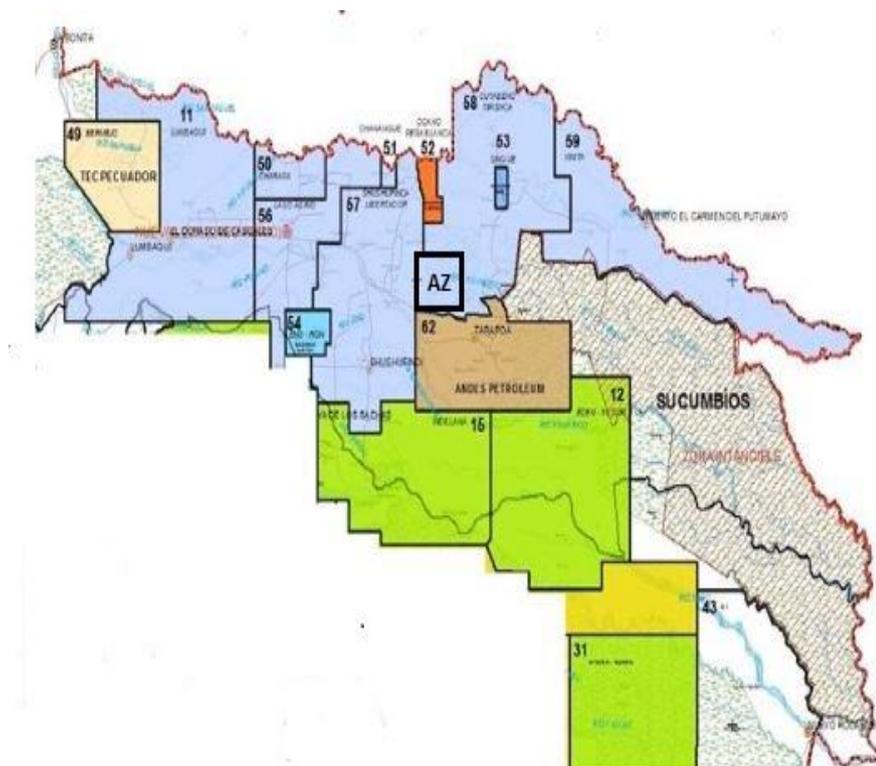


Figura 2. 1 Ubicación del bloque AZ
Fuente: Viteri, 2015

2.1.2. Estructura Geológica

La estructura de ESPOL “A” consta de un anticlinal fallado, en dirección Norte-Noreste de 9 km de largo por 3.2 de ancho, con un área de 31.02 km^2 .

2.1.3. Estratigrafía y Litología de la zona de Interés

La litología del campo ESPOL “A” es conformada por las siguientes areniscas.

Formación Hollín

Esta formación comprende de arenisca de cuarzo que posee un color gris claro, el tamaño varía entre mediano a grueso, con escasas intercalaciones de lutita y caliza. (Cristian & Miriam, 2011, pág. 5) .

Hollín Superior

Su ambiente deposicional proveniente de depósitos marino costero y marino abierto, consta de intercalaciones de arenisca cuarzosa color gris verdoso, de grano fino con presencia de glauconita y clorita. (Cristian & Miriam, 2011, pág. 7)

Hollín Inferior

Este yacimiento presenta un BSW del 50% debido a que en el origen de su ambiente deposicional fue cubierto de valles y una planicie de ríos entrelazados y planicies costeras con un ambiente fluvial, (Cristian & Miriam, 2011, pág. 8)

Formación Napo

Compuesta por lutitas, calizas ínter estratificadas, calizas con abundancia de fósiles, lutitas, calizas y areniscas con hidrocarburo, correspondientes a un ambiente de deposición marino. (Cristian & Miriam, 2011, pág. 8)

Zona “T”.- Es una arenisca perteneciente a un ambiente de depósito fluvial, de cuarzo de color gris verdoso y grano muy fino a medio angular a subangular bien clasificada, su espesor varía entre 25 pies a 30 pies (Cristian & Miriam, 2011, pág. 8)

Zona “U”.- Es una arenisca que posee un espesor neto que va desde los 20 pies llegando hasta los 30 pies, de cuarzo-arenita sul-arcósica y sub-lítica, de cuarzo, con menor proporción de feldespatos y fragmentos líticos. Corresponde a un ambiente de depósito fluvial, deltaico, marino somero y plataforma marina. (Cristian & Miriam, 2011, pág. 8)

Formación Tena

La formación Tena está conformada por arcilla moteada predominando el café chocolate a gris verdoso. La arenisca Basal Tena muestra partes en las que se puede observar superficies de erosión las cuales están sobrepuestas por conglomerados o areniscas, a este tipo de formación lo constituyen areniscas cuarzosa con grano que varían entre fino a grueso de color café claro (Cristian & Miriam, 2011, pág. 9)

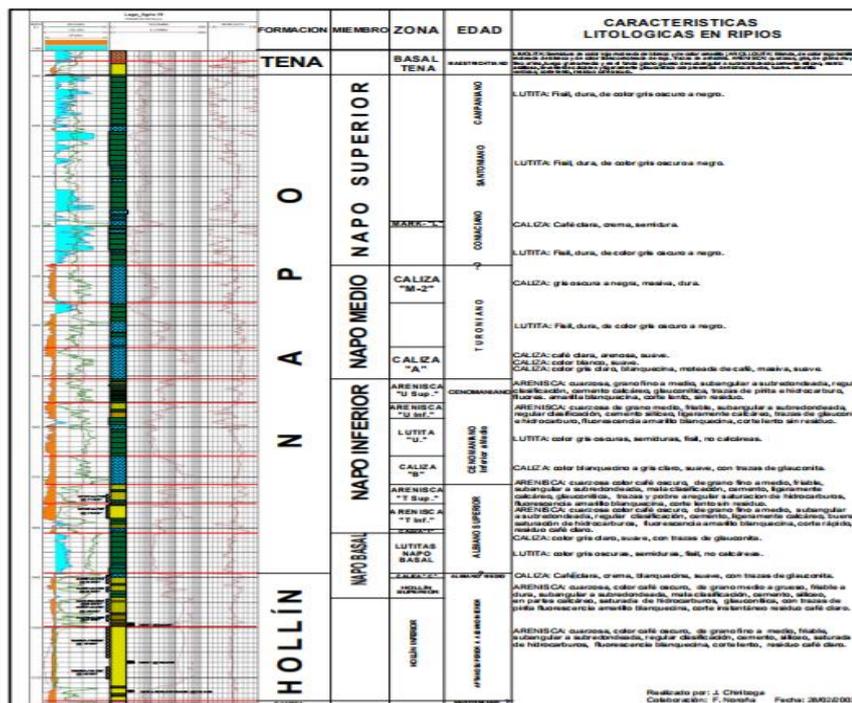


Figura 2. 2 Estratigrafía y Litología de la Zona de Interés

Fuente: Chiriboga, 2003

Tabla I. Parámetros Petrofísicos de los Yacimientos Productores

FACTOR	BT	U	T	HS	HI
Espesor neto promedio (pies)	9	23	21	12	12
Porosidad (%)	18	16.7	14.5	14.2	17.1
Permeabilidad (md)	433	425	240	130	350

Fuente: Ingeniería de Yacimientos, SHE
Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

2.2. Estado Actual del Campo ESPOL “A”

2.2.1. Distribución de los Pozos en el Campo ESPOL “A”

La estación norte posee 7 pozos pertenecientes al PAD 1 con una producción de 1239 BBPD. La estación central del campo consta de 14 pozos con una producción de 3139 BBPD, la cual se estimó en junio del 2017. Los pozos pertenecen al PAD 2 y 3.

Tabla II. Distribución de los pozos en el campo ESPOL A

PLATAFORMAS	POZOS	NÚMERO DE POZOS
PAD – 3	ESPOL A13	7
	ESPOL A17	
	ESPOL A18	
	ESPOL A21	
	ESPOL A22	
	ESPOL A07	
	ESPOL A12	
PAD – 2	ESPOL A04	8
	ESPOL A05	
	ESPOL A6	
	ESPOL A09	
	ESPOL A10	
	ESPOL A23	
	ESPOL A02	
	ESPOL A01	
PAD – 1	ESPOL A03	7
	ESPOL A26	
	ESPOL A11	
	ESPOL A15	
	ESPOL A25	
	ESPOL A27	
	ESPOL A28	

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

2.2.2. Pozos del campo ESPOL "A"

A continuación, se describe los pozos productores, cerrados y con abandono; de los cuales se han perforado 27 hasta la fecha de noviembre del 2016.

Tabla III. Pozos productores con Bombeo Hidráulico

POZO	PRODUCCIÓN			
	BFPD	BPPD	BSW	API
ESPOL A04	222	289	15.0	27.7
ESPOL A05	360	216	40.0	28.3
ESPOL A06	260	174	33.0	29.5
ESPOL A09	277	222	20.0	29.5
ESPOL A10	190	155	18.5	32.6
ESPOL A13	267	160	39.9	27.5
ESPOL A17	216	145	33.0	29.3
ESPOL A18	329	270	17.9	30.5
ESPOL A21	262	207	21.0	27.9
ESPOL A22	184	156	15.0	28.4
ESPOL A23	168	155	7.9	28.0

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Tabla IV. Pozos productores con Bombeo Mecánico

POZO	ARENA	PRODUCCIÓN			
		BFPD	BPPD	BSW	API
ESPOL A01	HS	91	39	62.0	29.0
ESPOL A03	HS	230	221	4.0	29.0
ESPOL A12	TI+TS	108	78	27.0	29.0
ESPOL A26	U+T	278	252	9.4	29.0

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Tabla V. Pozos productores con Bombeo Electro sumergible

POZO	BFPD	BPPD	BSW	°API
ESPOL A02	432	140	70.0	28.0
ESPOL A07	570	250	61.2	27.0
ESPOL A11	244	193	21.10	27.0
ESPOL A15	320	272	14.8	27.0
ESPOL A25	505	430	24.8	27.9
ESPOL A27	245	215	12.1	27.8
ESPOL A28	646	267	64.2	27.4

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Tabla VI. Pozos cerrados

POZO	ARENA
ESPOL A08	HS
ESPOL A14	U+T
ESPOL A16	TS
ESPOL A20	U

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Tabla VII. Pozos con abandono

POZO	ARENA
ESPOL A19	H
ESPOL A24	H

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Tabla VIII. Síntesis de los pozos en el campo ESPOL A

POZOS	TOTAL
Bombeo Hidráulico	11
Bombeo Mecánico	4
Bombeo Electro sumergible	7
Cerrado	4
Abandono definitivo	2
pozo seco	1
Total pozos perforados	29

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

2.2.3. Parámetros de Operación del Campo ESPOL “A”

El campo ESPOL “A”, se encuentra produciendo con 22 pozos, 4 pozos provenientes de la arena Basal Tena, 8 de la formación Hollín, 3 de la arena “T”, 2 de la arena “U”, 2 del yacimiento U+T, 2 del yacimiento HS, 1 del yacimiento TI+TS, donde 11 pozos se encuentra produciendo con Bombeo Hidráulico, 4 con Bombeo mecánico, y 7 con BES, obteniendo una producción al día de:

Tabla IX. Producción del campo ESPOL A

CAMPO	BFPD	BPPD	GAS MPCD	BSW
ESPOL A	6404	4378	810	33.4

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

2.3. Levantamiento Artificial

Cuando un pozo no produce por medio de flujo natural es conveniente utilizar energía extra que suba los fluidos del fondo del pozo hasta

llegar a superficie; a esto se lo conoce como Levantamiento Artificial. (Gavilánez & González, pág. 44)

El objetivo principal del levantamiento artificial es reducir la demanda de energía en la cara de la arena, maximizando así el diferencial de presión obteniendo un mayor aporte de los fluidos, reduciendo los problemas operativos tales como: conificación de agua, arenamiento, entre otros. (Silva, 2008)

2.3.1. Factores que afectan al costo del Levantamiento Artificial

Entre los factores que afectan al costo del Levantamiento Artificial se pueden mencionar los siguientes: (González, 2016)

- Tasa de producción
- Profundidad
- Productividad del pozo
- Cantidad de gas disuelto
- Disponibilidad y costos de gas de inyección
- Suministro y costos de energía
- Temperatura del pozo
- Configuración del pozo

- Producción de arena
- Presión del yacimiento
- Propiedades del fluido y gas

2.3.2. Tipos de Levantamiento Artificial

Bombeo Mecánico

El Bombeo Mecánico (BM) es un tipo de Levantamiento Artificial que consiste en una sarta de varillas de acero, las cuales accionan a una bomba reciprocante de pistón en el subsuelo y por diferencia de nivel desplaza al fluido a través de la tubería de producción hasta la superficie. Este método es uno de los más antiguos y más usados alrededor de todo el mundo. (González, 2016)

Los tipos de pozos en donde es aplicable este tipo de sistema artificial poseen las siguientes características:

- Tasas de producción de medianas a bajas
- Presiones bajas en el fondo del pozo
- La relación de gas en solución debe ser baja

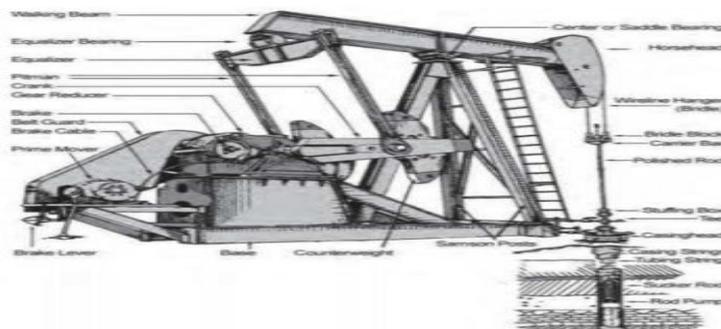


Figura 2. 3 Componentes del Bombeo Mecánico

Fuente: Lake, 2007, pág.458

Bombeo Electro Sumergible

Al tipo de Levantamiento Artificial el cual transforma la energía proveniente de una bomba en subsuelo en energía dentro del líquido bombeado, se lo conoce como Bombeo Electro Sumergible (BES). El Bombeo Electro Sumergible combina las presiones de succiones baja y las tasas de producción altas.

Los pozos en donde se puede realizar este tipo de levantamiento poseen: (González, 2016)

- Baja relación gas/ petróleo (GOR)
- Yacimientos con empuje de agua
- Altas tasas de producción

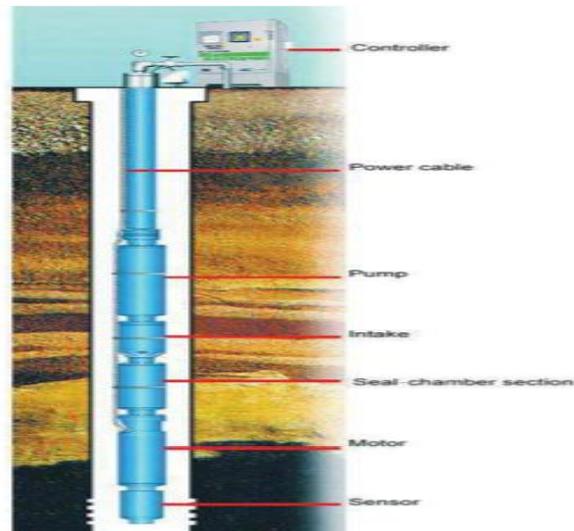


Figura 2. 4 Sistema de Bombeo Electro Sumergible
Fuente: Lake, 2007

Bombeo Cavidad Progresiva

El tipo de bomba que utiliza este tipo de bombeo es de desplazamiento rotatorio, el cual posee un rotor que gira en conjunto con el estator estacionario formando cavidades progresivas. (Sertepect, 2014)

Los pozos en donde se puede realizar este tipo de bombeo tienen las siguientes características:

- Tasas de producción de bajas a medianas
- Baja relación gas/petróleo (GOR)
- Presencia de sólidos.

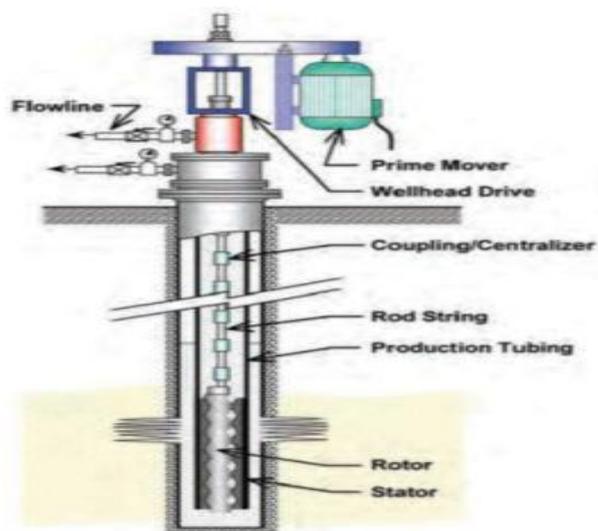


Figura 2. 5 Configuración del Bombeo por Cavidad Progresiva
Fuente: Lake, 2007, pág. 757

Levantamiento Artificial por Gas-Lift

Es el tipo de levantamiento similar al proceso natural. EL Gas-Lift se lo puede utilizar en la mayoría de los tipos de pozos, sin embargo, se obtiene una mejor ventaja en pozos de alta producción o que consten de una alta cantidad de gas disuelto (gas en solución). (Sertepect, 2014)

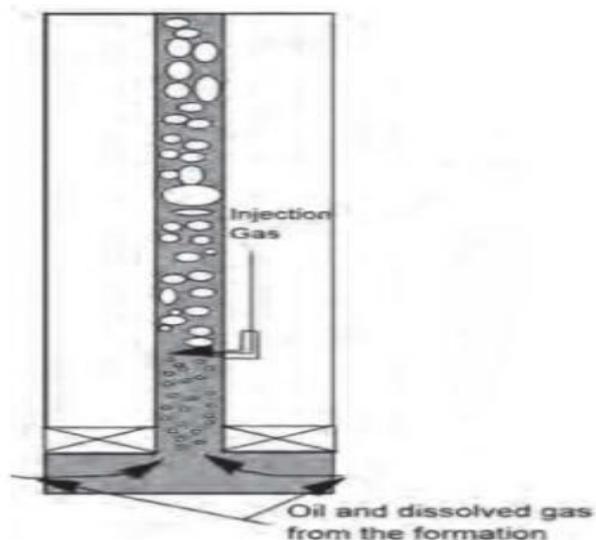


Figura 2. 6 Funcionamiento del Gas Lift
Fuente: Lake, 2007, pág. 552

Bombeo Hidráulico

Desde el año 1932 alrededor del mundo se ha utilizado en la industria petrolera este tipo de Levantamiento Artificial en donde se utilizan bombas hidráulicas para transportar el fluido a superficie, actualmente sigue siendo uno de los más utilizados lo cual ocasiona el crecimiento de instalaciones hidráulicas alrededor del mundo. (Gavilánez & González)

Este tipo de levantamiento bomba superficial en la que el fluido motriz la opera a altas presiones. El Bombeo Hidráulico transmite energía al fondo del pozo por medio de un fluido presurizado haciendo que el pozo fluya hasta superficie. (GARCÍA, 2013)

Los pozos candidatos a un Bombeo Hidráulico muestran los siguientes aspectos:

- Baja solución en gas de solución
- Presiones de fondo de pozo bajas
- Baja productividad
- Tasas de producción de bajas a medianas

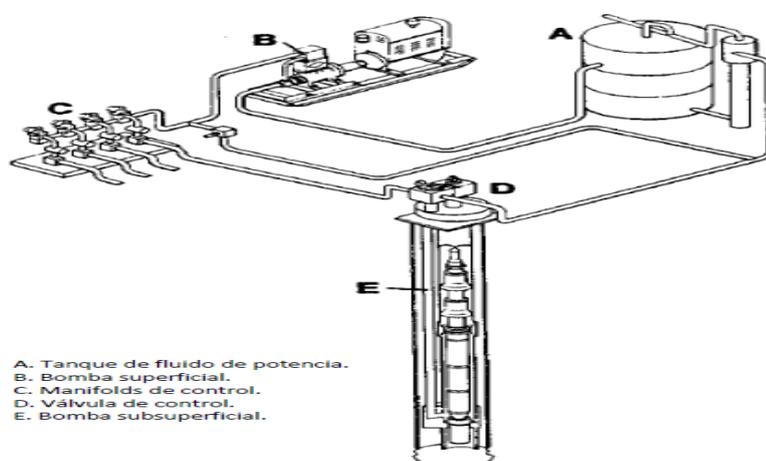


Figura 2. 7 Instalación completa de Bombeo Hidráulico
Fuente: Weatherford, 2013

2.4. Descripción General del Bombeo Hidráulico

2.4.1. Principio Físico utilizado en el Bombeo Hidráulico

El sistema de Bombeo Hidráulico utiliza un principio fundamental en subsuelo que es la “Ley de Pascal” la cual fue proclamada por Blas Pascal; en donde “La presión aplicada sobre cualquier punto de un líquido contenido se transmite con

igual intensidad, a cada porción del fluido y las paredes del recipiente que lo contenga”. (Sertecpet, 2001)

A medida que la presión de yacimiento no es capaz para producir con flujo natural, se debe analizar las facilidades de producción y de fondo; con lo cual, posteriormente se produzca con un sistema de levantamiento artificial de tipo hidráulico.

2.4.2. Componentes del Bombeo Hidráulico

➤ Elementos de Superficie

Tanque de Almacenamiento de Fluido Motriz

Los tanques de almacenamiento del fluido motriz es el lugar donde se almacena el fluido que se encarga del funcionamiento de la bomba subsuperficial. (Cristian & Miriam, 2011)

Bombas de Alta Presión de Desplazamiento Positivo.

Estas bombas pueden ser: *Triplex*, *Quintuplex*, las cuales proveen el fluido motriz a pozos que operan con este sistema. Transportan petróleo a altas presiones. (Cristian & Miriam, 2011)

Líneas de Alta Presión para el Fluido Motriz

Soportan presiones hasta 5000 psi, conducen el fluido de potencia a partir del tanque de almacenamiento hasta el *WellHead*. (Alvaro, 2010, pág. 37)

Líneas de Baja Presión para el Fluido Motriz

Las presiones que soportan van desde los 500 psi a los 1000 psi desde la salida de producción del pozo hasta llegar a la estación de almacenamiento. (Alvaro, 2010, pág. 37)

Central de Control de Poder

Para obtener una solución conveniente a todas estas operaciones, es necesario disponer de una estación de control para distribuir el petróleo motriz a cada pozo de acuerdo a sus necesidades. (Gonzalez, 2015)

Cabezal de Pozo

El cabezal de pozo consta de una válvula máster la cual se encuentra conectada de manera directa con el tubing. (Alvaro, 2010, pág. 38)

Separador Horizontal

Es un recipiente de almacenamiento para reacondicionamiento de fluidos que separa el petróleo, agua y gas. (Alvaro, 2010, pág. 37)

Bota de Gas

Tiene como objetivo principal separar por última vez el gas del petróleo, dejándolo al mismo estable a presión atmosférica (Alvaro, 2010, pág. 48).

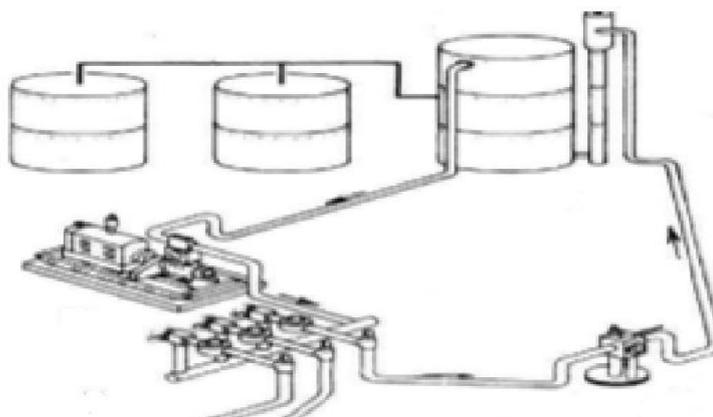


Figura 2. 8 Elementos de Superficie del Bombeo Hidráulico

Fuente: Gonzalez, 2015

➤ **Conjunto de Fondo**

Tubería de revestimiento

La tubería es donde se instala el conjunto de fondo del pozo y se mezclan los fluidos tanto el inyectado como el producido, circulan hasta llegar a superficie. (Alvaro, 2010, pág. 51).

Tubería de producción

Protege el *casing* de la presión y la corrosión. Produce los fluidos del yacimiento. (Alvaro, 2010, pág. 51).

Cavidad (BHA)

Es un conjunto de tuberías, camisas sellantes y tubos paralelos, configurados para alojar interiormente bombas de tipo jet o pistón. (Alvaro, 2010, pág. 52).

Aisladores (Packers)

Llamados también *packers*, son elementos aíslan independientemente las arenas productoras para poder producir o realizar cualquier trabajo de reacondicionamiento. (Alvaro, 2010, pág. 53).

Standing Valve (Válvula de pie)

Es una válvula de retención que está conformado por una bola, un asiento y un *bypass*. Se utiliza como asiento de la bomba y para evitar la pérdida del nivel de fluido (Alvaro, 2010, pág. 58).

Bomba de Inyección Directa

El fluido de potencia se inyecta por el anular y la producción regresa por el *tubing*. (Sertecpet, Manual de Operaciones de la Bomba Jet)

Bomba de inyección Reversa

Cuando se utiliza una bomba de reversa los sentidos de los fluidos cambian, inyectándose por el espacio anular y retornando todos los fluidos tanto producidos como inyectados por el *tubing*. (Alvaro, 2010, pág. 65)

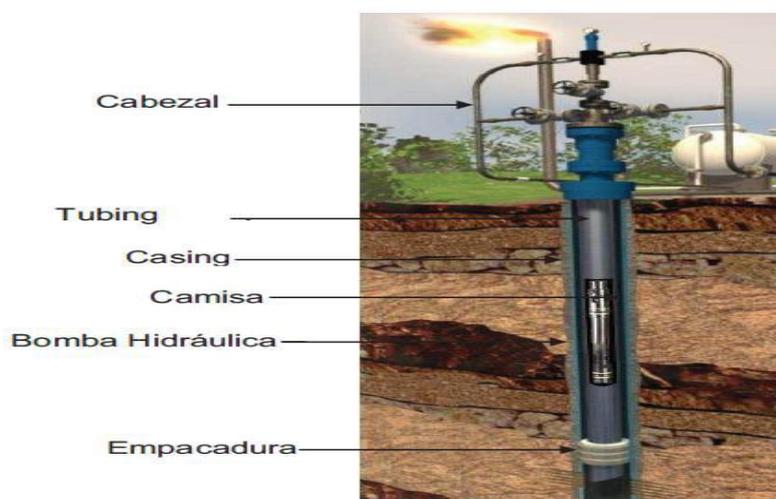


Figura 2. 9 Equipo de fondo del Bombeo Hidráulico
Fuente: Solipet, 2009

2.4.3. Tipos de Bombeo Hidráulico

Bombeo Hidráulico Tipo Jet

La bomba jet está compuesta por 3 partes importantes: la boquilla, la garganta, el difusor. El fluido de potencia que puede ser agua o petróleo es movido desde superficie desde la bomba a través de la sarta de tubería por lo tanto el fluido de potencia entra en las boquillas y su energía se convierte de una gran presión a una gran velocidad por la salida o boquilla. Cuando el fluido motriz está en el difusor, su gran velocidad se transforma en gran presión y esta a su vez se mueven hasta la superficie. El fluido que se produce se mezcla con el fluido de potencia en la garganta de la bomba y se lleva a superficie. (BENAVIDES A, 2011, pág. 57).

Bombeo Hidráulico Tipo Pistón

Este tipo de bomba hidráulica está conformada por un conjunto de pistones reciprocantes acoplados, uno de esos pistones se acciona por la presión del fluido de potencia, transfiriendo el movimiento al otro pistón, el cual bombea los fluidos del pozo hacia la superficie. (BENAVIDES A, 2011).

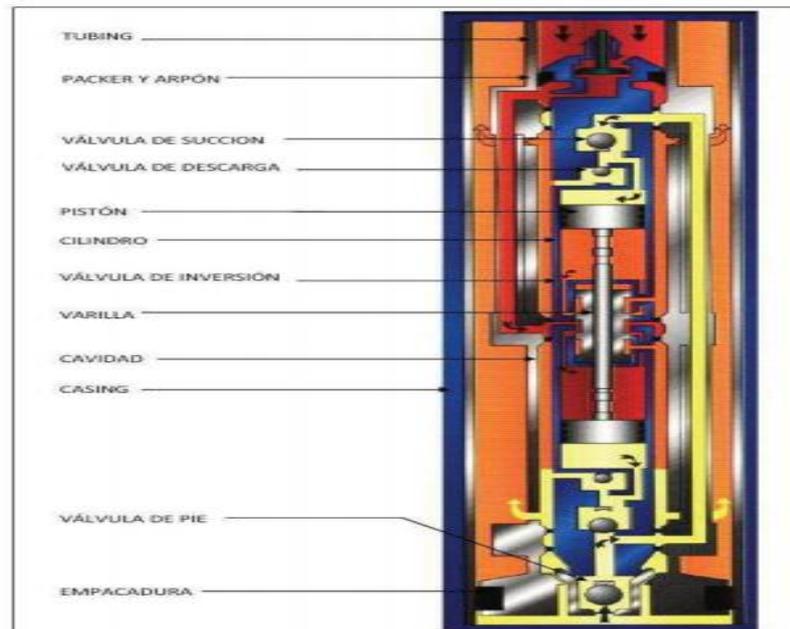


Figura 2. 10 Partes de una bomba tipo pistón

Fuente: Dresser Oil Tools

2.4.4. Ventajas y Desventajas Generales del Bombeo Hidráulico

Ventajas

- Se puede utilizar en pozos direccionales.
- Se puede agregar fácilmente inhibidores de corrosión.
- Su instalación puede ser un sistema integral.
- Bombea crudo pesado.
- Producen altos volúmenes.
- Manejan sólidos dentro de la producción (Bombas Jet).

- Debido a su tamaño, se pueden instalar en reducidas áreas y áreas suburbanas. (Gonzalez, 2015)

Desventajas

- Debido a la poca familiarización y poco conocimiento de este tipo de Levantamiento Artificial, se lo suele aplicar de manera incorrecta.
- Las bombas de pistón tienen una fabricación muy compleja.
- Requiere personal altamente capacitado para su operación.
- Debido a altas presiones de trabajo, éstas pueden resultar en peligro. (Gonzalez, 2015)

2.5. Fluido Motriz

Puede ser agua o petróleo, teniendo en consideración un factor preponderante como lo es el contenido de sólidos; ya que éste influye tanto en la vida útil de la bomba como en los costos de reparación. (Brown, 1980)

2.5.1. Selección del Fluido Motriz

Según (Brown, 1980, pág. 359) dice que el fluido motriz puede ser agua o petróleo pero su selección dependerá según los siguientes factores:

- Por razones medio ambientales se utiliza el agua como fluido motriz

- Al elegir petróleo como fluido motriz, ya no se necesita añadir químicos para la lubricación.
- Utilizar petróleo como fluido motriz, reduce el mantenimiento en las facilidades de superficie como: bombas, válvulas, tuberías, etc.

En sistemas cerrados cuando se utiliza el agua como fluido motriz, no incide mucho en costos por añadir químicos para la lubricación y corrosión; no obstante, en los sistemas abiertos en donde el agua se mezcla con la producción y requiere inyección de químicos constantemente.

2.5.2. Sistema de Inyección del Fluido Motriz

Existen dos maneras de inyectar el fluido de potencia, uno de ellos es el sistema cerrado el cual el fluido motriz no se mezcla con los fluidos del pozo. El otro sistema de inyección se lo conoce como el sistema abierto; en este tipo de sistema los fluidos de formación con el fluido motriz se mezclan llegando a superficie.(GARCÍA, 2013)

Sistema de Fluido Motriz Cerrado

Para poder aislar al fluido producido se utiliza un *packer* en la unidad de bombeo. Este tipo de sistema necesita una sarta

adicional de tubería que va paralela a la de producción, lo que en conjunto con el complejo diseño de fondo hace que este sea más costoso que el sistema abierto. (Ortega calderón & Roja Romero, 2012)

Este sistema se utiliza para:

- Medir exactamente los fluidos producidos por el pozo.
- Determinar el desgaste del sistema de bombeo, cuando se incrementa el volumen de fluido motriz. (Ortega calderón & Roja Romero, 2012)

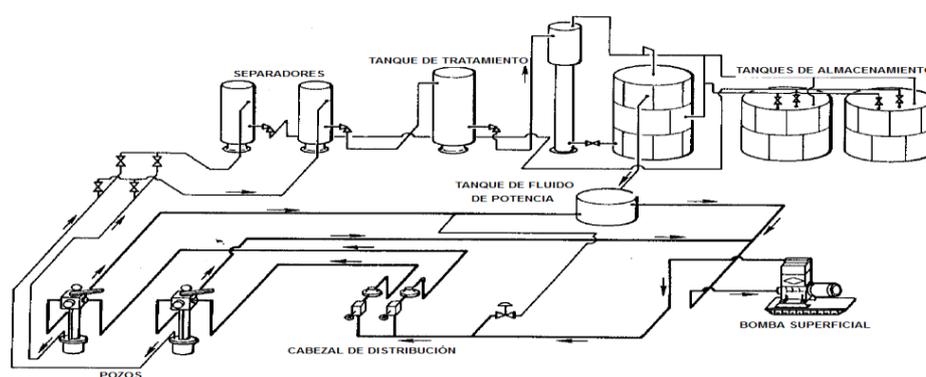


Figura 2. 11 Sistema de Fluido Motriz Cerrado
Fuente: Brown, 1980. The Technology of Artificial Lift Methods, pág.361

Sistema de Fluido Motriz Abierto

Este sistema utiliza varios pozos produciendo por levantamiento hidráulico, la producción e inyección total llegan a un determinado punto. (Ortega calderón & Roja Romero, 2012)

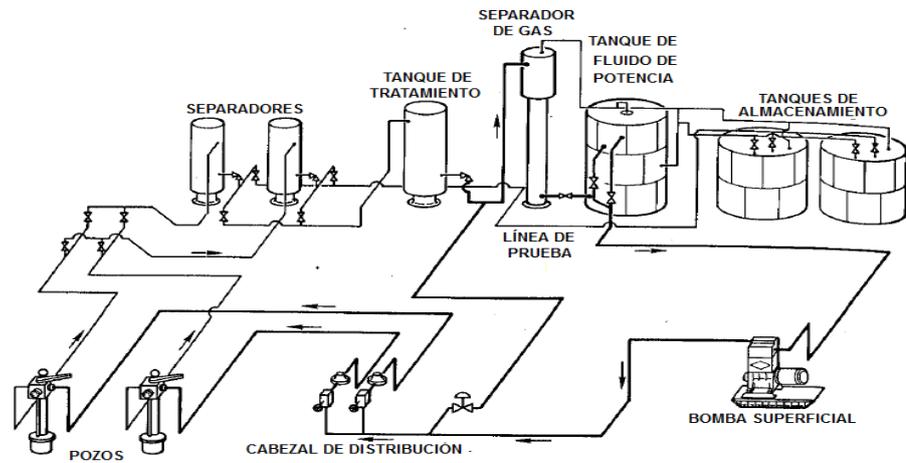


Figura 2. 12 Sistema de Fluido Motriz Abierto
Fuente: Brown, 1980 The Technology of Artificial Lift Methods

2.6. Bombas de desplazamiento positivo

Estas bombas transfieren energía hidrostática al fluido, creando succión y descarga, el líquido se desplaza por medio de un elemento móvil, el cual ejerce una presión sobre el fluido.

Las bombas de desplazamiento positivo operan con bajos flujo volumétrico y presiones altas en relación al tamaño y costo.

Tipos de bombas:

- Pistón o reciprocantes
- Rotatorias

2.7. Descripción del Sistema de Bombeo de Superficie HPS (*Horizontal Pumping System*)

En la década del año 1980, se desarrolló el sistema de bombeo de superficie horizontal, esta unidad ha demostrado ser una alternativa rentable a los diseños de bombas de desplazamiento, turbinas en muchas aplicaciones. En esta comparación con este tipo alternativos de bombas, HPS ofrece alta confiabilidad de diseño y bajo mantenimiento para una amplia gama de requisitos de manejo de fluidos. Correspondientemente el único mantenimiento que se le realiza es el cambio anual de lubricantes y de aceite. (Schlumberger, 2014, pág. 2)

El Sistema de Bombeo de Superficie (HPS), consta de un motor primario (motor eléctrico o motor diésel), cámara de empuje, bomba de etapas múltiples montada horizontalmente y cabezal de descarga, todos estos componentes ensamblados de forma segura en una base antideslizante para yacimientos petrolíferos. (Schlumberger, 2014, pág. 2)

Consideraciones a tomar en cuenta en el HPS:

- Analizar características como viscosidad, densidad API, etc.
- Utilizar válvula *check* en la descarga, en especial en el funcionamiento de las bombas horizontales en paralelo. Para

prevenir el regreso de los fluidos a las bombas. (B & F, 2007, pág. 52)

- Utilizar un variador de velocidad, en caso del uso de bombas de alta potencia, esto proporcionara una corriente baja en el encendido.

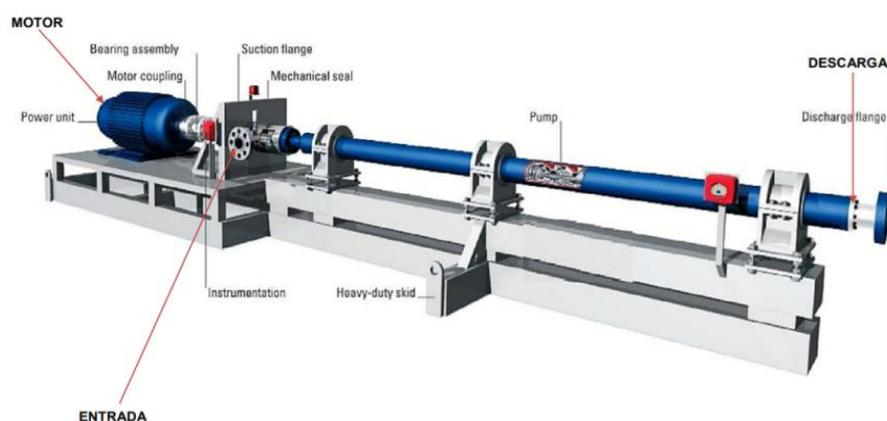


Figura 2. 13 Componentes externos de una Bomba Horizontal (HPS)

Fuente: SCHLUMBERGER, 2014

2.7.1. Funcionamiento del Sistema de Bombeo de Superficie

Las bombas de superficie constan de impulsor y rotor, las etapas que son un conjunto de impulsor más rotor son conectadas en serie para que la descarga de una etapa esté conectada con la succión de la siguiente etapa. El fluido termina su recorrido cuando sale por el diámetro exterior del impulsor, lo cual realiza su trayectoria hacia el ingreso del otro impulsor para llenar otra etapa. (Schlumberger, 2014, pág. 5)

2.7.2. Componentes del Sistema de Bombeo de Superficie

Skid

Es una estructura rígida de aleación de acero transportable, donde van ensamblados los componentes de la bomba HPS. (B & F, 2007, pág. 52)

Motor

Estos motores superficiales utilizados para bombas eléctricas horizontales son diferentes a los motores que se usan para bombas eléctricas sumergibles. (B & F, 2007, pág. 54)

Coupling and Coupling Guard

Coupling. - El más utilizado es el acople de rejilla, tiene como función unir el motor a la cámara de empuje horizontal. Para el rodamiento de motor estándar, este acople es el ideal (B & F, 2007, pág. 57).

Coupling Guard.- Resguarda el acople de factores externos, también sirve de protección humana evitando daños físicos (B & F, 2007, pág. 57).

Intake

Está conformado por la brida de succión, pernos de la bomba y un retenedor. Con la finalidad de alimentar el fluido proveniente de la línea de succión. (B & F, 2007)

Bomba

Utiliza una bomba centrífuga multietapa, ensambladas en una estructura horizontal. Las partes de la bomba son (B & F, 2007, pág. 58)

- Difusor
- Cubierta
- Eje rotor
- Base
- Cubierta de acero tubular
- Variador de Velocidad

Al inicio de la operación de la bomba requiere una frecuencia o voltaje reducido con la finalidad de evitar enormes corrientes eléctricas internas que se dan al arrancar la unidad. El variador de velocidad también reduce el esfuerzo de torsión. (B & F, 2007, pág. 58)

Interruptor del Nivel de Aceite

Es un elemento de seguridad el cual avisa que la unidad HPS, en caso de existir pérdida de aceite se apagará. (B & F, 2007, pág. 63)

Bombas *Booster*

Al utilizar una bomba horizontal el diámetro de la descarga deberá ser igual al de la bomba *booster*. (B & F, 2007, pág. 64)

2.7.3. Ventajas y Desventajas del Sistema de Bombeo de Superficie

Las bombas HPS pueden operarse con un controlador de frecuencia variable para expandir su rango operativo, y varias bombas pueden instalarse en paralelo para un gran aumento capacidad de flujo.

- Re-inyecta agua a grandes presiones y altos caudales.

- Inyecta a uno o más pozos al mismo tiempo, depende del diseño del equipo.
- Su rango de operación es muy amplio.
- Puede transferir fluido (petróleo) a grandes volúmenes y distancias.
- Eliminación de salmuera
- Transferencia de petróleo crudo y NGL

2.8. Descripción de la Unidad de Prueba Móvil MTU (*Mobile Test Unit*)

La unidad móvil de prueba es un equipo portátil, y se utilizan para trabajos operacionales en la evaluación y producción de los pozos petroleros por medio del sistema de levantamiento artificial Bombeo Hidráulico con bombas Jet o pistón.

2.8.1. Funcionamiento de la Unidad Móvil De Prueba (MTU)

Como el principal objetivo de la unidad de móvil de prueba es generar la presión necesaria para que la bomba de fondo y hacer producir al pozo. El inicio de la operación consiste con el trabajo de la bomba de desplazamiento positivo (bomba *quintuplex* o *triplex*), la cual se encuentra acoplada a un motor a diésel, la cual toma el fluido (agua o petróleo) que le entrega una bomba *booster* (bomba centrífuga) desde el separador a

baja presión (de 20 a 80 psi) y la transforma en alta presión (hasta 3500 psi), para luego ser inyectada al pozo. (SERTECPET, MANUAL PRACTICO DE EQUIPO DE EVALUACION, 2010)

2.8.2. Componentes de la Unidad Móvil De Prueba (M.T.U)

Plataforma De Transportación

La plataforma mide 13 m de largo x 3,25 m de ancho, de ocho ruedas 12000 x R20 con tanque de almacenamiento de combustible de 500 gls. (SERTECPET, MANUAL PRACTICO DE EQUIPO DE EVALUACION, 2010)

Motor De Combustión Interna

Su motor a *diésel* opera con pistones de movimiento alternativo, con un período de cuatro tiempos y su combustión se basa en la compresión de aire a temperaturas superiores a 1000 °F, cuando llegan al punto muerto superior inyecta el combustible que se mezcla con el aire caliente e inmediatamente comienza a arder. (SERTECPET, MANUAL PRACTICO DE EQUIPO DE EVALUACION, 2010)

Reductor De Velocidades

Reduce el rpm del motor, entregando el adecuado para el desplazamiento de los plunger en el fluid end. Con una potencia de 165 HP relación de transición 4.38:1 su velocidad de entrada es 1800 rpm con una capacidad de aceite 2.5 gl. (SERTECPET, MANUAL PRACTICO DE EQUIPO DE EVALUACION, 2010)

Bombeo De Desplazamiento Positivo

En este tipo de unidad se utilizan las bombas quintuplex, las cuales usan émbolo, camisa de metal a metal, válvula tipo bola.

Manifold de Inyección

Permite operar de manera sencilla la inyección y retorno del fluido, o para reversar la bomba sin la necesidad de cambiar las líneas, evitando de esta manera posibles contaminaciones en las locaciones, únicamente abriendo y cerrando los *by-pass* (SERTECPET, MANUAL PRACTICO DE EQUIPO DE EVALUACION, 2010).

Módulo de Separador Trifásico (Agua, Petróleo, Gas)

Separador acumulador horizontal es de 5000 barriles de procesamiento posee disco de ruptura de 110 Psi, y PSV-PRES configurado para 85 Psi (SERTECPET, MANUAL PRACTICO DE EQUIPO DE EVALUACION, 2010).



Figura 2. 14 Componentes de la unidad móvil de prueba (MTU)
Fuente: SERTECPET, MANUAL PARA OPERACIONES DE CAMPO, 2010

2.8.3. Ventajas de la MTU

Entre las ventajas que se puede destacar del equipo MTU se puede destacar las siguientes (SERTECPET, MANUAL PRACTICO DE EQUIPO DE EVALUACION, 2010):

- No necesita almacenamiento para fluido motriz.
- Mide la cantidad de fluido de gas y líquido.

- Desplaza la producción hasta la estación si es necesario con presión del separador.
- El fluido motriz es filtrado y no daña la formación.
- Es una unidad compacta ideal en locaciones pequeñas y puede ser transportada fácilmente.
- Panel de control incorporado, control de parada por alta y baja presión.
- Optimiza la separación de fluido (petróleo, agua, gas)
- Este sistema es utilizado en Ecuador y el exterior.

2.9. Descripción del sistema de producción de los pozos que operan con bombeo hidráulico

2.9.1. Diagrama de flujo del sistema de Bombeo Hidráulico convencional

El sistema se basa en inyectar el fluido de potencia (petróleo limpio a alta presión), que va a ser inyectado al pozo, A continuación se puede observar en la Figura 2. 15.

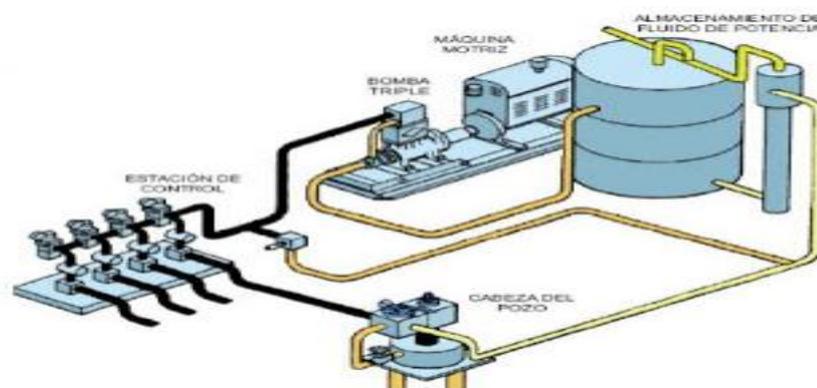


Figura 2. 15 Sistema de Bombeo Hidráulico.
Fuente: Weatherford, 2013

Después de que en el tanque de almacenamiento efectúen el respectivo tratamiento del fluido motriz, se envía a la succión de bombas recíprocantes (*triplex*), la cual inyecta a altas presiones el fluido motriz hacia el cabezal de distribución. (B & F, 2007, pág. 13)

Una vez que el fluido motriz ingresa en el pozo por medio del cabezal del pozo donde se controla la dirección del flujo, este circula hasta el fondo del pozo y retorna a la superficie el fluido motriz más producción. (B & F, 2007, pág. 13)

2.9.2. Diagrama de flujo del sistema de Bombeo Hidráulico con unidad móvil de prueba MTU

Como el principal objetivo de la unidad de móvil de prueba es generar la presión necesaria para que la bomba de fondo y hacer producir al pozo. El inicio de la operación consiste con el

trabajo de la bomba de desplazamiento positivo (bomba *quintuplex* o *triplex*), la cual se encuentra acoplada a un motor a diésel, la cual toma el fluido (agua o petróleo) que le entrega una bomba booster (bomba centrífuga) desde el separador a baja presión (de 20 a 80 psi) y la transforma en alta presión (hasta 3500 psi), para luego ser inyectada al pozo. (SERTECPET, MANUAL PRACTICO DE EQUIPO DE EVALUACION, 2010)

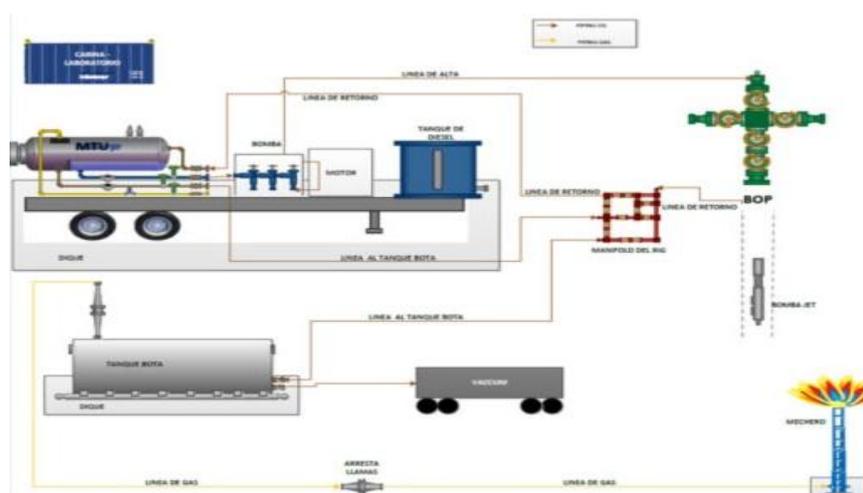


Figura 2. 16 Sistema de Bombeo Hidráulico con M.T.U.
Fuente: Tomada de la página tspcapital.com, 2014.

2.9.3. Diagrama de flujo del sistema de Bombeo Hidráulico con HPS

Debido a las pérdidas continuas de producción en el sistema de bombeo hidráulico convencional, a las fugas constantes que experimentaban la empacadura de la bomba y a los derrames

de las líneas de conducción inducidos por las vibraciones. (B & F, 2007, pág. 62)

La bomba HPS es adquirida para reemplazar las bombas *triplex*. Cabe indicar que el alcance y las ventajas de la HPS son mejores, y se instala dependiendo del requerimiento del pozo. (B & F, 2007, pág. 62)



Figura 2. 17 Sistema de Bombeo Hidráulico con H.P.S.
Fuente: folleto de SLB-Sistema de Bombeo Superficial Horizontal de etapas múltiples REDA HPS G3.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1. Población y muestra

3.1.1. Población

El campo ESPOL "A" tiene un total de 29 pozos perforados de los cuales 11 de ellos poseen el levantamiento artificial por Bombeo Hidráulico, 4 pozos con Bombeo mecánico, 7 con Bombeo electro sumergible, 4 pozos cerrados, 2 abandonados y 1 pozo seco tal y cual como lo muestra la Tabla VIII, anteriormente descrita en el capítulo 2.

3.1.2. Muestra

Los pozos que se seleccionarán para la realización de este proyecto son los pozos del campo ESPOL "A" los cuales producen por medio de Bombeo Hidráulico. La muestra consta de un total de 11 pozos:

- Pozos ESPOL "A": 04, 05, 06, 09,10, 23 pertenecen al PAD 2, con bombas de desplazamiento positivo.
- Pozos ESPOL "A": 13, 17, 18, 21,22 Pertenecen al PAD 3, con bombas de desplazamiento positivo.

3.2. Métodos

Los métodos a utilizar en este proyecto se fundamentan en 2 técnicas importantes: Analítico e inductivo.

En el método analítico se centrará en una investigación detallada sobre los problemas de pérdida de fluido motriz por deficiencias operacionales que causan pérdidas en la producción de petróleo.

El método inductivo, se centrará en la recopilación, observación de datos bibliográficos sobre las bases teóricas de levantamiento artificial, bombeo hidráulico, unidades de bombeo, diseño y selección de bombas con el fin de analizar un sistema de unidades de desplazamiento positivo para optimizar el fluido motriz.

3.3. Recolección de Datos

Con la finalidad de analizar las unidades M.T.U y H.P.S, es importante la recolección de todos los datos del campo, para el correcto uso de la metodología y realizar la selección de pozos. La información del Campo ESPOL "A" fue extraída de diferentes tesis referentes al bloque AZ, entre la información obtenida tenemos:

- Ubicación de área de estudio
- Historial de producción.
- Pruebas de presión

- Parámetros PVT
- Tipo de levantamiento artificial para la selección de pozos.

3.4. Selección de la muestra

Para este proyecto se empleará los siguientes criterios de selección:

Criterio1: Baja producción.

El valor de baja producción se refiere al valor de BPPD (Barril diarios de petróleo producido), para estimar que pozo tiene baja producción, se consideró el historial de producción del año 2016, donde la producción se ha reducido de la fecha actual 2017. (B & F, 2007)

Criterio 2: Pozos con sistema de Bombeo Hidráulico.

Los pozos deben operar con el sistema de levantamiento artificial Bombeo Hidráulico.

En la Tabla X, se encuentran tabulados los criterios que deben cumplir, los datos son referidos a la fecha junio del 2017.

Tabla X. Pozos seleccionados para el análisis técnico.

POZO	BFPD	BPPD	BSW	BPPD INY	LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL	UNIDAD TRIPLEX/QUINTUPLEX	POZO CANDIDATO
ESPOL A01	91	86	6,0	-	BM	N/A	NO
ESPOL A02	432	130	70,0	-	BES	N/A	NO
ESPOL A03	230	221	4,0	-	BM	N/A	NO
ESPOL A04	222	189	15,0	1260	BH	TRIPLEX	SI
ESPOL A05	360	216	40,0	1890	BH	TRIPLEX	SI
ESPOL A06	260	174	33,0	1400	BH	TRIPLEX	SI
ESPOL A07	570	221	61,2	-	BES	N/A	NO
ESPOL A09	277	222	20,0	1340	BH	QUINTUPLEX	SI
ESPOL A10	190	155	18,5	1000	BH	QUINTUPLEX	SI
ESPOL A11	244	193	21,1	-	BES	N/A	NO
ESPOL A12	108	79	27,0	-	BM	N/A	NO

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

TABLA X. Continuación

ESPOL A13	267	160	39,9	1120	BH	TRIPLEX	SI
ESPOL A15	320	272	15,0	-	BES	N/A	NO
ESPOL A17	216	145	33,0	1345	BH	TRIPLEX	SI
ESPOL A18	329	270	17,9	1500	BH	QUINTUPLEX	SI
ESPOL A21	262	207	21,0	1156	BH	QUINTUPLEX	SI
ESPOL A22	184	156	15,0	800	BH	QUINTUPLEX	SI
ESPOL A23	168	155	7,9	610	BH	QUINTUPLEX	SI
ESPOL A25	505	430	14,8	-	BES	N/A	NO
ESPOL A26	278	252	9,4	-	BM	N/A	NO
ESPOL A27	245	215	12,1	-	BES	N/A	NO
ESPOL A28	646	231	64,2	-	BES	N/A	NO

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Los pozos seleccionados para el análisis técnico son:

- **Pozos ESPOL A:** 04, 05, 06, 09, 10, 23 pertenecen al PAD 2, con bombas *triplex* y *quintuplex*.
- **Pozos ESPOL A:** 13, 17, 18, 21, 22 Pertenecen al PAD 3, con bombas *triplex* y *quintuplex*.

3.5. Diseño del sistema de bombeo hidráulico actual del campo

3.5.1. Situación actual del campo ESPOL “A”

El sistema de levantamiento hidráulico de este campo opera con 5 unidades de bombeo, las cuales fueron diseñadas para bombear fluido motriz, las cuales elevan y mantienen la presión en 3900 psi.

Estas unidades de desplazamiento se encuentran trabajando a un 60% de su capacidad nominal debido a su antigüedad, lo que produce paradas continuas no programadas por diferentes causas. Estas paradas hacen que la inyección de fluido de potencia sea intermitente y no se pueda inyectar con la presión óptima de 3900 psi, ocasionando baja eficiencia en las bombas hidráulicas de subsuelo.

Para se requiere incrementar la inyección para poder levantar una bomba del subsuelo de los pozos con Bombeo Hidráulico. Se tiene que proceder a poner a trabajar la unidad que está en

reserva, pero el fluido motriz que se requiere para esta operación es mínimo, esto hace que se tenga que recircular el excedente hacia el tanque de reposo, y esta operación promueve la agitación del fondo del tanque, lo que hace que los sólidos se levanten y contaminan el fluido motriz que se succiona y que se dirige hacia las bombas de fondo, induciendo: taponamiento de los elementos y dispositivos del sistema en superficie y subsuelo. Así como: averías en la bomba Jet o pistón, perdiendo la producción ya que la bomba de fondo deja de extraer fluido. También se desestabiliza el sistema, donde la inyección pasa hacer inestable y la producción intermitente.

Si el campo sigue operando con estas unidades obsoletas, causara fugas de petróleo gasificados a alta presión. También podría causar incendios por el turbo de admisión del motor de combustión interna acoplada a la bomba.

Es importante considerar el reemplazo de las unidades actuales con un sistema con una tecnología más eficiente, y obtener una mejor producción de petróleo.

3.5.2. Descripción técnica del diseño del sistema actual

La estación central de este campo entrega un caudal de 13421 bbls/día, de fluido motriz a una presión de 3700 psi, con dos ramales de 6 5/8 y la otra de 3 ½ que ponen en operación a los 11 pozos productivos con el sistema Bombeo Hidráulico, 6 pozos en el ramal que conecta al PAD 2 y 5 pozos en el ramal que conecta al PAD 3, los cuales cuenta con la instalación de bombas *triplex* y *quintuplex* que suministran fluido de potencia para el sistema de Bombeo Hidráulico, estas bombas están instaladas en algunos pozos que fueron descritos en el capítulo anterior, las cuales presenta una baja eficiencia en su operación ya que están unidades son antiguas en el campo.

En siguiente diagrama se puede observar la distribución de los pozos del sistema actual de Bombeo Hidráulico.

DIAGRAMA DE FLUJO SISTEMA DE BOMBEO HIDRÁULICO CAMPO ESPOL A

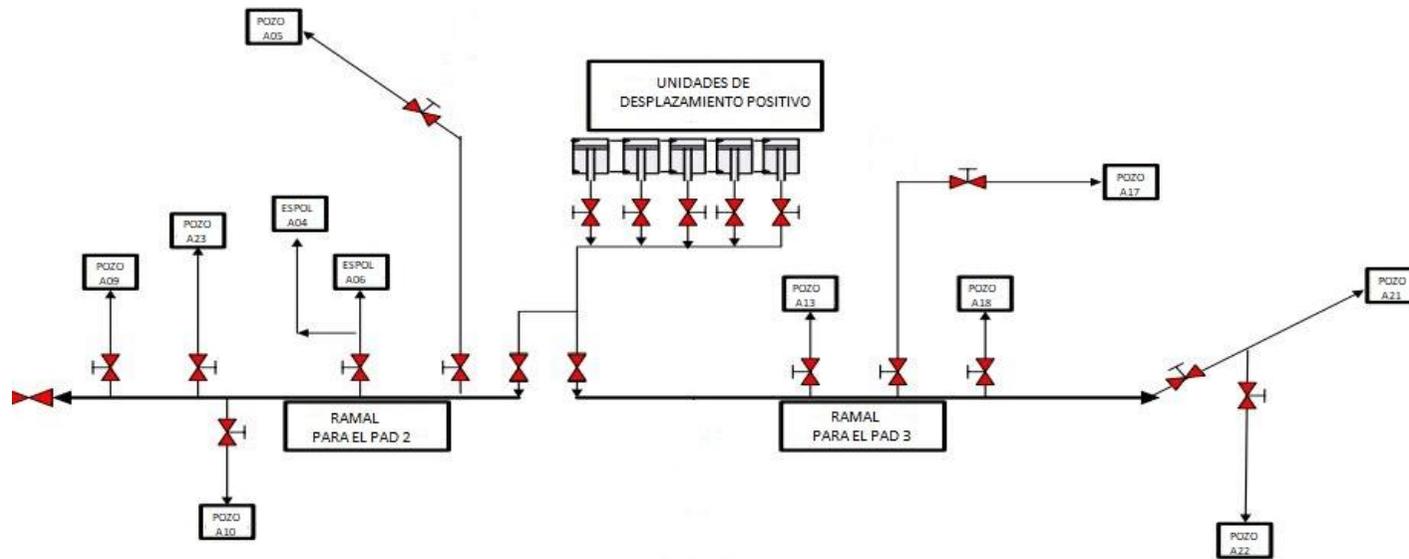


Figura 3. 1 Diagrama de Flujo del Sistema De Bombeo del Campo ESPOL A

Fuente: Castro, R., 2011

Modificado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

A continuación, se describe las características de la tubería que transporta el fluido motriz del campo ESPOL "A".

Tabla XI. Tubería de fluido motriz.

DIÁMETRO (pulg)	CEDULA	GRADO (API)	PESO (lb/pie)	ESPEJOR (ft)
6 5/8	120	X - 42	36.39	0.562
3 ½	80	X - 42	14.31	0.438

Fuente: Informe CICYT-ESPOL, 2004

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Tabla XII. Tubería de fluido producido.

DIÁMETRO (pulg)	CEDULA	GRADO (API)	PESO (lb/pie)	ESPEJOR (ft)
3 ½	80	B	7.58	0.216

Fuente: Informe CICYT-ESPOL, 2004

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Tabla XIII Potencia a necesitar por cada estación.

	ESTACION CENTRAL	ESTACION NORTE
POTENCIA (HP)	1700	1700

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

3.5.3. Consideraciones Operativas y de Diseño del Campo

La capacidad operativa del sistema debe ser de 14046 bls de fluido motriz para alimentar el bombeo hidráulico del campo ESPOL "A". (B & F, 2007)

- La presión necesaria de succión que suministre la bomba debe de ser mínimo de 30 psi con una presión de descarga de 3800psi cumpliendo la demanda de fluido motriz de los pozos conectados.
- La temperatura operacional será de 120°F
- El grado API del crudo es de 29°API@60°F
- La viscosidad del crudo es 25cp@80°F
- Se debe considerar la flexibilidad operacional, es decir, que la facilidad debe estar diseñada en manera de que si existe una falla crítica en algún equipo, ésta cause el mínimo impacto en la producción.
- La instrumentación debe estar diseñada de manera que se dé una óptima operación.

- Se debe considerar la estandarización en el diseño de los componentes, maximizando el uso de los equipos, elementos y repuestos compatibles de instalaciones existentes para instalaciones nuevas.

Presiones y Caudales de las unidades

Las instalaciones del sistema bombeo hidráulico en el campo ESPOL "A" son accionadas por Bombas *Triplex* y *Quintuplex*:

- Presiones de operación para ambas bombas están en el rango entre 3500 y 3700 PSI.
- La tasa de caudal de inyección de fluido de potencia se extiende a más 3000 B/D.

3.5.4. Evaluación de las unidades de desplazamiento del campo

Las bombas alimentan a dos y hasta tres pozos, esto ocasiona que la bomba de subsuelo no reciba la suficiente energía para que trabaje a su máxima eficiencia.

Se puede observar las unidades operando en el campo ESPOL "A" en la Tabla XIV, mostrada a continuación:

Tabla XIV. Unidades de bombeo del campo ESPOL "A"

BOMBA	POZOS ALIMENTADO	BARRILES A INYECTAR	PRESION
TRIPLEX 1	A04, A06	2660	3600
TRIPLEX 3	A05	1890	3600
TRIPLEX 2	A13, A17	2465	3600
QUINTUPLEX 1	A09, A10, A23	2950	3700
QUINTUPLEX 2	A18, A21, A22	3456	3650
	TOTAL	13421	

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

❖ Desempeño de las presiones en las unidades triplex

Tabla XV. Desempeño de las presiones en el sistema bomba triplex.

PRESION DE DESCARGA (PSI)	PRESION DE INYECCION A LOS POZOS (PSI)	
TRIPLEX 1	Pozo ESPOL A04	Pozo ESPOL A06
3600	3587.30	3553.08
TRIPLEX 2	Pozo ESPOL A13	Pozo ESPOL A17
3600	3517.40	3580
TRIPLEX 3	Pozo ESPOL A05	
3600	3340	

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Las caídas de presión no son considerables, debido a que se encuentra instalada tubería de 3 ½ en el trayecto.

❖ **Desempeño de las presiones en las unidades *Quintuplex***

Tabla XVI. Comportamiento de las presiones en el sistema *Quintuplex*.

PRESION DE DESCARGA (PSI)	PRESION DE INYECCION A LOS POZOS (PSI)		
	QUINTUPLEX 1	Pozo ESPOL A9	Pozo ESPOL A10
3700	3679	3658,09	3650
QUINTUPLEX 2	Pozo ESPOL A18	Pozo ESPOL A21	Pozo ESPOL A22
3700	3610	3645,09	3679,10

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

BOMBA QUINTUPLEX 1

En el pozo ESPOL A09 existe una distancia muy pequeña entre la bomba y el pozo por lo cual se reduce la caída de presión.

BOMBA QUINTUPLEX 2

En el pozo A-18 tiene una caída de presión baja debido a la tubería de 3 ½.

3.5.5. Volumen de Fluido Motriz Inyectado y Petróleo Producido de los pozos con Bombeo Hidráulico

Los valores de petróleo inyectado y producido para cada pozo, se los describe en la siguiente tabla:

Tabla XVII. Volumen de fluido motriz inyectado y petróleo producido

POZO	INYECTADO (BPPD)	TOTAL PRODUCIDO	BFDP	PETROLEO PRODUCIDO (BPPD)
ESPOL A04	1260	1482	222	189
ESPOL A05	1890	2250	360	216
ESPOL A06	1400	1660	260	174
ESPOL A09	1340	1617	277	222
ESPOL A10	1000	1190	190	155
ESPOL A13	1120	1387	267	160
ESPOL A17	1345	1561	216	145
ESPOL A18	1500	1829	329	270
ESPOL A21	1156	1418	262	207
ESPOL A22	800	984	184	156
ESPOL A23	610	778	168	155
TOTAL INYECTADO	13421	16156	2735	2049

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

3.6. Principales Problemas de operación con las bombas de desplazamiento positivo en el campo

Los problemas operativos en el campo ESPOL A, son analizados desde junio del 2016 hasta junio del 2017.

- **Mantenimiento Preventivo en Unidades**

Las unidades las cuales se les ha realizado un mantenimiento preventivo son las siguientes: motor y bomba, generador, cambio

de fluido, cambio de cauchos y limpieza de filtros en la succión de la bomba. (B & F, 2007)

- **Mantenimiento Correctivo en Unidades**

Debido al desgaste de las partes móviles de debe realizar lo siguiente: cambio de *Coupling*, cambio y alineación de motor y bomba, cambio canastillas de válvulas, cambio de embrague en motor, cambio de asientos de válvulas, reparación de motor, cambio de filtro de combustible, cambio de *packers*, camisas y *plunger*. (B & F, 2007)

- **Fallas Generales en unidades Triplex y Quintuplex**

Las fallas que comúnmente se encuentran en estas unidades son las siguientes: Rotura de disco embrague, daño *Coupling*, problemas de Instrumentación en generador de unidad y control PSI, reparación por fugas, daño de pistones de unidad y cambio de *packers* y *plunger*, falla de motor de arranque en motores. (B & F, 2007)

A continuación, se puede observar en la Tabla XVIII el tiempo de para debido a falla o mantenimiento.

Tabla XVIII. Principales problemas de operación

MOTIVOS DE PARAS	TIEMPO DE PARA EN (HORAS)	BARRILES NO PRODUCIDOS (HORAS)
Fallas en unidades triplex y quintuplex	101	1165,36
Mantenimiento preventivo en unidades	146	2797,71
Mantenimiento correctivo en toda la unidad	196	3130,82
TOTAL	443	7093,89

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

3.7. Consideraciones técnicas de las unidades de sistema de bombeo propuestas

3.7.1. Sistema de Bombeo Horizontal (HPS)

Consideremos los siguientes factores:

- Características del líquido como viscosidad, densidad API, etc.
- Una válvula de estrangulamiento se requiere en la descarga.
- Una válvula check se debe utilizar en la descarga, especialmente al funcionar las bombas horizontales en paralelo. (B & F, 2007)
- Utilizar un variador de frecuencia, para bombas con alta frecuencia.

➤ **Especificaciones técnicas de la bomba considerada para el análisis**

En el mercado existen variedad de unidades HPS. Para la selección de la bomba HPS, se debe considerar aspectos por su funcionamiento como: potencia, eficiencia, presión de descarga y caudal. Por este tipo de descripciones se ha escogido a la unidad de bombeo *WOOD GROUP TJ 9000*. Que se indicara si se debe implementar o no con el análisis del capítulo 4.

UNIDAD DE BOMBEO WOOD GROUP TJ 9000

SKID

- EMS Skid 38 ft
- EMS ext. 16 ft
- STD thrust chamber
- Pump suction 316SS, 4 in, CL 150
- Pump discharge TJ316SJ, 4 in, CL 2500
- Pump support TJ
- Pressure gauge switch

- Vibration switch
- Pressure gauge switch 0-5000 psi

MOTOR Y BOMBA

- Bombas TJ9000 AR CMP 42 Stg WAGHSS (Dos).
- Bomba TJ9000 AR CMP 22 Stg WAGHSS (Una).
- Electric motor 800 HP, 4160 V.

ARRANCADOR

- Benshaw 1000 HP.

TRANSFORMADOR

- Transformer 1000 kva, 3 Ph.

3.7.2. Sistema con unidad móvil de prueba MTU

También existen una gran variedad de estas unidades en el mercado, con la diferencia que se utilizan para evaluación y producción de pozos por un tiempo limitado y la mayoría solo son rentadas.

Tabla XIX. Descripción de las unidades de bombeo HPS y MTU

	HPS	MTU
MOTOR	Utiliza motores con potencia elevadas, existen varios modelos en la industria, rangos entre 800-2500 HP motor de combustión interna y/o eléctrico.	Utiliza una potencia de 131 HP motor de combustión interna
BOMBA	Utiliza bombas centrifugas Las capacidades de flujo varia por modelo, un aproximado de 218 - 10084 m ³ /d, presión hasta 6650 psi.	Utiliza bombas reciprocantes. Las capacidades de flujo, un aproximado de 3800 m ³ /d, presión hasta 25-3800 psi.
ESPACIO EN SUPERFICIE	50 m ²	43.25 m ²
TANQUE	No posee tanque propio	Posee un tanque

Fuente: SERTECPET, MANUAL PARA OPERACIONES DE CAMPO, 2010

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

3.7.3. Aplicaciones de las unidades de bombeo HPS y MTU

Tabla XX. Aplicaciones de las unidades HPS y MTU.

APLICACIONES	
HPS	MTU
Re-inyecta agua a altas presiones y grandes caudales.	Mide la cantidad de fluido de gas y líquido
Se puede inyectar a uno o más pozos a la vez. Dependiendo del diseño del equipo.	se puede inyectar a un solo pozo a la vez
Ajustable a un amplio rango de operación	Panel de control incorporado, control de parada por alta y baja presión
Adaptable para transferencia de fluido (petróleo) a grandes volúmenes y distancia	Desplaza la producción hasta la estación si es necesario con presión del separador.

Fuentes: SERTECPET, MANUAL PARA OPERACIONES DE CAMPO, 2010 y SCHLUMBERGER, 2014

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

3.8. Propuesta para el cambio del sistema de bombeo actual del fluido motriz

Reemplazar las bombas de desplazamiento positivo que actualmente forma parte del sistema de bombeo del campo ESPOL "A", por unidades HPS o por unidades MTU, en donde se podrá analizar si es viable o no su uso en el campo, y esto dependerá para el análisis de costos.

3.8.1. Consideraciones

Después de estudiar el estado actual del sistema de bombeo hidráulico, la propuesta considera lo siguiente:

- Las líneas de transferencia son las existentes debido a su buen estado, lo que implicará grandes ahorros económicos.
- Las líneas de transferencia son las existentes debido a su buen estado, lo que implicará grandes ahorros económicos.

La potencia que maneja la estación central, la cual descrita en la Tabla XIII,

. CAPÍTULO 3.

**Consideraciones Operativas y de diseño del campo
A descritos en el ítem 3.7 del**

• CAPÍTULO 3.

- Clase de bomba que se va a utilizar.
- Costos de energía
- Costos de mantenimiento y/o reparaciones.

3.8.2. Evaluación Técnica de las unidades de bombeo descritas en la propuesta

❖ Evaluación con el Sistema de Bombeo Horizontal (HPS)

- Selección de la Bomba

Paso 1: Escoger serie de la bomba

Desde el catálogo de bombas “*WOOD GROUP SPS SUFACE PUMPING SYSTEM*”, se obtiene la serie y datos de configuraciones de algunas bombas para SPS (*Surface Pumping System*), como se describe en la Figura 3. 2

Pump Series	Housing diameter		Housing pressure limit		Power limit		BEP % Efficiency	Standard Flange Diameters			
								Suction		Discharge	
	Inches	MM	PSI	BAR	HP	KW		Inches	MM	Inches	MM
TD	4.00	101.6	6000	413.8	200	149	58%	4	100	2	50
TG	5.13	130.3	6000	413.8	600	447	68%	4	100	3	80
TE	5.38	136.7	6000	413.8	600	447	73%	4	100	3	80
TH	5.62	142.7	3600	248.3	1019	760	70%	4	100	4	100
TJ	6.75	171.5	3600	248.3	1019	760	79.5%	4	100	4	100
TM	8.62	218.9	2400	165.5	1019	760	80%	4/6	100/150	4/6	100/150
TN	9.50	241.3	2760	190.3	1600	1193	73%	6	150	6	150

Figura 3. 2 Configuraciones estándar de series de bombas para SPS.

Fuente: GROUP, 2016

De acuerdo a esta tabla, la serie de la bomba que se requiere de acuerdo a las características respectivas es la bomba con serie TJ, donde para obtener un resultado ajustado a la realidad, se realizara un análisis con la gráfica de la curva de la bomba.

Paso 2: Definir las características de operación de la bomba

Presión de bombeo: 3900 psi

Caudal: 13421 BPPD (391,36 GPM)

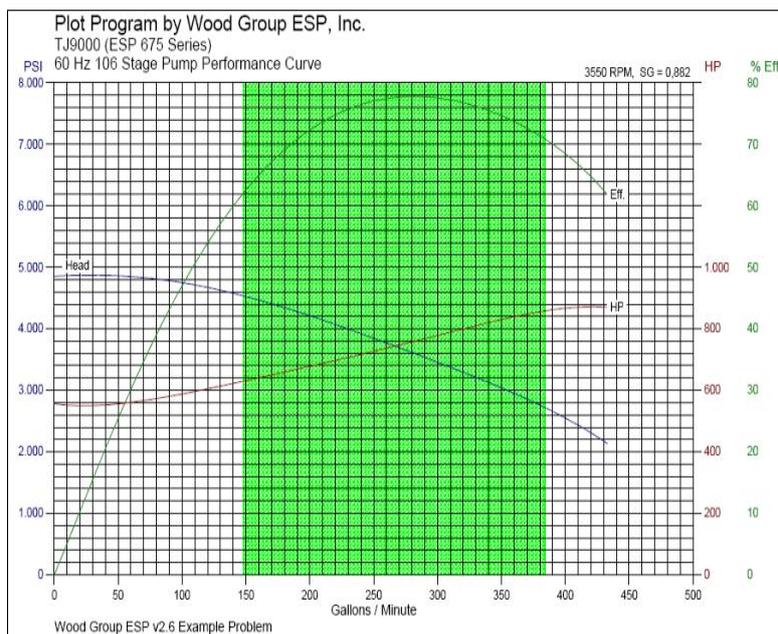


Figura 3. 3 Curva WOOD GROUP TJ- 9000
Fuente: B & F, 2007

Para el caudal se tomó la demanda actual de inyección de la estación norte, como se indica en la tabla 3.3, del capítulo 3. El caudal total es: 13,421 BPPD (391,36 GPM).

Según la curva de la bomba, se puede indicar que la presión requerida es de 3900 PSI, la bomba aporta un caudal de 243 GPM (8330 BPPD), 780 HP y una eficiencia de la bomba de 77%.

Paso 3: Análisis de la bomba con el caudal requerido para el campo

Como la estación central tiene un caudal de bombeo de 391.36 GPM (13421 BPPD), de acuerdo a la curva de la bomba HPS TJ9000 aporta hasta 243 GMP (8330 BPDD), teniendo un restante de 162.94 GPM (5591 BPPD), es necesario una segunda bomba. La recirculación en esta bomba sería de 94.45 GPM (3239 BPPD) los cuales regresarían al tanque de surgencia o para ser inyectados en otros pozos en el futuro.

❖ **Sistema con unidad móvil de prueba MTU**

Razones por la que se debe implementar una MTU al sistema Bombeo Hidráulico:

- En caso de que no existieran líneas de Power Oil, el costo es muy alto para implementar dicho sistema.
- Al querer implementar se debe considerar obstáculos en superficies como cruce de ríos, sectores pobladas, etc.

Debido a que el campo ESPOL "A" tiene las líneas de tubería de fluido motriz ya construido y en perfecto estado, con el análisis técnico no se considera necesario implementar equipos MTU.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Análisis comparativo de Costos

4.1.1. Costos del Sistema Actual con Bombas de Desplazamiento Positivo

El campo ESPOL “A”, actualmente se encuentra operando con 3 Bombas Triplex y 2 Quintuplex con potencias entre los 165 a 300 HP. Los valores residuales de dichas bombas tienen una depreciación del 10%, se puede apreciar dichos valores en la siguiente tabla (B & F, 2007):

Tabla XXI. Valores residuales del Sistema de Bombeo Actual.

TIPO DE BOMBA	VALOR RESIDUAL USD (\$)
Triplex	9,570.12
Quintuplex	7,894.41
Triplex	5,554.69
Quintuplex	8,106.19
Triplex	10,855.29
Triplex	5,576.54
TOTAL:	47,557.24

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

➤ **Costos energéticos del Sistema Actual**

Para obtener los costos energéticos del sistema actual de bombeo por unidades de desplazamiento positivo debemos tomar en cuenta el tipo de motor del campo que opera actualmente; ya sea este eléctrico o a combustión de diésel.

Tabla XXII. Costo Total Del Sistema Actual

MOTOR ELÉCTRICO	400,508
MOTOR A DIESEL	1'511,100.00
TOTAL	1'911,608.00

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

- **Costos de consumo eléctrico**

Las unidades que generan un rubro por consumo eléctrico son las siguientes:

Tabla XXIII. Bombas eléctricas del Campo ESPOL
A

BOMBA	POTENCIA HP	POTENCIA KW	CONSUMO ANUAL KW-H
TRIPLEX 1	170	127	1'112,520
TRIPLEX 2	170	127	1'112,520
TRIPLEX 3	170	127	1'112,520

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Se debe considerar el valor de la tarifa eléctrica actual como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla XXIV. Tarifa KW-H

TARIFA NORMAL DEL KW/H	INCREMENTO A LAS INDUSTRIAS	COSTO TOTAL DEL KW/H
0.095	0.02	0.12

Fuente: Tapia, 2017

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Para calcular el consumo eléctrico utilizamos la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo Anual de KW/H} * \text{Costo Total del Kw/H} \quad (\text{Ec. 1})$$

Lo cual nos dé como resultado un total de: 400,508 dólares, como lo indica la tabla:

Tabla XXV. Consumo Total del Campo ESPOL A

CONSUMO ANUAL KW-H	COSTO KW-H USD(\$)	COSTO ANUAL USD(\$)
1'112,520	0.12	133,502.4
1'112,520	0.12	133,502.4
1'112,520	0.12	133,502.4
	TOTAL	400,508

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

- **Costos de consumo de diésel**

En el campo ESPOL "A" se encuentran las siguientes unidades de bombeo que muestra la

Tabla XXVI:

Tabla XXVI. Consumo de galones de diésel del Campo ESPOL A

BOMBA	HP	GALÓN POR DÍA	GALÓN ANUAL
QUINTUPLEX	300	900	328,500
QUINTUPLEX	300	900	328,500

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Para el cálculo del consumo anual en dólares se debe considerar la tarifa actual del diésel.

Tabla XXVII. Tarifa normal del diésel

TARIFA NORMAL DEL DIESEL(LITRO)	COSTO TOTAL DEL GALÓN DE DIESEL
0.57	2.30

Fuente: Prices, 2018

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

La ecuación utilizada en el cálculo, es la siguiente:

$$\text{Consumo Anual de galones} * \text{Costo Total del galón} \quad (\text{Ec. 2})$$

Tabla XXVIII. Consumo Total del diésel del Campo ESPOL A

CONSUMO ANUAL GALONES	COSTO GALÓN DIESEL USD(\$)	COSTO ANUAL USD(\$)
328500	2.30	755,550
328500	2.30	755,550
	TOTAL	1'511,100

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007
Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

➤ **Costos por mantenimiento del Sistema Actual**

Los costos que se generan por mantenimiento en las unidades de bombeo del campo ESPOL "A" son:

Tabla XXIX. Costos de mantenimiento y reparación en el sistema actual de bombeo

UBICACIÓN DE UNIDADES DE BOMBEO	COSTO TOTAL (USD)
ESPOL A04	8,359
ESPOL A05	4,211.34
ESPOL A06	4,211.34
ESPOL A09	3,249.69
ESPOL A10	3,267.11
TOTAL	23,298.48

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007
Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

➤ **Costos de pérdidas de producción por paras**

La siguiente tabla muestra la perdida de producción en el último año a causa de los mantenimientos y fallas en estas unidades, donde el precio del barril a la fecha actual enero del 2018 está a \$ 60 USD/barril:

Tabla XXX. Pérdidas de producción

MOTIVO DE PARAS	TIEMPO DE PARA	BARRIL NO PRODUCIDO	BARRIL NO PRODUCIDO USD(\$)
Mantenimiento y fallas	443	7,093.89	425,633.4

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

4.1.2. Costos del Sistema Propuesto con unidad HPS

En este punto se analizará que tan factible es la utilización de la bomba HPS en las facilidades de superficie del campo, respecto al rubro generado por consumo energético.

➤ **Costos energéticos del Sistema Propuesto**

Considerando la tarifa de consumo por KW-H de la Tabla XXIV y considerando una potencia de 780 HP de la nueva unidad de bombeo, tenemos lo siguiente:

Tabla XXXI. Características de la bomba a instalarse en el Sistema Propuesto.

BOMBA	POTENCIA HP	POTENCIA KW/H	CONSUMO ANUAL KW-H
HPS	780	581.64	5'095,166.40

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007
Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

El costo energético de que genera la instalación de 2 unidades HPS se lo calcula con la Ec.1, por lo cual se obtiene un costo energético total de:

Tabla XXXII. Costo Energético de Motores eléctricos Del Sistema Propuesto HPS

CONSUMO ANUAL KW-H	COSTO KW-H USD(\$)	COSTO ANUAL USD(\$)
5'095,166.40	0.11	560,468.30
	TOTAL(2)	1'120,936.61

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007
Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Después de la instalación correcta de los equipos, condiciones operativas normales y el trabajo preventivo las unidades HPS pueden operar normalmente.

Cada 3 meses suele realizar mantenimiento preventivo para minimizar tiempos muertos, sin embargo se suelen tener *overhauls* planificados en donde se lleva *backup*, el tiempo estimado de para es de 14 días aproximadamente en el equipo. Los mantenimientos tienen un costo aproximado de 700 USD por cada unidad TJ 9000 (Castro, 2011).

Las HPS tienen una vida útil aproximada de 10 años, lo cual en su momento se realizará su respectiva inspección para el reparo y/o mantenimiento de las unidades, considerando su valor residual.

- **Consideraciones para el mantenimiento de la unidad HPS**

Para el buen funcionamiento de la unidad HPS se debe tener en cuenta lo siguiente (Castro, 2011):

- Chequear el nivel de aceite en la cámara de empuje.
- Revisar el estado del lubricante del acople del motor.

- Revisar periódicamente los estados de los sensores de presión y vibración.
- Dar mantenimiento a los motores de superficie.
- Realizar los mantenimientos en tiempos estipulados.

➤ **Costos de pérdidas de producción por paras de las unidades HPS**

La Tabla XXXIV muestra el costo total por barril no producido en los tiempos de paras debido a mantenimiento y fallas.

Tabla XXXIV. Mantenimiento y fallas HPS

MOTIVOS DE PARAS	TIEMPO DE PARA EN HORAS	BARRILES NO PRODUCIDOS EN HORAS DE PARA	BARRILES NO PRODUCIDO USD (POR HORAS)
Mantenimiento y fallas	336	132.98	7978.3

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

4.1.3. Síntesis de costos de las unidades

Como síntesis de costos se muestra la siguiente Tabla.

Tabla XXXV. Análisis comparativo de costos

DESPLAZAMIENTO POSITIVO			UNIDAD HPS		
Costo de 5 bombas	TOTAL	6'685,830	Costo de 2 bombas	TOTAL	534,850
Costo eléctrico anual	TOTAL	400,508	Costo eléctrico anual	TOTAL	1'120,936
Costo de diésel anual	TOTAL	1'511,100	Costo de diésel anual	TOTAL	NO UTILIZA
Costo de inversión	TOTAL	8'597,438	Costo de inversión	TOTAL	1'655,787

Fuente: Invalid source specified.

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Las bombas horizontales son eficientes porque no contaminan, son silenciosas; de bajo mantenimiento, ocupan poco espacio físico por eso necesitan de un área menor para ser instaladas. Las bombas reciprocantes ocupan gran espacio físico, alto costo inicial, bajo stock de repuestos, alta vibración, ruido excesivo, alto costo de mantenimiento y riesgos de que se produzcan incidentes como incendios, derrames, dañando la infraestructura aledaña, además causan

un considerable impacto ambiental, estos gases que emanan de los tubos de escape de los motores de combustión interna.

4.2. Matriz Comparativa

Al realizar una matriz comparativa se puede evaluar los diferentes tipos de bombas de desplazamiento positivo con las unidades HPS basándonos en factores operativos, mantenimiento y de costos.

Calificación por Factor

0 Sin importancia

1 Muy importante

Calificación por sistema de bombeo

1 No es atractivo

2 Poco atractivo

3 Bastante atractivo

4 Muy atractivo

Tabla XXXVI. Matriz Comparativa

F u e n	FACTOR A EVALUAR	CALIFICACIÓN A FACTOR	DESPLAZAMIENTO POSITIVO	HPS
t e :	Pérdidas por tiempo de para	1	2	3
(W l a d i	Costos de reparación/ Mantenimiento	1	2	3
m i r ,	Costos de instalación	1	3	3
2 0 1	Costos energéticos	1	2	4
3)	TOTAL	1	9	13

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

Como se puede observar en la matriz comparativa, el sistema de bombeo con mayor puntaje es la unidad HPS; por lo cual es una buena opción para su implementación y uso en el campo ESPOL "A".

4.3 Análisis FODA

Fortalezas: En el campo ESPOL "A" se tienen alrededor de 11 pozos operando con Bombeo Hidráulico, por lo cual debido tanto a su versatilidad como flexibilidad es viable su uso en el campo.

Oportunidad: Realizar una inversión en las facilidades ayuda a optimizar la producción, teniendo como resultado una mejora integral en el campo.

Debilidad: Altos costos por mantenimiento o falla en los equipos los cuales pueden ir en aumento en la etapa de desgaste. El circuito del sistema de fluido motriz no es el adecuado para el buen funcionamiento de los equipos, riesgos operativos asociados al uso de bombas de desplazamiento positivo que poseen motores a diésel.

Amenazas: Cambios en el sistema de Levantamiento Artificial ya sea a bombeo electro-sumergible o bombeo mecánico.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Debido que el campo ESPOL "A", opera con 5 unidades de desplazamiento positivo con una capacidad nominal al 60% lo cual ocasiona constantes paras y altos costos por mantenimiento; y además de contar con las líneas de *power oil* en buen estado es necesario el cambio de dichas unidades por unas más eficiente.

Para realizar el cambio de las unidades de bombeo actuales, se realizó una propuesta considerando las unidades de bombeo horizontal (HPS) y las unidades MTU, considerando los gastos por mantenimiento, gastos energéticos y eficiencia de dichas unidades.

Las pérdidas de producción en las unidades actuales de bombeo generan alrededor de \$425,633.4 USD por paras en las unidades *triplex* y *quintuplex* del actual sistema de bombeo, mientras que mantenimiento y fallas en las bombas ubicadas en los pozos ESPOL A04, ESPOL A05, ESPOL A06, ESPOL A09 y ESPOL A10 se genera un rubro de \$23,298.48 USD generando un total de: \$23'723681.4 USD. En cambio, los gastos por mantenimiento correctivo y preventivo del sistema propuesto con unidades HPS se encuentran alrededor de \$14,000 al año, y las pérdidas por para en el campo

ESPOL "A" en las unidades generan alrededor de \$7800 USD, creando así un total de \$ 21800 USD.

Según los requerimientos de nuestro campo se procedió a elegir la bomba HPS considerando características como eficiencia, potencia, caudal de descarga; por lo cual se optó por la bomba *WOODGROUP TJ 9000* que, gracias a la potencia suministrada, crea un ahorro energético muy evidente a comparación del sistema actual de bombeo.

En la propuesta se concluyó que es más eficiente para el campo trabajar con dos unidades de bombeo horizontal (HPS) en vez de utilizar las unidades móviles de prueba, ya que no es rentable para el campo adquirir el servicio de renta de 11 MTU mientras se dispone en el campo de la correcta adecuación de las líneas de *power oil*.

Debido a que el sistema actual no solo trabaja con unidades de desplazamiento positivo eléctricas, al instalar las unidades HPS se reduce en lo absoluto los riesgos laborales y operacionales que conlleva el uso de combustible.

La matriz comparativa realizada según el criterio de los autores de este proyecto considerando los factores de consumo energético, costos de mantenimiento, costos de instalación y costos de pérdidas de producción debido a fallas; también da como mejor opción para el cambio a las unidades de bombeo horizontal (HPS) en el campo ESPOL "A".

El análisis FODA realizado al campo ESPOL "A", considerando como amenaza un posible cambio de levantamiento artificial respecto al actual, nos deja claramente la opción que, para evitar dicho cambio, se puede mejorar el sistema de bombeo actual, eliminando las debilidades y aprovechando en lo máximo las fortalezas y oportunidades que se encuentran en el campo, el sistema de bombeo horizontal (HPS) sería la mejor opción considerando estos dos últimos factores antes descritos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el cambio del sistema actual por la instalación de 2 unidades de bombeo horizontal (HPS), ya que, debido a su caudal de operación, se podrá realizar programas de reacondicionamiento de pozos en pozos que han sido cerrados y otros nuevos podrán ser perforados, cumpliendo así con la demanda actual del caudal de inyección y eliminando tiempo de paras en la producción.

Como el sistema propuesto manejará un mayor caudal, se recomienda el uso de *loops* para reducir la caída de presión por fricción y las velocidades erosivas en las tuberías, lo cual prolongaría la vida útil de las mismas, minimizando costos de reparo y/o mantenimiento de las líneas.

ANEXOS

ANEXO A

TABLA A-1. FALLAS EN UNIDADES TRÍPLEX Y QUÍNTUPLEX

Fecha de Para	Pozos parados	Tiempo de Para (Horas)	Barriles no Producidos (Horas)
9/8/2016	A04, A06	6	61,3
10/9/2016	A10	2	56,8
12/9/2016	A13, A17	9	79,2
13/10/2016	A05	3	24,7
15/11/2016	A05	2	15,89
21/11/2016	A05	3	24,7
25/11/2016	A09, A10, A23	10	195,9
2/1/2017	A18, A21, A22	9	92
12/3/2017	A04, A06	24	264,05
16/3/2017	A23	2	28,4
25/4/2017	A05	1	19,3
27/4/2017	A18, A21, A22	3	53,9
4/5/2017	A23	4	28,84
15/6/2017	A04, A06	1	17,92
27/6/2017	A18, A21, A22	5	50,3
4/7/2017	A05	8	72,35
15/7/2017	A05	6	51,89
27/7/2017	A04, A06	3	27,92
Subtotal		101	1165,36

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

TABLA A-2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN TODA LA UNIDAD

Fecha de Para	Pozos parados	Tiempo de Para (Horas)	Barriles no Producidos (Horas)
6/5/2016	A04, A06	4	81
12/5/2016	A10	2	54,25
28/5/2016	A22,A23	6	79,08
1/6/2016	A18, A21, A22	3	69,36
10/6/2016	A05	1	42,71
11/6/2016	A13, A17	2	60,94
16/6/2016	A09, A10, A23	5	99,26
16/6/2016	A17	3	53,71
18/6/2016	A17	5	68,26
22/6/2016	A22	1	39,6
24/6/2016	A21	10	119,08
25/6/2016	A22	1	39,6
2/7/2016	A09, A10, A23	4	59,18
11/7/2016	A13, A17	7	98,36
12/7/2016	A05	8	101
12/7/2016	A05	5	84,72
14/7/2016	A18	8	102,8
19/8/2016	A13, A17	2	58,36
23/8/2016	A10	10	119,6
26/8/2016	A13	6	89,24
29/10/2016	A09, A10, A23	4	75,28

Fecha de Para	Pozos parados	Tiempo de Para (Horas)	Barriles no Producidos (Horas)
1/11/2016	A13, A17	3	63,4
9/11/2016	A18	3	62,72
11/12/2016	21	2	54,5
12/12/2016	A13, A17	3	69,43
10/2/2017	A05	12	185,43
23/3/2017	A10	2	44
24/4/2017	A22	17	215
12/5/2017	A13, A17	24	278,48
23/5/2017	A18	6	98,34
1/6/2017	A05	11	175,48
4/6/2017	A09, A10, A23	9	156,87
25/6/2017	A18, A21, A22	8	131,78
Subtotal		197	3130,82

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

TABLA A-3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN UNIDADES

Fecha de Para	Pozos parados	Tiempo de Para (Horas)	Barriles no Producidos (Horas)
4/5/2016	A10	3	64,86
12/5/2016	A13	2	17,44
13/5/2016	A09, A10, A23	2	25,8
14/5/2016	A13, A17	2	43,94
16/5/2016	A05	2	48,52
25/5/2016	A21	1	6,15
28/5/2016	A22	2	6,16
29/5/2016	A09, A10, A23	2	23
30/5/2016	A13, A17	1	21,97
1/6/2016	A05	2	58,52
14/6/2016	A21	2	30,06
15/6/2016	A22	2	42,36
30/6/2016	A09, A10, A23	1	33
1/7/2016	A13, A17	1	21,32
15/7/2016	A05	1	5,72
16/7/2016	A05	1	21,32
17/7/2016	A18	2	58,36
31/7/2016	A13, A17	2	nov-34
1/8/2016	A10	1	19,91

Fecha de Para	Pozos parados	Tiempo de Para (Horas)	Barriles no Producidos (Horas)
15/3/2017	A05	1	31,14
15/3/2017	A09, A10, A23	2	15,7
27/3/2017	A18, A21, A22	3	167,82
1/4/2017	A09, A10, A23	1	32,05
1/4/2017	A17	1	9,21
4/4/2017	A06	1	9,21
10/4/2017	A06	2	44,48
13/4/2017	A10	1	9,21
15/4/2017	A13, A17	2	43,86
17/4/2017	A06	2	64,1
18/4/2017	A18, A21, A22	1	32,05
25/4/2017	A10	2	43,86
30/4/2017	A18,A21	3	65,79
7/5/2017	A18,A21	2	51,52
9/5/2017	A10	1	7,21
13/5/2017	A06	2	7,8
17/5/2017	A18, A21, A22	1	25,76
17/5/2017	A09, A10, A23	3	72,3
22/5/2017	A13, A17	2	48,2
Subtotal		146	2797,71

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

TABLA A-4. HISTORIAL DE PRODUCCIÓN DEL AÑO 2016.

POZO	FECHA	BFPD	BPPD	BSW	BPPD INY	LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL
ESPOL A01	21/6/2016	100,1	42,9	62.0	1110	BM
ESPOL A02	21/6/2016	475,2	154	70.0	1340	BES
ESPOL A03	21/6/2016	113,3	67,1	41.0	1630	BM
ESPOL A04	21/6/2016	224,4	212,4	3.3	1560	BH
ESPOL A05	21/6/2016	312	252	11.0	1770	BH
ESPOL A06	21/6/2016	504	426	21.0	1990	BH
ESPOL A07	21/6/2016	627	275	61.2	1630	BES
ESPOL A09	21/6/2016	348	246	30.0	1550	BH
ESPOL A10	21/6/2016	279,6	213,6	18.5	1010	BH
ESPOL A11	21/6/2016	268,4	217,8	64.6	1203	BES
ESPOL A12	21/6/2016	118,8	85,8	27.0	770	BM
ESPOL A13	21/6/2016	652,8	333,6	39.9	1980	BH
ESPOL A15	21/6/2016	293,7	256,3	15.0	1098	BES
ESPOL A17	21/6/2016	307,2	174	33.0	1430	BH
ESPOL A18	21/6/2016	643,2	294	17.9	1600	BH
ESPOL A21	21/6/2016	314,4	194,4	0.8	1256	BH
ESPOL A22	21/6/2016	162	78	15.0	670	BH
ESPOL A23	21/6/2016	201,6	186	7.9	1500	BH
ESPOL A25	21/6/2016	555,5	402,6	24.8	1700	BES
ESPOL A26	21/6/2016	183,7	169,4	9.4	890	BM
ESPOL A27	21/6/2016	269,5	183,7	29.7	1380	BES
ESPOL A28	21/6/2016	710,6	293,7	64.2	650	BES

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

TABLA A-5. FACILIDADES DE PRODUCCIÓN

LOCALIZACIÓN	EQUIPO Y UNIDADES	DESCRIPCIÓN
ESTACIÓN CENTRAL	Baterías de <i>manifolds</i>	Dos baterías de cinco <i>manifolds</i> .
	Separadores de producción trifásicos	Capacidad 5000 bls.
	SEPARADOR DE PRUEBA	Capacidad 10000 Bls
	Separador de gas	Capacidad 5000 bls
	Tanque de lavado	Capacidad 24680 Bls
	tanque de reposo	Capacidad 15120 Bls.
	Sistema de Power Oil con dos bombas <i>booster</i>	Motor 100 HP, Serie EPG254042
		Motor 50 HP, Serie NHO25049
	Monitores Sistema contra incendios	Cuatro monitores
Bomba recirculación tanque a tanque	Motor 3 HP ID # 6206-JC-3	

Fuente: Beltrán, F., Fierro, O., 2007

Elaborado por: Brborich, K., Briceño, E., 2017

BIBLIOGRAFÍA

Alvaro, T. (2010). Sistema de bombeo hidráulico tipo jet para pruebas de producción y optimización de su funcionamiento en el pozo Sacha 99. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.

B, F., & F, O. (2007). Análisis técnico - económico para optimizar el sistema de fluido motriz, aplicado en el campo Lago Agrio operado por petroproducción. Escuela Politecnica Nacional, Quito.

Benavides, H. A. (2012). Diseño de un sistema experto para la aplicación de bombeo hidráulico jet en pozos productores de aceite. Universidad Nacional Autónoma De México, Ciudad de Mexico.

Brown, K. (1980). The Technology of Artificial Lift Methods (Vol 2b). Tulsa, USA, pág 361.

Caroli, E. J. (s.f.). Monografias.com. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>

Castro, R. E. (2011). Estudio para el cambio de unidades de desplazamiento positivo por unidades centrífugas eléctricas horizontales para el sistema de levantamiento hidráulico de la estación cuyabeno. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito.

ÇENGEL, Y. A., & JOHN. M. CIMBALA, J. (2006). *Mecánica de fluídos: Fundamentos y Aplicación*. MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE MEXICO.

Cristian, C., & Miriam, R. (2011). Estudio del Sistema de Bombeo Hidráulico En El Campo Lago Agrio Para Incrementar su Producción. Escuela Politécnica del Litoral, Quito.

Diaz. (2010). Evaluacion y analisis economico de una unidad mtu (mobile test unit) para valoracion de un pozo productor. Universidad Central Del Ecuador, Quito.

García, J. C. (2013). Alternativas en el bombeo hidráulico tipo jet para optimizar la producción de hidrocarburos. Universidad Ncional Autónoma de México, Ciudad de México.

Gavilánez, Y. R., & González, A. R. (2012). Análisis Técnico Económico para el cambio de sistema de producción de bombeo hidráulico a mecánico en el campo Lago Agrio operado por EP Petroecuador. Universidad Estatal Península De Santa Elena, La libertad.

Gonzalez, A. (2015). Bombeo Hidráulico. Guayaquil: ESPOI.

González, A. (2016). Tipos de Levantanmiento Artificial.

GROUP, W. (2016). 6. Obtenido de rotatingright: www.rotatingright.com

GUNT. (s.f.). MÁQUINAS FLUIDOMECÁNICAS HIDRÁULICAS . Obtenido de GUNT HAMBURG: www.gunt.de/images/download/positive-displacement-pumps_spanish.pdf

Lake, L. (2007). Petroleum Engineering Handbook (Vol IV). Austin: Society of petroleum Engineers.

Laura MILENA RIVERA, J. C. (9 de JULIO de 2012). SLIDESHARE. Recuperado el 23 de ENERO de 2017, de <http://es.slideshare.net/gabosocorro/bombeo-hidraulico-tipo-jet>

Melo, i. (s.f.). Folleto de levantamiento artificial. EPN.

MORALES, A. A. (2014). PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA POWER OIL EN LA ESTACIÓN SHUSHUQUINDI . UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS.

OP. (martes de 12 de 2014). Operador Petrolero. Obtenido de http://operadorpetrolero.blogspot.com/2014/12/tipos-de-bombas-en-operaciones_23.html

Ortega calderón, R. D., & Roja Romero, M. J. (2012). ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA AHORRO DE FLUIDO. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

P, A. (2011). "PROPUESTA DE INVERSION EN EL SERVICIO DE EVALUACION DE BOMBEO HIDRAULICO". 3-4.

Petroecuador, E. P. (2011). Repotenciación del Poliducto Tres Bocas Pascuales. Ecuador.

Prices, G. (01 de 01 de 2018). Ecuador Precios del diesel, litro. Recuperado el 05 de 01 de 2018, de http://es.globalpetrolprices.com/Ecuador/diesel_prices/

R, L. (2012). ESTUDIO Y ANALISIS DEL MERCADO DE COMPUTADORAS ENSAMBLADAS EN EL ECUADOR Y PROPUESTA DE UN MODELO DE EMPRESA CONSULTORA EN INTEGRACION DE EQUIPOS ELECTRONICOS. 9.

Reina, G. M. (2012). Manual para el diseño de una red hidráulica de climatización. Escuela Técnica Superior de Ingenieros- Universidad de Sevilla.

Rivas Gavilanez, Y., & Rivera González, A. (2012). Análisis económico para el cambio de sistema de producción de Hidráulico a mecánico en el campo

Lago Agrio operado por Petroecuador E.P. La Libertad: Universidad Estatal
Península de Santa Elena.

Sertecpet. (2001). Manual de operación de la bomba Jet Claw. Quito.Pg 25.-
30.

SERTECPET. (2010). MANUAL PARA OPERACIONES DE CAMPO.

Silva, A. D. (12 de enero de 2008). La Comunidad Petrolera. Obtenido de
https://www.lacomunidadpetrolera.com/2008/01/mtodos-de-levantamiento-artificial_12.html.

Solipet. (2009). Manual de Bombeo Hidráulico.

Strahman VALVES, I. (s.f.). <http://www.strahmanvalves.com/store/ball-valves-en.html?sl=ES>.

Tapia, E. (24 de Octubre de 2017). La tarifa de energía eléctrica para industrias se revisa. Recuperado el 9 de enero de 2018, de www.elcomercio.com

Viteri, J. L. (2015). slideplayer. Obtenido de
<http://slideplayer.es/slide/10191487/>

Weatherford. (2013). Sistema de Bombeo Hidráulico.

Wladimir, c. (2013). Diseño del sistema de bombeo (BES, HPS y BCP) de reinyección de agua de formación para un periodo de 10 años. Universidad Central Del Ecuador, Quito.