

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Reducción de Costos en Operaciones de Reacondicionamiento
de Pozos por medio de la técnica Clean & Perf en el
Campo Palo Azul

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

Ingeniero en Petróleo

Presentado por:

Raúl Antonio Balón Álvarez

Vanessa Gabriela Franco Ponce

GUAYAQUIL - ECUADOR

2018

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado a Dios, así mismo a mis queridos padres, Raúl Balón y Magdalena Álvarez ,pues ellos fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentaron en mí las bases de mis valores, deseos de superación y responsabilidad, en ellos tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y el trabajo duro son el ejemplo más grande de amor que nos brindan a nosotros sus hijos, y doy gracias a Dios los excelentes padres que la vida me proporciono.

A mi prima, Sonnia Ramos, más que una prima una madre que siempre me ofreció su apoyo incondicional, motivando cada pasó de mi vida para seguir adelante brindándome su amor y motivación.

A mis amigos que hicieron de mi experiencia universitaria una aventura llena de anécdotas de mucha felicidad, especialmente a mis mejores amigas Vanessa Franco y Laura Borbor, la universidad fue especial por ustedes.

Raúl Balón

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a Dios, quien me ha permitido llegar al mejor momento de mi vida finalizando mi carrera.

A mi querida madre, Karina Franco que a pesar de la distancia que nos separa, me ha sabido apoyar y motivar en cada momento de mi vida.

A mi amada segunda madre, Cira Ponce, quien con su amor y cuidados ha sabido hacer de mí una mujer de bien.

A mí querido padre, Dionicio Franco, gracias por sus consejos y ocurrencias los cuales han hecho que mi vida este llena de buenos momentos.

A mis queridos sobrinos, Andrea, Joselyne, Alejandro y Arturo, los cuales me han regalado los mejores fines de semana de mi vida.

A mi querido novio, Isaac Merchán gracias por el amor y la compañía que nunca me han faltado.

A mis mejores amigos, Kerly Cedeño, Laura Borbor y Raúl Balón quienes han estado conmigo en cada suceso de mi vida compartiendo bellos momentos.

A mis lobas, a mis amigos civiles y petroleros que me brindó la universidad, quienes hicieron más amena y divertida la travesía hasta culminar la carrera.

Vanessa Franco

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos al Ing. Fernando Sagnay, quien desde los inicios de nuestra carrera siempre fue un profesor dispuesto a ayudarnos a fortalecer nuestras actitudes como profesionales. Así mismo en la ejecución del presente proyecto fue un pilar fundamental para el desarrollo del mismo.

Esperamos algún día llegar a ser como usted en el ámbito profesional, así mismo como su don de colaboración para el aporte de las generaciones futuras.

A los profesores de la carrera, gracias por forjarnos como buenos profesionales de la patria.

Una especial dedicatoria para la empresa PETROAMAZONAS EP y al equipo de trabajo del campo PALO AZUL por brindarnos la ayuda necesaria para la realización de este proyecto.

Raúl y Vanessa

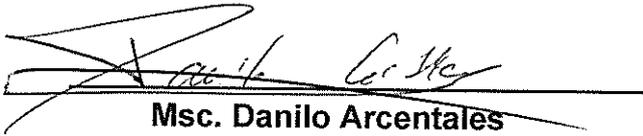
DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Raúl Antonio Balón Álvarez* y *Vanessa Gabriela Franco Ponce* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"


Raúl Antonio Balón Álvarez


Vanessa Gabriela Franco Ponce

EVALUADORES



Msc. Danilo Arcentales

PROFESOR DE LA MATERIA



Msc. Xavier Vargas Gutiérrez

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La realización del reacondicionamiento de pozos es una de las técnicas más comunes en la industria petrolera, debido a que permite resolver problemas de los pozos. Una de las nuevas técnicas que se están desarrollando en los campos de PETROAMAZONAS EP es la técnica de Clean & Perf, la cual se basa en un sistema que permite bajar un BHA de limpieza para posteriormente realizar un cañoneo con TCP en la misma corrida para así lograr un ahorro de tiempo y dinero, que es de gran importancia debido a que se manejan grandes cantidades de dinero del presupuesto general del estado.

El presente documento trata de demostrar cómo y cuándo se podría utilizar la técnica de Clean & Perf, analizando las condiciones necesarias. Los pozos seleccionados para dicho estudio fueron PLAB-010, PLAN-056 y PLAC-017, los cuales fueron analizados tanto en su parte económica como en el tiempo operacional de cada uno, en los cuales no se hizo uso de esta técnica pero eran aptos para el desarrollo de la misma.

Finalmente el ahorro en el tiempo operacional y gastos fueron considerables, donde se pudo haber generado un ahorro de 2,66 días con respecto a la técnica Clean & Perf. A su vez el ahorro en porcentaje de los costos operacionales es del 11,22% y 16,27% en los pozos PLAB-010 y PLAN-056 respectivamente.

Palabras Claves: Reacondicionamiento de Pozos, BHA de limpieza, cañoneo, TCP, Clean & Perf.

ABSTRACT

The fulfillment of workover operations is one of the most common techniques of the oil industry because it allows solving problems in such wells.

One of the new techniques that are being developed in the fields of PETROAMAZONAS EP is the Clean & Perf technique which is based on a system that allows to lower a cleaning BHA to later perform a perforation with TCP in the same run to achieve a saving of time and money, which is of great importance due to the fact that large amounts of money are handled from the general state budget.

The present document tries to demonstrate how and when the Clean & Perf technique could be used, analyzing the necessary conditions. The wells selected for this study were PLAB-01, PLAN-056 and PLAC-017, which were analyzed both in their economic part and in the operational time of each one, in which this technique was not used but they were suitable for the development of it.

Finally, the savings in operational time and expenses were considerable, where a saving of 2.66 days could have been generated with respect to the CLEAN AND PERFF technique. At the same time, the savings in the percentage of operating costs is 11.22 percent and 16.27 percent in wells PLAB-01 and PLAN-056 respectively.

Keywords: *Workover, BHA, perforating, TCP, Clean & Perf.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS.....	VIII
SIMBOLOGÍA.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
Capítulo 1	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Marco teórico	4
1.4.1 Descripción del campo Palo Azul.....	4
1.4.1.1 Antecedentes.....	4
1.4.1.2 Ubicación geográfica	4
1.4.1.3 Estado actual.....	4
1.4.1.4 Producción.....	4
1.4.2 Operaciones de reacondicionamiento	5
1.4.2.1 Partes de un equipo de reacondicionamiento.....	6

1.4.3	Cañoneo.....	7
1.4.4	Tipos de cañoneo.....	7
1.4.4.1	Cañones tipo chorro o jet.....	7
1.4.4.2	Cañones tipo balas.....	8
1.4.4.3	Cañoneo tipo hidráulico.....	8
1.4.5	Técnicas de cañoneo utilizadas en la industria petrolera.....	8
1.4.5.1	Wireline en condiciones de sobre-balance.....	8
1.4.5.2	TCP en condiciones de bajo-balance.....	9
1.4.5.3	Técnica TCP propolente en sobre balance.....	10
1.4.6	BHA.....	11
1.4.7	Tipos de BHA por su función a desarrollar.....	11
1.4.8	BHA de perforación.....	12
1.4.8.1	Barra de perforación (Drill Collar).....	12
1.4.8.2	Tubería pesada (heavy weight).....	13
1.4.8.3	Estabilizadores.....	14
1.4.8.4	Accesorios.....	15
1.4.9	BHA de limpieza.....	16
1.4.9.1	Taper mill.....	17
1.4.9.2	Junk snatcher.....	17
1.4.9.3	Boot basket.....	18
1.4.9.4	Raspadores de casing (scraper).....	18

1.4.9.5	X- Over	19
1.4.10	BHA de cañoneo	20
1.4.10.1	Cabeza mecánica de cañones	20
Capítulo 2	.....	22
2.	METODOLOGÍA.....	23
2.1	Estrategia de desarrollo	24
2.2	Ventajas y desventajas de la técnica clean & perf	24
2.3	Selección de pozos candidatos para la técnica de clean & perf.....	25
2.4	Análisis geológico de la arena hollín	25
2.5	Runlife promedio del campo Palo Azul.....	26
2.6	Sin problemas de integridad mecánica	27
2.7	Metodología en operaciones de bajo balance	28
2.8	Ventajas y Desventajas del sistema TCP bajo- balance	29
2.8.1	Ventajas del sistema TCP bajo-balance	29
2.8.2	Desventajas del sistema TCP bajo-balance.....	30
2.8.3	Guía para la obtención de un bajo-balance óptimo.....	31
2.9	Técnica de clean & perf pozos favorecidos.....	32
Capítulo 3	.....	33
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	34
3.1	Análisis de pozos con un workover de clean & perf	34
3.2	Pozo PLAB-005.....	34

3.2.1	Migración de finos	34
3.2.2	Muestra gráfica de sólidos	35
3.2.3	Análisis.....	35
3.2.4	Histórico de producción.....	35
3.3	Pozo PLAC-046.....	36
3.3.1	Migración de finos	36
3.3.2	Muestra gráfica de sólidos	36
3.3.3	Análisis.....	36
3.3.4	Histórico de producción.....	37
3.4	Pozo PLAD-024.....	37
3.4.1	Migración de finos	37
3.4.2	Muestra gráfica de sólidos	38
3.4.3	Análisis.....	38
3.4.4	Histórico de producción.....	38
3.4.5	Evaluación petrofísica	39
3.5	Condiciones al aplicar clean & perf	40
3.5.1	Condiciones necesarias para aplicar la técnica clean & perf	40
3.5.2	Condiciones mecánicas para aplicar la técnica clean & perf	40
3.6	Actividades de limpieza y cañoneo del Campo Palo Azul en el período (2015-2018).....	41
3.7	Análisis del Campo Palo Azul en el período (2015-2018)	43
3.8	Gastos de tiempo y dinero con clean & perf en el campo Palo Azul.	45

3.8.1	Análisis de las actividades generales PLAB-005	45
3.8.2	Análisis de las actividades generales PLAC-046	47
3.8.3	Análisis de las actividades generales PLAD-024	49
3.9	Gastos de tiempo y dinero bajo pozos sin uso clean & perf en el campo Palo Azul	52
3.9.1	Análisis de las actividades generales PLAB-010	52
3.9.2	Análisis de las actividades generales PLAC-017	52
3.9.3	Análisis de las actividades generales PLAN-056	53
3.10	Análisis económico.....	57
Capítulo 4	.....	62
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
4.1	Conclusiones.....	63
4.2	Recomendaciones.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	.....	65
Bibliografía.....	.....	66
ANEXOS.....	.....	67

ABREVIATURAS

API: American Petroleum Institute

BBL: Barriles

BFPD: Barriles de fluido por día

BPPD: Barriles de petróleo por día

BAPD: Barriles de agua por día

BHA: Bottom hole assembly

BIPD: Barriles de inyección de petróleo por día

BSW: Porcentaje de agua y sedimentos

TCP: Tubing Conveyed Perforating

TVD: Profundidad vertical real

SIMBOLOGÍA

ρ_f : Densidad del fluido

Δp : Cambio de presión del yacimiento

H : Altura de la columna de fluido

ΔP_{min}^* : Diferencial de presión mínimo

ΔP_{ope} : Diferencial de operaciones

ΔP_{max} : Diferencial máximo de presión

TVD_{int} : Profundidad vertical real interna

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.4.5.1.1 Cañoneo con Wireline	9
Fig. 1.4.5.2.1 Cañoneo con TCP	9
Fig. 1.4.5.3.1 Equipo de técnica TCP Propelente sobre balance	11
Fig. 1.4.8.1.1 Tipos de barras de perforación	13
Fig. 1.4.8.3.1 Tipos de estabilizadores	14
Fig. 1.4.8.4.1 BHA Limpieza	16
Fig. 1.4.9.1.1 Taper Mill en sus múltiples formas	17
Fig. 1.4.9.2.1 Junk snatcher	18
Fig. 1.4.9.3.1 Boot basket	18
Fig. 1.4.9.4.1 Raspadores de casing (scraper)	19
Fig. 1.4.9.5.1 X- Over	19
Fig. 1.4.9.5.1 BHA de cañoneo	20
Fig. 1.4.10.1.1 Cabeza mecánica de cañones	21
Fig. 1.4.10.1.1 Organigrama del Plan de desarrollo	23
Fig. 1.4.10.1.1 Muestra de un análisis geológico de perforados en el pozo Plab-005 (PETROAMAZONAS, 2010-2018)	26
Fig. 1.4.10.1.1 Runlife promedio de los pozos en el campo Palo Azul	27
Fig. 3.2.1.1 Extracción de sólidos y residuos como escala del equipo de fondo ...	34
Fig. 3.2.2.1 Sólidos encontrados en la muestra del Pulling PLAB-005	35
Fig. 3.3.2.1 Sólidos encontrados en la muestra del Pulling PLAB-046	36
Fig. 3.4.2.1 Sólidos encontrados en la muestra del Pulling PLAB-046	38
Fig. 3.4.5.1 Evaluación Petrofísica del Pozo PA-05	39
Fig. 3.8.1.1 Producción del pozo pre y post utilización de la técnica clean & perf del pozo PLAB-005	46
Fig. 3.8.1.2 Análisis nodal del pozo PLAB-005	46
Fig. 3.8.2.1 Producción del pozo pre y post utilización de la técnica clean & perf del pozo PLAC-046	48
Fig. 3.8.2.2 Análisis nodal del pozo PLAC-046	48
Fig. 3.8.3.1 Producción del pozo pre y post utilización de la técnica clean & perf del pozo PLAD-024	50
Fig. 3.8.3.2 Análisis nodal del pozo PLAD-024	50
Fig. 3.8.3.3 Esquema de costos y tiempo operacional de la técnica Clean & Perf en los pozos del campo Palo Azul (Franco, V. & Balón, R. (2019))	51
Fig. 3.9.3.1 Esquema final del tiempo, costos y ahorro estimado con la aplicación de la técnica convencional en los pozos del campo Palo Azul (Franco, V. & Balón, R. (2019))	55
Fig. 3.9.3.1 Costo y Tiempo operacional promedios de la técnica Clean & Perf en los pozos del campo Palo Azul (Franco, V. & Balón, R. (2019))	56
Fig. 3.9.3.2 Tiempo y ahorro estimado promedio del proceso convencional de los pozos del campo Palo Azul (Franco, V. & Balón, R. (2019))	56
Fig. 3.9.3.1 Porcentaje de ahorro económico de los pozos del campo Palo Azul (Franco, V. & Balón, R. (2019))	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.4.1.3.1.1 Estado y cantidades de los pozos en el Campo Palo Azul	4
Tabla 1.1.4.1.4.1 Producción diaria de fluidos	5
Tabla 1.1.4.1.4.2 Reinyección de agua.....	5
Tabla 1.1.4.8.4.1 Tabla de Accesorios para un BHA de perforación	15
Tabla 2.8.3.1 Tabla de bajo balance optimo según Bell	31
Tabla 2.8.3.1 Tabla de Pozos bajo el Clean & Perf (PETROAMAZONAS, 2010-2018)	32
Tabla 3.5.2.1 Pozos del Pad A y B donde se bajó BHA de limpieza y se realizó cañoneo (Franco, V. & Balón, R. (2019)).....	41
Tabla 3.5.2.2 Pozos del Pad norte donde se bajó BHA de limpieza y se realizó cañoneo (Franco, V. & Balón, R. (2019)).....	41
Tabla 3.5.2.3 Pozos del Pad C y D donde se bajó BHA de limpieza y se realizó cañoneo (Franco, V. & Balón, R. (2019)).....	42
Tabla 3.8.1.1 Tiempos empleados en la aplicación de la técnica Clean & Perf del PLAB-005.....	45
Tabla 3.8.1.2 Producción del pozo PLAB-005	47
Tabla 3.8.2.1 Tiempos empleados en la aplicación de la técnica Clean & Perf del PLAC-046.....	47
Tabla 3.8.2.2 Producción del pozo PLAC-046	49
Tabla 3.8.3.1 Tiempos empleados en la aplicación de la técnica Clean & Perf del PLAD-024.....	49
Tabla 3.8.3.2 Producción del pozo PLAD-024	51
Tabla 3.9.1.1 Tiempos empleados en la aplicación de la técnica convencional del PLAB-010 (Franco, V. & Balón, R. (2019))	52
Tabla 3.9.2.1 Tiempos empleados en la aplicación de la técnica convencional PLAC-017 (Franco, V. & Balón, R. (2019))	53
Tabla 3.9.3.1 Tiempos empleados en la aplicación de la técnica convencional PLAN-056.....	53
Tabla 3.9.3.1 Costos promedios del uso de la técnica Clean & Perf.....	58
Tabla 3.9.3.2 Costos promedios del uso del BHA de limpieza y recañoneo con wireline.	59

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

Los trabajos de reacondicionamiento en los pozos son los más comunes en la industria petrolera, debido a que son las operaciones que permiten solucionar los problemas que estén presentes en los pozos petroleros.

Hoy en día se utilizan métodos más seguros y eficaces para realizar corridas de tubería y a su vez realizar la respectiva limpieza de los pozos con la técnica Clean & Perf, que se basa en un sistema integrado que ayuda a reducir tiempo y costos, debido a que no hace falta parar la corrida de tubería para colocar un nuevo equipo y herramientas de limpieza en el fondo del pozo sino que es un proceso que se realiza simultáneamente permitiendo obtener una excelente optimización de los gastos generales de la utilización de la torre de perforación.

La técnica Clean & Perf permite evitar riesgos operacionales debido a que no se necesitan tanto número operadores porque el proceso se realiza en menos tiempo y con la menor intervención del personal en comparación con el proceso convencional.

El reacondicionamiento trae consigo numerosos estudios y evaluaciones que resultan ser muy costosas que afectan la rentabilidad económica. Para ello es necesario preparar programas cronológicos de operaciones que describen la selección y la ejecución apropiadas de diversas tareas, ajustadas a una secuencia técnica y seguridad requeridas para evitar accidentes.

En el estudio de la reducción de costos en las operaciones de reacondicionamiento se tiene que tomar en cuenta los diferentes diseños que se puedan realizar en el ensamblaje mediante un Well Planing que genere la mayor reducción de gastos al menor tiempo.

1.1 Descripción del problema

En operaciones de reacondicionamiento de pozos por lo general se realizan corridas de tubería con BHA de limpieza, así con BHA de cañoneo según la técnica utilizada, esto a su vez implica tiempos de operación con la torre, lo cual nos incrementan los costos por intervención.

En el medio existe una técnica de Clean & Perf que se basa en la combinación de técnicas de perforación junto con la limpieza del pozo y calibración del BHA, de esta manera se mejora la productividad mientras se optimiza el tiempo de las operaciones de reacondicionamiento del pozo mediante simples intervenciones de tracción.

1.2 Justificación del problema

La problemática de generar la menor cantidad de costos en un proyecto en el sector petrolero es de vital importancia ya que se manejan grandes sumas de dinero que inciden al presupuesto general del estado pues es la fuente de ingreso de nuestro país.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Elaborar un estudio que permita reducir los costos en operaciones de reacondicionamiento de pozos por medio de la técnica de Clean & Perf en el Campo Palo Azul.

1.3.2 Objetivos específicos

- Demostrar cómo y cuándo se debe utilizar la técnica Clean & Perf.
- Escoger los pozos candidatos donde se bajó un BHA de limpieza y donde se realizaron cañoneos en los años 2015, 2016, 2017 y 2018.
- Analizar los pozos candidatos y comparar los tiempos de operación y el ahorro económico que se puede lograr aplicando la técnica Clean & Perf.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Descripción del campo Palo Azul

1.4.1.1 Antecedentes

En el año 1999 fue descubierto el campo Palo Azul con la perforación exploratoria del pozo Palo Azul-01 dentro del Bloque 18 por Cayman International Exploration Company S.A y Petromanabi S.A.

El primer pozo productor se desarrolló en el año 2001.

1.4.1.2 Ubicación geográfica

En el campo Palo Azul se encuentra en el Bloque 18 en el cantón Francisco de Orellana. Los límites se encuentran al este por el Río Coca, al noroeste se encuentra el campo Sacha, y al noreste el campo Pucuna.

1.4.1.3 Estado actual

La siguiente tabla describe el estado y cantidades de los pozos en el campo Palo Azul.

Estado de los Pozos	Número de Pozos
Productores	35
Reacondicionamiento	2
Perforados	1
Inyectores	5
Abandonados	3
Cerrados	12
Total de pozos perforados	58

Tabla 1.4.1.3.1.1 Estado y cantidades de los pozos en el Campo Palo Azul

1.4.1.4 Producción

El campo Palo Azul produce 6723.77 barriles por día, un BSW de 90 % y un petróleo de 26 grados API.

Fluido (BFPD)	Neto (BPPD)	Agua (BAPD)	BSW%
67,377.13	6,723.77	60,653.36	90.0

Tabla 1.1.4.1.4.1 Producción diaria de fluidos

La producción de reinyección del agua.

Producción (BAPD)	Re-Inyección (BIPD)	Capacidad (BIPD)
60,653.36	63,665.87	70,000.00

Tabla 1.1.4.1.4.2 Reinyección de agua

1.4.2 Operaciones de reacondicionamiento

Las operaciones de reacondicionamiento o también conocidas como workover se tratan de toda intervención técnica invasiva en los pozos petroleros como coiled tubing, wireline o snubbing, el cual permite el aumento de la producción o la reparación de los pozos petroleros.

Para ello se debe tomar en cuenta la disponibilidad el pozo, el desarrollo de la arena, su localización estructural y saber seleccionar el equipo y herramientas con las que se va a trabajar donde se modifica el pozo o el yacimiento.

Existen algunos tipos de reacondicionamiento de pozos como extraer las varillas y tubería de producción, sustituir equipo subterráneo, realizar trabajos de limpieza de pozos y trabajos de inducción de pozos.

Antes de realizar el reacondicionamiento se debe tener en cuenta aspectos geológicos, la perforación inicial del pozo, la terminación del pozo, además de intervenciones posteriores como limpiezas, estimulaciones o a su vez reacondicionamiento antes realizados.

Uno de los objetivos de las operaciones de reacondicionamiento es abrir y cerrar arenas, aumentar la profundidad del pozo o el diámetro del mismo.

Además de las condiciones físicas del pozo, se tiene que considerar el tipo de equipo requerido, tiempo operacional, costos operacionales, condiciones mecánicas de las instalaciones dentro del pozo y el control del mismo.

Hay dos tipos de equipos que se pueden utilizar para llevar a cabo un procedimiento de workover, los convencionales y los auto-transportables. Los convencionales se enfocan en realizar trabajos de gran profundidad debido a su mayor capacidad. Los auto-transportables se pueden desplazar fácilmente de un lugar a otro.

1.4.2.1 Partes de un equipo de reacondicionamiento

Tienen componentes semejantes a las partes del equipo de perforación de pozos.

- Sistema de levantamiento
- Sistema de circulación
- Sistema de rotación
- Sistema de potencia
- Sistema de control de pozo

El sistema de Levantamiento cuenta con la estructura y subestructura, el bloque corona, el bloque viajero, cable, gancho, elevadores, malacate etc.

El sistema de Circulación está compuesto de tanques, tubo vertical, fluidos de circulación, bombas, manguera de circulación, línea de flujo, equipos de control de sólidos, separadores y desgasificadores de gas.

El sistema de Rotación está compuesto de mesa rotatoria, drill pipe, drill collar, tubería pesada, broca, kelly e unidad giratoria.

El sistema de potencia está conformado de transmisión de potencia, generadores y motores primarios.

1.4.3 Cañoneo

El proceso de cañoneo o también conocido como punzonamiento es un método que permite la correcta comunicación de los fluidos desde el subsuelo hasta la superficie, lo que permite una eficaz recuperación de hidrocarburos. El proceso se basa en realizar agujeros a través de la tubería de revestimiento y el cemento, para obtener una porosidad efectiva mayor y crear una conexión entre las formaciones seleccionadas y el pozo.

El cañoneo debe realizarse de manera que no dañe el revestidor y la adherencia de cemento, y a su vez que los agujeros se mantengan limpios con un tamaño y profundidad uniforme.

Un factor determinante en este proceso es la caída de presión en las zonas cercanas a los orificios generados por los disparos, que es calculada mediante el factor de daño.

El método de cañoneo se produce en una fracción de segundo donde partículas prensadas permiten una mayor penetración con el efecto de cavidad explosiva debido a que se crea un chorro de gran potencia que pasa por el revestidor, el cemento hasta llegar a la formación.

La presión de penetración del disparo es muy elevada debido a que es de aproximadamente 3×10^5 a 5×10^2 millones de psi, lo que genera residuos pulverizados en los túneles de disparo.

1.4.4 Tipos de cañoneo

Los tipos de cañoneo son tres: el tipo chorro, tipo bala y tipo hidráulico.

1.4.4.1 Cañones tipo chorro o jet

Son cañones de cargas moldeadas con una cubierta metálica y de alta potencia que pueden ser bajados simultáneamente utilizando con guayas mecánicas o eléctricas. Este tipo de cañoneo es el más utilizado.

1.4.4.2 Cañones tipo balas

Son cañones poco utilizados en la actualidad pero aún tiene aplicación en formaciones blandas o res quebradizas. Según este tipo de cañoneo las balas son disparadas al revestidor para atravesar el cemento y para que finalmente llegue a la formación.

1.4.4.3 Cañoneo tipo hidráulico

Es un tipo de cañoneo costoso y tiene un proceso lento debido a que los agujeros son creados de uno en uno. Se basa en la utilización de chorros de agua a altas presiones para abrir los agujeros que atraviesan el revestidor, el cemento y la formación generando túneles limpios con muy poco daño.

1.4.5 Técnicas de cañoneo utilizadas en la industria petrolera

Existen tres tipos de técnicas, las cuales son bajadas por cable en sobre-balance, a través de tubería en bajo balance y bajado con tubería con TCP en bajo-balance.

1.4.5.1 Wireline en condiciones de sobre-balance

En este tipo de técnica el pozo se debe encontrar en sobre balance cuando se utiliza la unidad de cable eléctrico, es decir la presión hidrostática tiene que ser mayor a la presión de la formación para que evitar el soplado de los cañones hacia arriba y que altas presiones lleguen tanto en la sección anular como en superficie.

Es necesario bajar un sistema de wireline en condiciones de sobre-balance debido a que el peso de la herramienta es lo único que puede ejercer peso en la formación.

Una de las grandes ventajas de este procedimiento es que se puede emplear cañones y cargas grandes, lo que permite un máximo rendimiento a un menor costo de operación con respecto a otros. Por otro lado, su mayor desventaja es la limitada longitud de cañoneo.



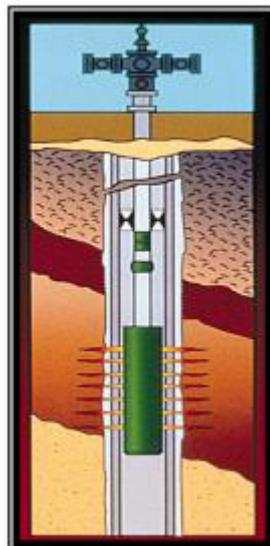
Fig. 1.4.5.1.1 Cañoneo con Wireline

(Matamoros, 2009)

1.4.5.2 TCP en condiciones de bajo-balance

El proceso se basa en transportar cañones por tubería, es decir se baja un cañón casing estándar con tubing bajo un packer que permite tensionar o comprimir. Uno de los requerimientos es que debe ser operado con un fluido limpio con una presión de bajo-balance, es decir que su presión hidrostática debe ser menor

0 a la presión de la



formación.

Fig. 1.4.5.2.1 Cañoneo con TCP

(Matamoros, 2009)

Para realizar esta técnica primero se baja el BHA dentro del pozo en la parte final de la sarta de perforación, la misma que es posicionada a la profundidad deseada. Luego se colocan los cañones y el packer es asentado para después colocar la condición de bajo balance dentro del tubing. Finalmente se disparan los cañones y los fluidos de formación son conducidos hacia el pozo generando una limpieza de la perforación.

Para esta técnica es necesario que el pozo se encuentre bajo balance debido a que el peso de la tubería ya ejerce una presión que permite que el pozo se venga.

Esta técnica permite manejar cañones y grandes cargas alta densidad de disparo, es decir que se requiere un control eficaz del pozo lo que es de mucha facilidad debido a que en este procedimiento se baja tubería lo que permite controlar fácilmente las presiones y de esta manera se obtiene una limpieza instantánea obteniendo punzados más limpios debido al influjo.

Una de las mayores ventajas de este procedimiento es que te permite perforar grandes intervalos de manera simultánea y además en múltiples zonas, lo que genera un ahorro económico en largos intervalos.

1.4.5.3 Técnica TCP propolente en sobre balance

Es una técnica que utiliza el propolente, un explosivo seguro y estable donde la camisa requiere confinamiento, temperatura y presión para inflamarse. Además debe estar encerrado a una presión hidrostática de 500 psi aproximadamente y tiene que ser ejecutado en sobre balance, es decir la presión hidrostática debe ser mayor a la presión de yacimiento.

Para realizar este procedimiento primero se detona el cañón de manera usual produciendo una explosión de gas a alta presión debido a que la camisa es de un material oxidante. Finalmente el gas entra a la perforación creando fracturas en las zonas dañadas para mejorar la circulación de la formación en los agujeros.

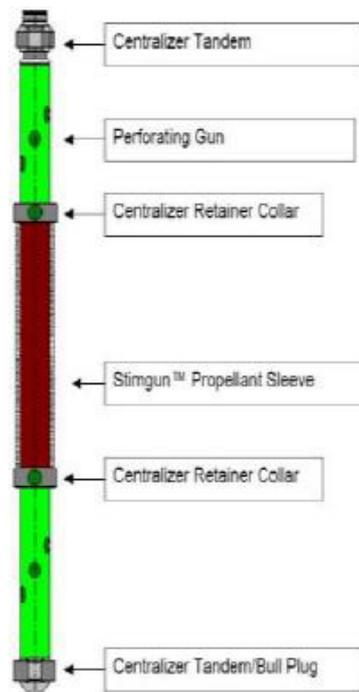


Fig. 1.4.5.3.1 Equipo de técnica TCP Propelente sobre balance

(Nicolas Juarez, 2006)

1.4.6 BHA

El ensamblaje de fondo es la sección de la sarta de perforación que agrupa el conjunto de herramientas entre la mecha y la tubería de perforación. Entre las funciones que está llega a proporcionar son: el peso necesario sobre la mecha para maximizar la tasa de penetración, producir hoyos en calibre, evitar la formación de desviaciones tipo pata de perros además de minimizar vibraciones y pegamentos de la sarta de perforación. Los componentes del BHA que la conforman son acorde a la funcionalidad de la misma, por la que se va a regir bajo un diseño que se acople a los objetivos que se plantea llegar a realizar en el pozo.

1.4.7 Tipos de BHA por su función a desarrollar

El BHA considerado como un anclaje mecánico del cual es diseñado por las funciones que el operador necesite desempeñar en el campo. La configuración puede variar desde un sencillo (DC, DP, broca) hasta ya un conjunto más elaborado de (amortiguadores, broca, rimadores,

estabilizadores, DC de acero, sustitutos extendidos, DP, martillo y HWDP)
Entre otros.

Acorde a la función que van a desempeñar es donde se van a diferenciar ya que cada herramienta en la configuración final del BHA diseñado debe cumplir una función primordial en el desarrollo, por lo general en campo encontramos:

- BHA Perforación
- BHA Limpieza
- BHA de Cañoneo

1.4.8 BHA de perforación

El diseño de este BHA está focalizado en una de las etapas más importantes de un pozo ya que será para la perforación primaria para el desarrollo del pozo en la que el arreglo de fondo del pozo debe proporcionar la fuerza para que la barrena fracture la roca (peso sobre la barrena), sobreviva en un ambiente mecánico hostil y proporcione al perforador el control direccional del pozo.

1.4.8.1 Barra de perforación (Drill Collar)

Es un conjunto de tubos de acero o metal no magnético de espesores significativos, colocados en el fondo de la sarta de perforación, encima de la mecha, lo cual proporciona la rigidez y peso suficiente para producir la carga axial requerida por la mecha para una penetración más efectiva de la formación.



Fig. 1.4.8.1.1 Tipos de barras de perforación

(Fundamentos de la Ingeniería de Petróleo, 1994)

Las funciones de las barras son:

- Proporcionar peso sobre la mecha para la perforación, manteniendo peso en la sección inferior de la sarta para hacer tensión en la misma.
- Soportar y dar rigidez a la parte inferior de la sarta de perforación.
- Servir de apoyo y estabilizador de la mecha para mantener el nuevo hoyo alineado con el hoyo anterior.

1.4.8.2 Tubería pesada (heavy weight)

La tubería pesada constituye el componente intermedio del ensamblaje de fondo. Es un tubular de espesor de pared gruesa, similar a las barras de diámetro pequeño, cuya conexión posee las mismas dimensiones que las de la tubería de perforación para facilitar su manejo, pero es ligeramente más larga. Se conoce también con los nombres de “Heavy Wall Drill Pipe” y “Heavy Weight Drill Pipe”.

La función más importante de la tubería pesada es servir de zona de transición entre las barras y la tubería de perforación, para minimizar los cambios de rigidez entre los componentes de la sarta, con el objeto de reducir las fallas originadas por la concentración de flexión cíclica en la conexión de la tubería de perforación.

1.4.8.3 Estabilizadores

Los estabilizadores como su nombre lo indica, dan firmeza y seguridad al ensamblaje de fondo o sarta de perforación, cuidándola del contacto con las paredes del hoyo y controlando la desviación, tanto en hoyos verticales como direccionales. Además Incrementan la tasa de penetración al propiciar que la dirección de la fuerza resultante sobre la mecha coincida con el eje del hoyo. Además:

- Reducen la fatiga en las conexiones de las barras al reducir el pandeo de la sarta.
- Reduce la pega de la sarta al mantener las barras alejadas de las paredes del hoyo.
- Previene cambios bruscos de ángulo del hoyo al aumentar la rigidez del ensamblaje de fondo.
- Mantienen las barras centradas en el hoyo minimizando la desviación del mismo y obteniéndose hoyos mejor alineados.
- Dentro de los tipos de estabilizadores se encuentran: Estabilizadores de camisa rotatoria, de camisa no rotatoria y escariadores.

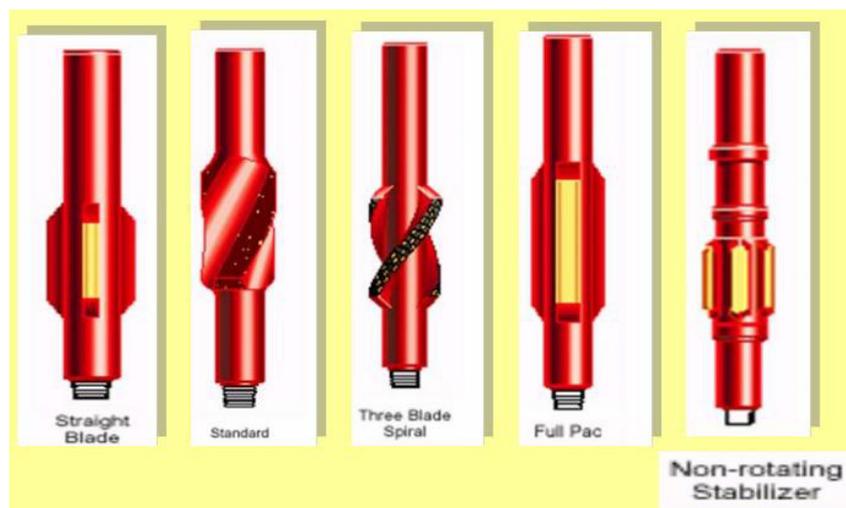


Fig. 1.4.8.3.1 Tipos de estabilizadores

(Fundamentos de la Ingeniería de Petróleo, 1994)

La ubicación de los estabilizadores en el ensamblaje de fondo, depende del desempeño que requiera la sarta en cuanto a trayectoria se refiere.

Esta sección tiene que ver con los tipos básicos de sartas para modificación del curso o mantenimiento del mismo.

Estas sartas son de construcción, de mantenimiento y de caída angular; el diseño de estas sartas no tiene muchas reglas de tipo general, ya que el comportamiento de ellas depende de la dureza de la formación, de la tendencia desviadora del hoyo, del tamaño relativo hoyo-ensamblaje y de la distribución de los estabilizadores en el ensamblaje de fondo.

1.4.8.4 Accesorios

Además de los componentes básicos del BHA, constituidos por las barras, la tubería pesada y los estabilizadores, se emplean algunos accesorios que son fundamentales para lograr el éxito en las operaciones de perforación, los cuales son mostrados en la siguiente tabla:

Accesorios	Función	Posición
Amortiguador	Minimizar la vibración de la sarta	Encima de la broca
Martillo	Proporcionar energía de impacto en las sartas atascadas	Intercalado en la tubería pesada en tensión
Acelerador	Incrementar la energía del martillo	Una junta por encima del martillo
Motores	Suministrar rotación de fondo	Sobre la broca
Herramientas de Medición	Medir los parámetros de fondo en tiempo real	Encima de broca y/o amortiguador o el motor

Tabla 1.1.4.8.4.1 Tabla de Accesorios para un BHA de perforación

1.4.9 BHA de limpieza

El BHA de limpieza se va a desarrollar su uso principalmente en las operaciones de reacondicionamiento, claro está sin dejar de lado que su uso en la perforación primaria también es de vital importancia ya que pueden existir imprevistos como un pescado en la operación, la cual se necesite una configuración de limpieza en el pozo, por lo tanto los operadores deben tomar decisiones críticas en materia de diseño y resultados a obtener, ya que los costos del análisis de riesgos se consideran sobre una base determinada por minuto en vez de una base diaria. Entre los objetivos está la eliminación de detritos y escombros (fragmentos metálicos y arenas, que pueden taponar las camisas de producción). Las herramientas de mayor uso para operaciones de este tipo son:

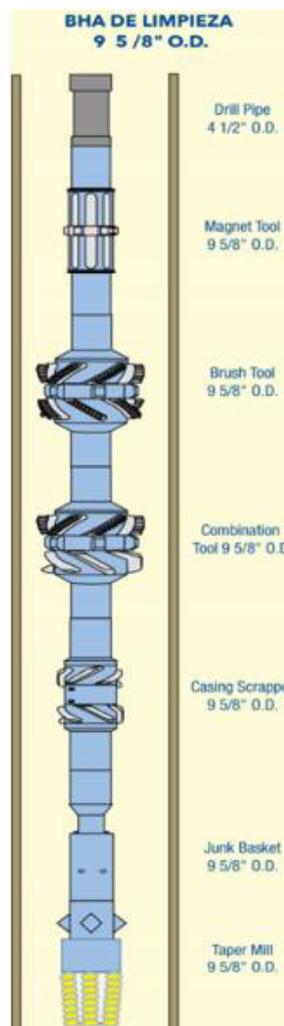


Fig. 1.4.8.4.1 BHA Limpieza

(Marsertre CIA. LTDA.)

1.4.9.1 Taper mill

Los Taper mill son utilizados para moler o limar tubería dañada que está en estado de pescado. La herramienta es fabricada sobre una aleación especial de acero de larga duración, abrasión y dureza. Sus múltiples formas en diferentes esquemas punteada la hacen muy versátil para la pesca. También para abrir ventanas en el casing cuando se desea.



Fig. 1.4.9.1.1 Taper Mill en sus múltiples formas

(Fundamentos de la Ingeniería de Petróleo, 1994)

1.4.9.2 Junk snatcher

El Junk Snatcher es una herramienta de limpieza de pozo, generalmente de arena y relleno, destinado a reducir el tiempo total en una operación de limpieza en pozo. Es posible limpiar decenas de metros de relleno depositado, sin el uso de bomba de superficie, en una sola maniobra.



Fig. 1.4.9.2.1 Junk snatcher

(Christensen Roder, 2018)

1.4.9.3 Boot basket

El Boot Basket es una herramienta de limpieza del pozo, sirve para atrapar las partículas que son muy grandes para salir del pozo y vuelven a caer durante una operación de perforación o limpieza, dispone de varias longitudes además que se puede usar durante el fresado.

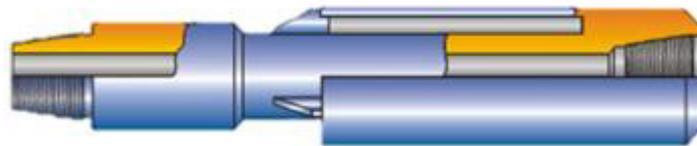


Fig. 1.4.9.3.1 Boot basket

(Christensen Roder, 2018)

1.4.9.4 Raspadores de casing (scraper)

El Scraper es una herramienta de limpieza del pozo, utilizada en Workover para remover obstrucciones de las paredes internas del casing, con la ayuda del scraper se calibra para antes de bajar los empaques. Generalmente se corre con una caja hacia abajo y si se desea debajo de esta se coloca una

broca además la herramienta permite trabajarlo en dos formas en rotación o de manera reciprocante.



Fig. 1.4.9.4.1 Raspadores de casing (scraper) (Nicolas Juarez, 2006)

1.4.9.5 X- Over

El X-Over es una herramienta para operaciones de Workover en la cual trabaja bajo la función de unión para la habilitación de herramientas más importantes que se necesitan para operaciones de usas para trabajos con broca o sarta combinada.

Se puede apreciar que su diseño de una acero reforzado en la que presenta una conexión se box en un extremo y pin en el otro, los utilizados generalmente para cambiar el tipo de rosca o de conexión.



Pin 3 1/2" EUE – Box 5 1/2" LTC
Pin 2" NTP – Box 3 1/2" regular
Pin 2" NTP – Box 4 1/2" EUE
Pin 3 1/2" IF – Box 3 1/2" XH

Fig. 1.4.9.5.1 X- Over (Nicolas Juarez, 2006)

1.4.10 BHA de cañoneo

Este sistema de BHA de cañoneo es utilizado con una unidad de cable eléctrico, así mismo también se puede realizar con TCP aunque los costos de esta última son más elevados. El equipo necesario para realizar el cañoneo los portadores de carga jet son los dispositivos más usados para lograr este propósito. El cañoneo debe ser realizado en condiciones de sobre-balance hacia la formación, esto se hace con el fin de evitar el soplado de los cañones hacia arriba, altas presiones en el espacio anular y en la superficie.



Fig. 1.4.9.5.1 BHA de cañoneo (Cristian C. Alarcón, 2012)

1.4.10.1 Cabeza mecánica de cañones

Es un sistema de disparo que consiste de una colección de cargas explosivas, cordón detonante, estopín y porta cargas. Esta es una cadena explosiva que contiene una serie de componentes de tamaño y sensibilidad diferente, así mismo la configuración también es regido por secciones separadas por Safety Spacer que son cañones sin carga que permite separar los cañones de la cabeza de disparo y puede ser bajado con cable y/o con tubería.

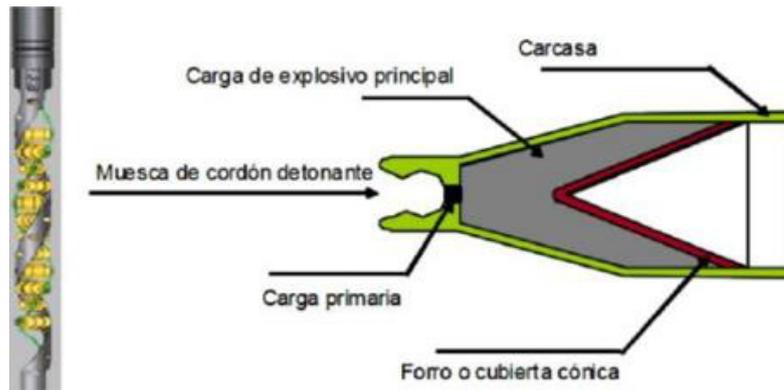


Fig. 1.4.10.1.1 Cabeza mecánica de cañones

(Paola Wilches, 2012)

Capítulo 2

2. METODOLOGÍA

El presente proyecto titulado “Reducción de Costos en Operaciones de Reacondicionamiento de Pozos por medio de la técnica Clean & Perf en el campo Palo Azul” se basó en el análisis descriptivo y estadístico del método antes mencionado del cual se demostró la utilidad de la misma con la ayuda de la selección de pozos candidatos, es decir cuando es posible aprovechar la aplicación dicha técnica y que beneficios económicos se obtienen.

Se adquirió el historial de los workover de los periodos (2015, 2016, 2017 y 2018) realizados en el campo Palo Azul para seleccionar los posibles pozos candidatos, donde se ejecutaron trabajos con BHA de limpieza y a su vez se efectuaron cañoneos, para posteriormente analizar si cumplían con las condiciones necesarias para aplicar la técnica Clean & Perf. Finalmente se analizaron los pozos seleccionados comparando los tiempos de operaciones y se estimó el ahorro económico que se hubiera logrado con la aplicación de la técnica de Clean & Perf.

La implementación y uso de nuevas técnicas que revolucionan la industria son de un alto interés, aunque generan una gran incertidumbre ya que lo que pudo haber sido útil y de provecho a otro campo en otra región no necesariamente es igual para todos los campos, por lo que no es una receta por tal motivo se tienen que considerar todas sus variantes, es decir de las características propias que posee cada campo.

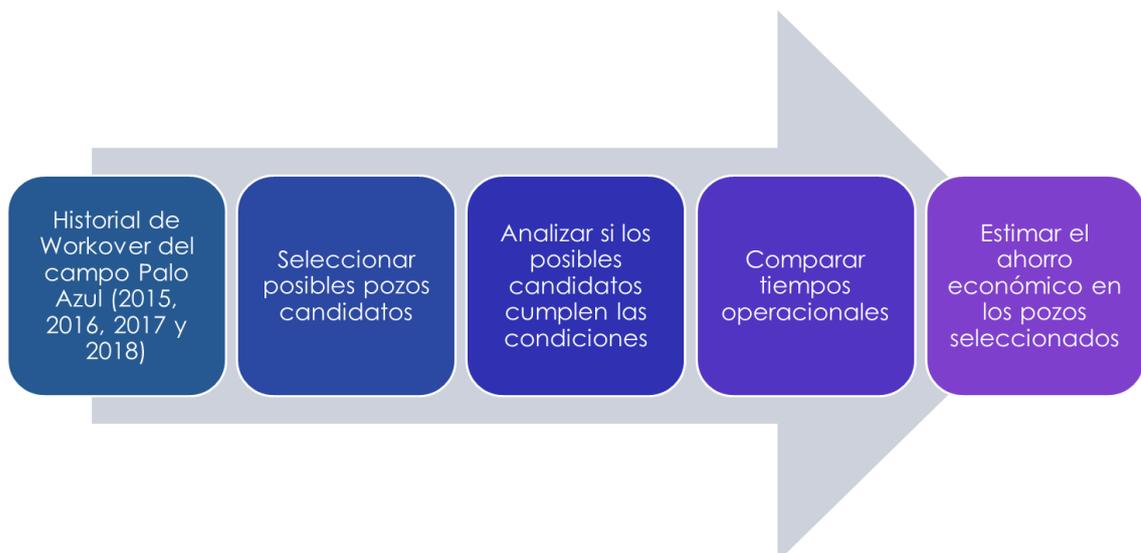


Fig. 1.4.10.1.1 Organigrama del Plan de desarrollo

2.1 Estrategia de desarrollo

La innovación y la aplicabilidad de nuevas técnicas generan al sector petrolero un impulso al avance en la optimización de funciones haciendo posible que las estrategias para el desarrollo del campo sean más eficientes, para dicho proyecto se realizara un análisis descriptivo de los pozos (PLAB-005, PLAC-046 y PLAD-024) de los cuales serán analizados los avances que han obtenido y si realmente fue acertado la intervención con esta nueva técnica en el campo Palo Azul y estadísticamente tomaremos una muestra de los últimos 4 años para obtener los posibles pozos candidatos, donde se ejecutaron trabajos con BHA de limpieza y a su vez se efectuaron cañoneos, para posteriormente analizar si se cumplían con las condiciones necesarias para aplicar la técnica Clean & Perf, comparando los tiempos de operaciones y estimar el ahorro económico que se hubiera logrado con la aplicación de este método.

2.2 Ventajas y desventajas de la técnica clean & perf

Ventajas

- Ahorro de tiempo en una sola corrida
- Ahorro económico en las operaciones de reacondicionamiento
- Mayor seguridad y control continuo del pozo al momento de cañonear.
- Desarrollo de reacondicionamiento de pozos más óptimos, para el campo manteniendo la dualidad (limpieza y cañoneo) sin generar gastos excedentes.

Desventajas

- Generación de limitada recirculación por la migración de finos, si la técnica se aplica en bajo balance.
- Se puede generar decantaciones de sólidos creando una obstrucción en el sistema de accionar de los disparos.
- La técnica es limitada para pozos de los cuales tengan arenas limpias, esto quiere decir que el pozo no tenga un alto índice de migración de sólidos.

2.3 Selección de pozos candidatos para la técnica de clean & perf

Hoy en día se utilizan métodos más seguros y eficaces para realizar un correcto reacondicionamiento, así sea de cualquier índole que exija el pozo para mejorar su producción. Clean & Perf logra la respectiva limpieza y cañoneo de los pozos con el diseño pertinente propio de la técnica, así mismo los pozos candidatos se registrarán por ciertas características que permitan que los objetivos planteados inicialmente se cumplan. Se debe considerar los siguientes parámetros: la arena productora no permita una alta migración de finos (arenas no consolidadas), que cuente con una zona amplia que permita la bajada de la configuración de la técnica, acorde al diseño inicial del pozo este tenga un bolsillo (Es la profundidad desde el TVD hasta la arena productora) y aunque no es un limitante se puede considerar que el runlife promedio esté por encima de los mil días.

2.4 Análisis geológico de la arena hollín

Se procede a realizar estudios de registros para conocer las condiciones de la Arena, con el registro Gamma Ray al mostrar la radioactividad de la formación; cantidad de lutitas, roca impermeable que no permite el paso del fluido; registro densidad y neutrón, tipo de roca y con estos registros se obtiene la zona pago del intervalo seleccionado; la permeabilidad absoluta, a mayor permeabilidad mayor transporte será del fluido; saturación de agua, se debe considerar que el intervalo seleccionado sea 100% saturada de agua de formación; porosidad de la formación; y la resistividad, a menor resistividad se tiene presencia de agua. Los datos que se van a considerar para el análisis de cada pozo candidato será el volumen de lutitas, porosidad, permeabilidad absoluta y saturación de agua efectiva.

COMPANY:		PETROAMAZONAS	
WELL:		PLAB-005	
FIELD:		PAA	
INFORMATION FOR PERFPRO-PULSFRAC ANALYSIS			
ÍTEM	DESCRIPTION	VALUE	UNITS
1	Formation Name:	HOLLÍN	
2	Lithology (Sandstone, Carbonate, Shale):	SANDSTONE	
3	Formation pressure (BHP):	3500	psia
4	Formation Temperature (BHT):	227	F
5	Porosity:	10.6%	%
6	Permeability:	45	mD
7	Skin (Dmg Zone Thickness, K/Kd)		
8	Reservoir Drainage Radius	820	ft
9	API Gravity of fluid:	25.5	API
10	Viscosity	1.45	cP
11	Volume Factor	1.276	
12	Produccion estimada esperada	1700	bbbls/dia
13	Pwf estimada	1500	psi
14	GOR	1700	PCS/BN
15	BSW	92%	%

Informacion adicional requerida		Intervals to be perforated:	
* Diagrama de Pozo		FROM	TO
* Survey del pozo		10529	10547
* Registro de Cemento (PDF)			
* Registros de Open Hole (LAS)/Evaluación Petrofísica			
* Historial de producción			
* Historial de reacondicionamientos			

Fig. 1.4.10.1.1 Muestra de un análisis geológico de perforados en el pozo Plab-005 (PETROAMAZONAS, 2010-2018)

2.5 Runlife promedio del campo Palo Azul

El Runlife (tiempo de vida) es aquel periodo de tiempo establecido bajo estudios y proyecciones a futuro del campo, del cual se podría mantener en operaciones regulares cabe destacar que este es variante y dependerá de las condiciones del mismo. Para el campo Palo Azul su Runlife promedio acorde a sus propios estudios de todos los pozos presentes en dicho campo es de 595 días, como dicho anteriormente es un estimado bajo las condiciones actuales del mes de diciembre del 2018.

POZO FIELD	PRODUCCIÓN					PRESIÓN CABEZA (PSI)	PIP (PSI)	FECHA ARRANQUE EQUIPO	RUN LIFE
	BSW	BAPD	BPPD	API	GOR				
PATA-006BT	53%	202	179	19,9	50	83	454	01-ene-18	364
PLAA-016H	98%	2178	44	26,8	4077	98	970	21-jul-18	163
PLAA-030BT	40%	37	55	20,1	3203	104	429	09-dic-14	1483
PLAB-002H	96%	2551	106	23,5	1512	186	1832	25-mar-18	281
PLAB-003H	95%	3503	184	26,0	806	130	1686	29-mar-14	1738
PLAB-005H				25,5				29-ene-18	283
PLAB-006S1H	86%	249	41	27,0	559	115	470	16-ene-18	349
PLAB-008H	90%	1151	128	25,6	1587	103	1565	28-mar-18	278
PLAB-009H	94%	3656	233	25,9	1294	108	1455	22-nov-18	39
PLAB-010S1H	92%	885	77	26,0	882	102	1285	28-sep-15	1190
PLAB-036HS1H	95%	2456	129	25,8	862	121	1185	08-ago-18	145
PLAC-004H	76%	964	304	26,0	67	81	539	17-dic-17	379
PLAC-013S1H	93%	1261	95	27,6	584	100	872	08-jun-14	1667
PLAC-017H	97%	2122	66	27,0	380	184	2182	02-feb-15	1428
PLAC-038H	94%	1739	111	28,2	939	120	1396	17-ago-14	1537
PLAC-039H	93%	3845	289	26,6	960	281	1457	27-jun-18	187
PLAC-040H	71%	660	269	26,5	81	97	1185	04-abr-18	271
PLAC-046H	93%	5042	380	28,1	1190	136	2164	06-mar-18	300
PLAD-012H	96%	2088	87	26,0	2219	96	1987	05-ene-18	360
PLAD-015H	97%	4835	150	25,0	3325	140	2017	14-oct-16	808
PLAD-019H								29-nov-17	256
PLAD-023H	91%	1307	129	27,4	747	110	648	23-jul-16	891
PLAD-024H	91%	1634	162	26,5	1426	165	411	06-feb-18	328
PLAD-028HH	90%	1786	209	26,9	1335	135	1438	02-oct-14	1551
PLAD-032H	92%	1652	144	26,5	2281	137	888	10-jul-18	174
PLAD-033H	92%	4962	431	26,8	1914	151	1917	25-sep-18	97
PLAD-034HH	97%	4472	138	27,0	4495	138	2264	02-may-15	1339
PLAD-042AH	93%	1742	131	26,8	1808	101	1043 / 413	17-jul-16	897
PLAD-044H	97%	3319	103	25,8	4397	127	1797	12-ago-18	141
PLAN-029H	74%	457	161	25,2	799	164	450	14-feb-18	320
PLAN-049HS1H	94%	354	23	25,7	1489	152	920	25-dic-18	6
PLAN-050	3%	5	165	28,0	87	182	421	31-jul-16	883
PLAN-051HBT	1%	5	491	25,8	93	218	620	01-oct-18	91
PLAN-052REH	3%	12	391	26,4	60	215	549	10-dic-16	751
PLAN-053R1H	0,5%	3	549	24,9	81	158	505	04-ago-18	149
PLAN-054H	32%	105	223	25,3	96	247	537	02-mar-17	669
PLAN-055BT	3%	4	114	23,9	101	191	220	27-nov-18	34
PLAN-056H	52%	134	123	24,4	28	252	993	14-dic-15	1113
PLAN-057BT	1,6%	3	190	28,0	116	336	220	05-jun-15	1305
PLAN-057H								05-jun-15	556
PLAN-058H	73%	533	197	23,9	516	153	914	28-oct-18	64
PLAN-059H	3%	9	275	27,7	122	336	724	14-nov-18	47
TOTAL PRODUCCION:			7278					RL PROMEDIO	595

Fig. 1.4.10.1.1 Runlife promedio de los pozos en el campo Palo Azul

(PETROAMAZONAS, 2010-2018)

2.6 Sin problemas de integridad mecánica

El pozo seleccionado puesto a reacondicionamiento no debe presentar problemas en la bajada del BHA ya que se debe considerar el estado mecánico del pozo, profundidad del zapato guía, tamaño del drift donde se va a bajar la configuración de Clean & Perf, subsiguiente a las operaciones se tiene que precautelar la integridad de los sistemas de disparos ya que se puede en operaciones generar decantaciones de sólidos y taponar el accionar de los

disparos. Bajo la experiencia en el campo Palo Azul el tipo de cañoneo es con el sistema TCP Bajo-balance.

2.7 Metodología en operaciones de bajo balance

En operaciones de Clean & Perf se puede ejecutar la técnica tanto en sobre balance como en bajo balance, siendo esta última la más óptima para el campo Palo Azul. El paso más importante al efectuar un cañoneo el diferencial de presión es el mínimo para de esta manera crear una perforación limpia y con el menor daño sin remover la zona compacta alrededor del túnel creado, así mismo aseguraremos la máxima productividad del pozo.

Determinación del diferencial de Presión a través de las perforaciones durante el cañoneo.

$$\Delta P_{min} * < \Delta P_{ope} < \Delta P_{max}$$

*$\Delta P_{min} *$ = El diferencial de presión mínimo en operaciones, se utiliza el mayor valor de ΔP_{min} .*

ΔP_{ope} = El diferencial de operaciones.

ΔP_{max} = El diferencial de presión donde ocurre desconsolidación de la matriz.

Cálculo de la máxima densidad del fluido en tubería

$$\Delta P_{ope} = P_{yac} - P_f \quad (2.1)$$

Tipos de yacimiento según su presión de reservorio.

Alta Presión de Yacimiento

$$P_f = P_H \quad (2.2)$$

$$PH = \rho_f * TVD_{int} \quad (2.3)$$

ρ_f = densidad del fluido en tubería

TVD_{int} = Profundidad vertical real interna

Baja Presión de Yacimiento

$$P_f = PH \quad (2.4)$$

$$PH = \rho_f * H \quad (2.5)$$

ρ_f = densidad del fluido en tubería

H = Altura de la columna del fluido

2.8 Ventajas y Desventajas del sistema TCP bajo- balance

2.8.1 Ventajas del sistema TCP bajo-balance

Las principales ventajas de esta técnica son las siguientes:

- El pozo puede ser perforado con un gran diámetro, gran funcionamiento, alta densidad de disparo en el casing con la presión de pozo inferior a la presión de formación (condición de bajo-balance) permitiendo una limpieza instantánea de las perforaciones.
- El cabezal de pozo está en el sitio y el packer es asentado antes de que los cañones sean disparados.
- Grandes intervalos pueden ser perforados simultáneamente en un mismo viaje dentro del pozo.

- Pozos horizontales y desviados pueden ser perforados empujando los cañones dentro del pozo.

2.8.2 Desventajas del sistema TCP bajo-balance

Las principales limitaciones de esta técnica son las siguientes:

- A menos que todos los cañones sean retirados del pozo es difícil confirmar si todos los cañones fueron disparados. Un sistema de detección de la efectividad de los disparos superara esta limitación.
- Los explosivos se degradan cuando están expuestos a elevadas temperaturas, reduciendo el desempeño de las cargas. Toma mucho tiempo correr la sarta de TCP en el pozo comparado con hacer la corrida mediante Wireline. Para compensar esto, en algunos casos explosivos menos poderosos deben ser usados en operaciones con TCP. Sin embargo, en nuestro medio esto no es cierto ya que debido a las temperaturas de fondo de alrededor de los 200°F, Wireline usa explosivos RDX debido a que su tiempo de operación es bajo, es un explosivo más barato; en el caso de TCP se usan explosivos HMX que resisten muy bien los 200°F por muchísimo tiempo sin degradarse pero que en comparación con los RDX tienen mayor poder de explosión y por tanto cargas de este material tienen una penetración mucho mayor.
- Las opciones de perforación con TCP son limitadas. En algunos casos no es económico realizar perforaciones con la técnica TCP.
- El posicionamiento preciso a profundidad de la sarta de cañones es más difícil en tiempo y consumo que el posicionamiento a profundidad mediante

Wireline. Aunque esto depende ya que usualmente los cañones con Wireline se los posiciona usando CCL solamente que es la ubicación de profundidad por medio de los collares del casing, pero con TCP la determinación de la profundidad se hace con GR lo cual es mucho más seguro y preciso.

2.8.3 Guía para la obtención de un bajo-balance óptimo

Experiencia de campo ha sugerido que las perforaciones realizadas en condiciones de bajo-balance (presión del pozo inferior a la presión de formación) es un método efectivo para crear aberturas y perforaciones con el menor daño posible. La selección de la presión de bajo-balance deber ser suficiente para expulsar los residuos o escombros en el interior de las perforaciones, para mejorar la productividad y al mismo tiempo evitar fallas mecánicas de la formación.

PERMEABILIDAD	BAJOBALANCE REQUERIDO (PSI)	
	PETROLEO	GAS
> 100 md	200-500	1000-2000
< 100 md	1000-2000	2000-5000

Tabla 2.8.3.1 Tabla de bajo balance óptimo según Bell

(Fundamentos de la Ingeniería de Petróleo, 1994)

2.9 Técnica de clean & perf pozos favorecidos

POZO	W. O. Nro.	OBJETIVO	TIPO DE TRABAJO	ANALISIS DE POZOS
PLAB-005	09	PULLING BES POR POSIBLE COMUNICACIÓN TUBING-CASING. REDISPARAR EL INTERVALO DE 10529'-10547'.	PULLING BES + DISPAROS/REDISPAROS	DEACUERDO AL HISTORIAL DE PRODUCCIÓN PRESENTA ZONA AMPLIA PARA BAJAR BHA DE LIMPIEZA Y BOLSILLO PARA LA LIMPIEZA CON CIRCULACION, INTERVALOS DE ZONA DE PRODUCCIÓN 18 FT. POZO CANDIDATO
PLAD-024	08	PULLING DE EQUIPO BES. REDISPARAR EL INTERVALO DE 10686 FT – 10704 FT	PULLING BES + DISPAROS/REDISPAROS	DEACUERDO AL HISTORIAL DE PRODUCCIÓN PRESENTA ZONA AMPLIA PARA BAJAR BHA DE LIMPIEZA Y BOLSILLO PARA LA LIMPIEZA CON CIRCULACION, INTERVALOS DE ZONA DE PRODUCCIÓN 18 FT. POZO CANDIDATO
PLAD-032	03	PRINCIPAL: PULLING BES ALT # 01: REDISPAROS INTERVALOS: 10434 ft -10440 ft & 10453ft - 10467 ft Y DISPAROS 10440ft - 10447 ft CON CAÑONES DE ALTA PENETRACIÓN. BAJAR EQUIPO BES	PULLING BES + DISPAROS/REDISPAROS	PRESENTA UNA ZONA DE INTERES MAYOR INTERCALADA DE INTERVALOS PRODUCTORES DEBIDO A LA CORRELACION Y BAJO BALANCE A EMPLEARSE EL POZO NO PRESENTA SER CANDIDATO
PLAC-046	03	PRINCIPAL: PULLING EQUIPO BES. ALT # 01: LIMPIEZA DE LOS PUNZADOS 10592' - 10600' (8'); 10603' - 10611' (8') & 10631' - 10638' (7') CON CAMARAS AL VACÍO	PULLING BES + DISPAROS/REDISPAROS	DEACUERDO AL HISTORIAL DE PRODUCCIÓN PRESENTA ZONA AMPLIA PARA BAJAR BHA DE LIMPIEZA Y BOLSILLO PARA LA LIMPIEZA CON CIRCULACION, INTERVALOS DE ZONA DE PRODUCCIÓN 23 FT. POZO CANDIDATO
PLAB-008	10	PULLING BES Y LIMPIEZA A LOS PUNZADOS EN EL INTERVALO: 10462' – 10490' (28') CON CÁMARAS AL VACÍO.	PULLING BES + DISPAROS/REDISPAROS	DEACUERDO AL HISTORIAL DE PRODUCCIÓN PRESENTA ZONA AMPLIA PARA BAJAR BHA DE LIMPIEZA Y NO EXISTE BOLSILLO PARA LA LIMPIEZA CON CIRCULACION, INTERVALOS DE ZONA DE PRODUCCIÓN 28 FT. POZO NO CANDIDATO
PLAC-040	08	RECUPERAR EQUIPO BES. DISPARAR ZONA PRODUCTORA DE HOLLÍN 10862 FT - 10867 FT (5 FT) Y RE DISPARAR 10867 FT A 10875 FT (8 FT). BAJAR EQUIPO BES.	PULLING BES + DISPAROS/REDISPAROS	DEACUERDO AL HISTORIAL DE PRODUCCIÓN PRESENTA ZONA AMPLIA PARA BAJAR BHA DE LIMPIEZA Y NO EXISTE BOLSILLO PARA LA LIMPIEZA CON CIRCULACION, INTERVALOS DE ZONA DE PRODUCCIÓN 13 FT. POZO NO CANDIDATO
PLAC-039	08	RECUPERAR EQUIPO BES. DISPARAR ZONA PRODUCTORA DE HOLLÍN 10365 FT - 10384 FT (19 FT) Y RE DISPARAR 10389 FT A 10414 FT (25 FT) CON CÁMARAS AL VACÍO. BAJAR EQUIPO BES.	PULLING BES + DISPAROS	PRESENTA UNA ZONA DE INTERES MAYOR INTERCALADA DE INTERVALOS PRODUCTORES DEBIDO A LA CORRELACION Y BAJO BALANCE A EMPLEARSE EL POZO NO PRESENTA SER CANDIDATO

Tabla 2.8.3.1 Tabla de Pozos bajo el Clean & Perf (PETROAMAZONAS, 2010-2018)

Capítulo 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Análisis de pozos con un workover de clean & perf

En el presente estudio se tomaron en consideración los pozos (PLAB-005, PLAC-046 y PLAD-024), de los cuales se analizó ciertos parámetros que los hicieron óptimos para el desarrollo de la técnica antes mencionada.

3.2 Pozo PLAB-005

Técnica empleada: Clean & Perf, 4 ½" Guns with PJ RDX 4505 @ 5 SPF + PURE con circulación.

3.2.1 Migración de finos

En las pruebas establecidas en la salida de la bomba se realizó los diligentes estudios de sólidos en suspensión para la determinación de la migración de finos en la formación para el pozo PLAB-005.



Fig. 3.2.1.1 Extracción de sólidos y residuos como escala del equipo de fondo

(PETROAMAZONAS, 2010-2018)

3.2.2 Muestra gráfica de sólidos

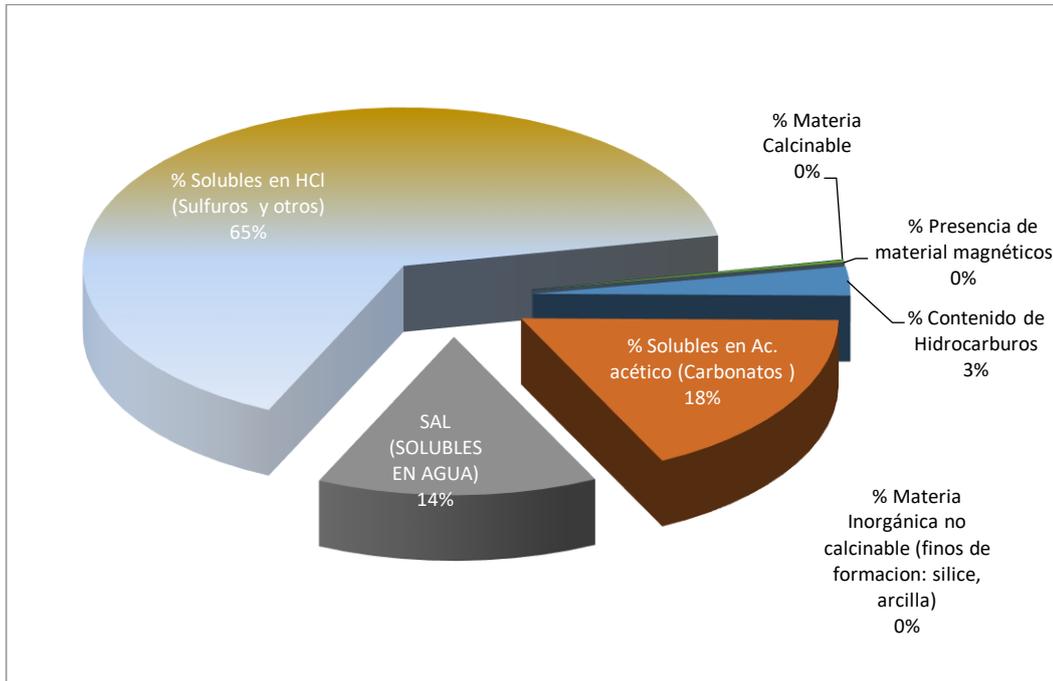


Fig. 3.2.2.1 Sólidos encontrados en la muestra del Pulling PLAB-005

(Franco, V. & Balón, R. (2019))

3.2.3 Análisis

La muestra extraída corresponde a sulfuros minerales (65%), con precipitaciones de sales de ClNa a un (14%).

En carbonatos llega al 18% como producto de cristalización localizada (altas temperaturas), no se evidencia material magnético y los finos de formación son despreciables con un (<1%).

Acorde a la ausencia de los finos de formación hacen al pozo un candidato para la técnica de Clean & Perf.

3.2.4 Histórico de producción

De acuerdo al historial de producción presenta zona amplia para bajar BHA de limpieza y bolsillo para la limpieza con circulación, intervalos de zona de producción 18FT. Pozo candidato.

3.3 Pozo PLAC-046

Técnica empleada: Clean & Perf, 4 ½" Guns with P3 (Post Perforating PURE) con bajo balance.

3.3.1 Migración de finos

En las pruebas establecidas en la salida de la bomba se realizó los diligentes estudios de sólidos en suspensión para la determinación de la migración de finos en la formación para el pozo PLAB-046.

3.3.2 Muestra gráfica de sólidos

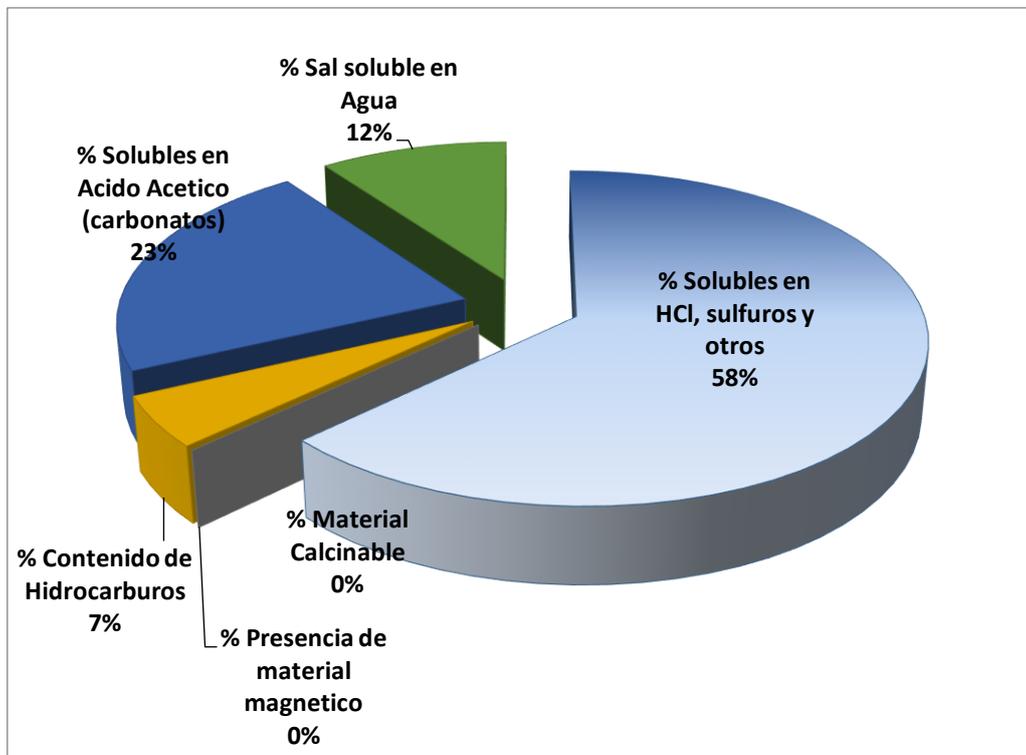


Fig. 3.3.2.1 Sólidos encontrados en la muestra del Pulling PLAB-046

(Franco, V. & Balón, R. (2019))

3.3.3 Análisis

La muestra extraída corresponde a sulfuros minerales (58%), con precipitaciones de sales de ClNa a un (12%).

En carbonatos llega al 23% como producto de cristalización localizada (altas temperaturas), no se evidencia material magnético y los finos de formación son despreciables con un (<1%).

Acorde a la ausencia de los finos de formación hacen al pozo un candidato para la técnica de Clean &Perf.

3.3.4 Histórico de producción

De acuerdo al historial de producción presenta zona amplia para bajar BHA de limpieza y bolsillo para la limpieza con circulación, intervalos de zona de producción 18FT. Pozo candidato.

3.4 Pozo PLAD-024

Técnica empleada: Clean & Perf, 4 ½" Guns with P3 (Post Perforating PURE) con bajo balance.

3.4.1 Migración de finos

En las pruebas establecidas en la salida de la bomba se realizó los diligentes estudios de sólidos en suspensión para la determinación de la migración de finos en la formación para el pozo PLAB-024.

3.4.2 Muestra gráfica de sólidos

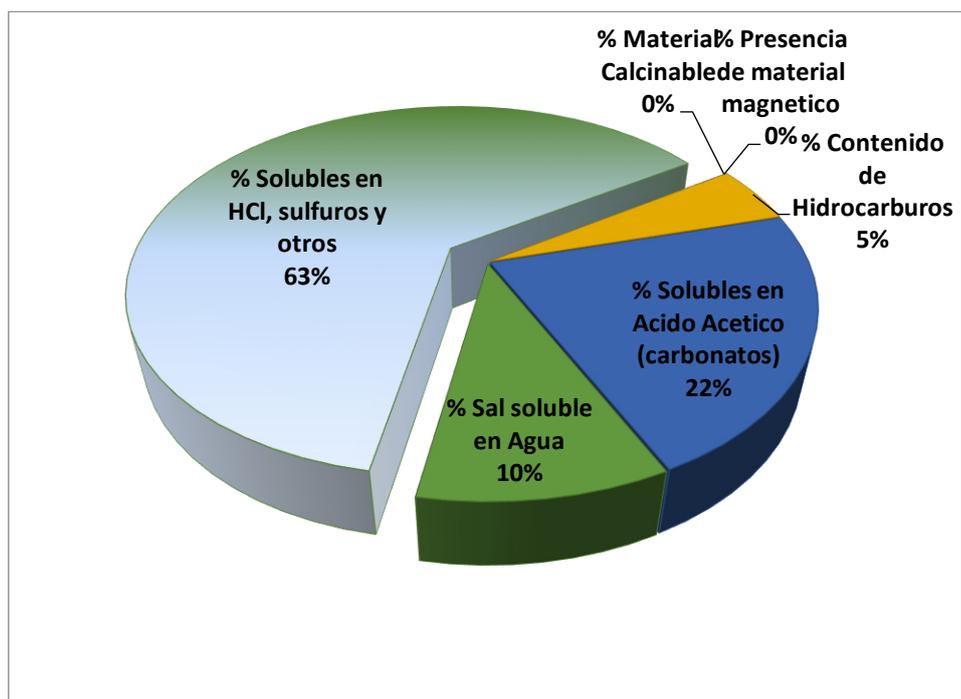


Fig. 3.4.2.1 Sólidos encontrados en la muestra del Pulling PLAB-046

(Franco, V. & Balón, R. (2019))

3.4.3 Análisis

La muestra extraída corresponde a sulfuros minerales (65%), con precipitaciones de sales de ClNa a un (10%).

En carbonatos llega al 22% como producto de cristalización localizada (altas temperaturas), no se evidencia material magnético y los finos de formación son despreciables con un (<1%).

Acorde a la ausencia de los finos de formación hacen al pozo un candidato para la técnica de Clean & Perf.

3.4.4 Histórico de producción

De acuerdo al historial de producción presenta zona amplia para bajar BHA de limpieza y bolsillo para la limpieza con circulación, intervalos de zona de producción 23 FT. Pozo candidato.

3.4.5 Evaluación petrofísica

De ser necesaria con el uso de perfiles de pozos la evaluación petrofísica de Hollín del pozo PA-005 se obtienen los siguientes parámetros promedios, de los cuales se considera como un requerimiento necesario para la técnica que el espesor del reservorio sea considerable (Espesor de reservorio amplio) como observamos en la gráfica.

- Porosidad: 14.6 %
- Saturación de agua: 14,5 %
- Espesor total reservorio: 246 pies
- Espesor neto: 65 pies

En la Figura se muestra la evaluación petrofísica del pozo PA-05:

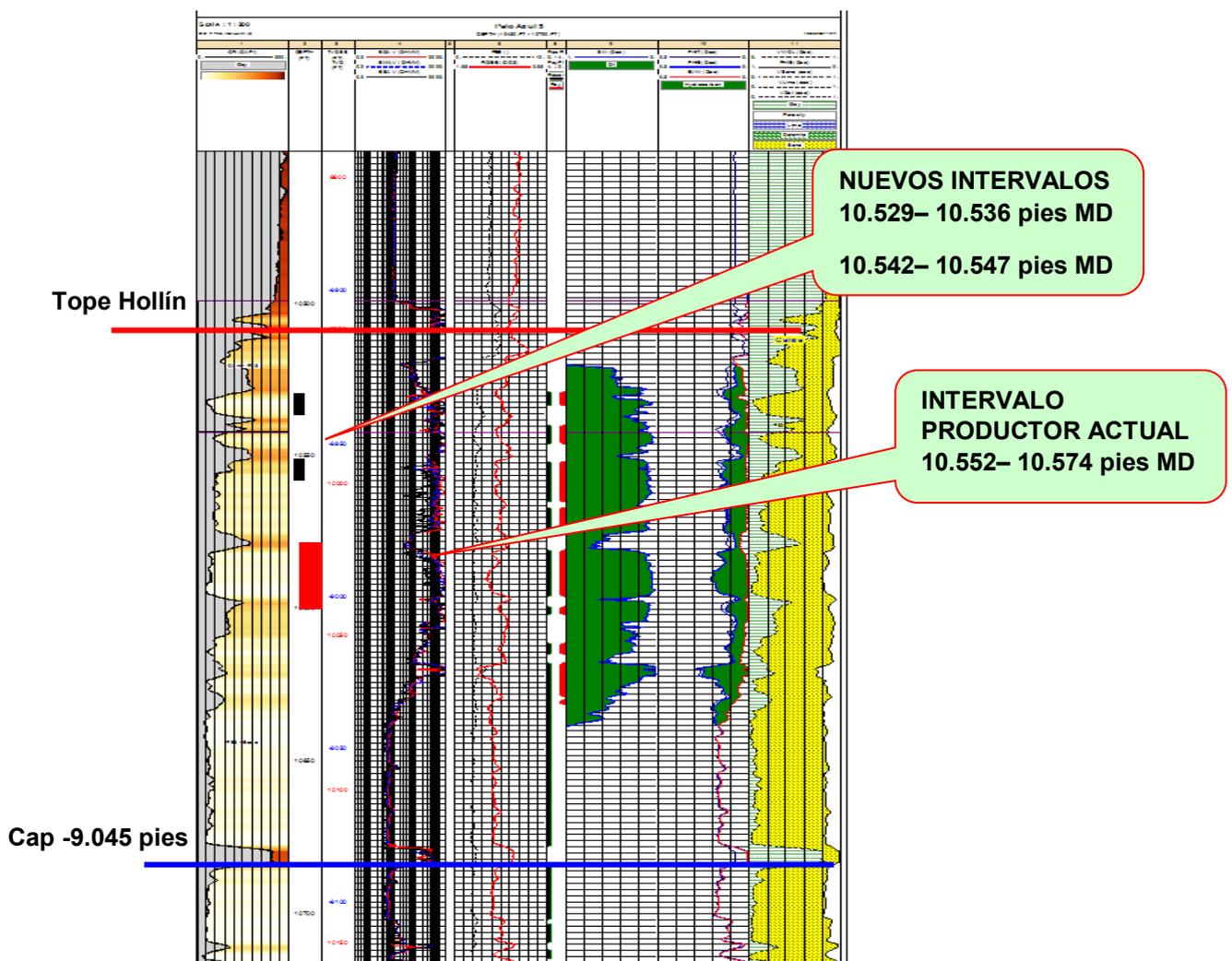


Fig. 3.4.5.1 Evaluación Petrofísica del Pozo PA-05 (PETROAMAZONAS. 2010-2018)

3.5 Condiciones al aplicar clean & perf

3.5.1 Condiciones necesarias para aplicar la técnica clean & perf

- Durante la extracción del equipo BES, el mismo se encuentre impregnado de sólidos y residuos como escala o asfáltenos.
- Cuando el índice de productividad haya caído debido al taponamiento de los punzados.
- Durante el análisis de los registros históricos, es decir si cada vez que se realiza un workover a un pozo, el mismo presenta escala reduciendo el diámetro de la tubería.
- Es necesario realizar una limpieza en los pozos que tengan un runlife de más de 1000 días, para evitar cualquier suciedad que se pudo generar durante ese periodo de tiempo.
- No se pueden elegir los intervalos en zonas bien apretadas.
- La técnica se desarrolla de forma más eficaz en una arena bien limpia.

3.5.2 Condiciones mecánicas para aplicar la técnica clean & perf

- Es imprescindible que exista un bolsillo con una profundidad de 60 pies a 90 pies como máximo para bajar el BES para lograr el disparo correcto.
- Es posible colocar muchas herramientas como magnetos, scraper, cepillos, canasta pero sin exceder la profundidad del bolsillo.
- La broca debe poseer un peso de 2 klbs a 4 klbs para evitar el pandeo de la tubería.

3.6 Actividades de limpieza y cañoneo del Campo Palo Azul en el período (2015-2018)

	Pozos	2015		Candidato	2016		Candidato	2017		Candidato	2018		Candidato
		L	C		L	C		L	C		L	C	
PAD A	PLAA-001	•						•					
	PLAA-003I												
	PLAA-016				•						•	•	•
	PLAA-018												
	PLAA-027												
	PLAA-030												
	PLAA-035												
PAD B	PLAB-002										•		
	PLAB-003												
	PLAB-005										•	•	•
	PLAB-006							•	•	•			
	PLAB-008												
	PLAB-009	•									•		
	PLAB-010	•	•	•									
	PLAB-021	•			•	•	•						
	PLAB-025												
	PLAB-026	•			•								
	PLAB-036H	•	•	•							•	•	•
	PLAB-043												

Tabla 3.5.2.1 Pozos del Pad A y B donde se bajó BHA de limpieza y se realizó cañoneo (Franco, V. & Balón, R. (2019))

	Pozos	2015		Candidato	2016		Candidato	2017		Candidato	2018		Candidato
		L	C		L	C		L	C		L	C	
PAD N	PLAN-029	•						•	•	•	•	•	•
	PLAN-049H	•			•	•	•				•		
	PLAN-050	•											
	PLAN-051				•	•	•	•			•	•	•
	PLAN-052				•								
	PLAN-053H										•		
	PLAN-054	•						•					
	PLAN-055	•						•	•	•	•		
	PLAN-056	•	•	•									
	PLAN-057	•											
	PLAN-058										•		
	PLAN-059							•	•	•	•		

Tabla 3.5.2.2 Pozos del Pad norte donde se bajó BHA de limpieza y se realizó cañoneo (Franco, V. & Balón, R. (2019))

	Pozos	2015		Candidato	2016		Candidato	2017		Candidato	2018		Candidato
		L	C		L	C		L	C		L	C	
PAD C	PLAC-004				•								
	PLAC-017	•	•	•									
	PLAC-020												
	PLAC-022	•											
	PLAC-037												
	PLAC-038												
	PLAC-039	•									•	•	•
	PLAC-040											•	
	PLAC-045												
	PLAC-046										•	•	•
	PLAC-047												
PLAC-048								•	•	•			
PAD D	PLAD-012												
	PLAD-015				•								
	PLAD-019	•	•	•	•			•					
	PLAD-023	•											
	PLAD-024				•						•	•	•
	PLAD-028H												
	PLAD-031												
	PLAD-032										•	•	•
	PLAD-033H	•	•	•					•				
	PLAD-034H	•											
	PLAD-042H	•											
	PLAD-044				•								

Tabla 3.5.2.3 Pozos del Pad C y D donde se bajó BHA de limpieza y se realizó cañoneo (Franco, V. & Balón, R. (2019))

3.7 Análisis del Campo Palo Azul en el período (2015-2018)

Los posibles pozos candidatos donde se pudo aplicar la técnica Clean & Perf son:

- PLAA-016
- PLAB-006
- PLAB-010
- PLAB-021
- PLAB-036H
- PLAC-017
- PLAC-039
- PLAC-048
- PLAD-019
- PLAD-024
- PLAD-032
- PLAD-033H
- PLAN-029
- PLAN-049H
- PLAN-051
- PLAN-055
- PLAN-056
- PLAN-059

Para escoger los pozos candidatos se toma en cuenta también el tiempo runlife que tienen los mismos, de los cuales si sobrepasa los 1000 días será seleccionado debido a que para ese tiempo es acorde al runlife los pozos donde se podrían aplicar la técnica Clean & Perf son:

- PLAA-030BT
- PLAB-003H
- PLAB-010S1H
- PLAC-013
- PLAC-017H
- PLAC-038H

- PLAD-028HH
- PLAD-034HH
- PLAN-056H
- PLAN-057H

Realizando un análisis de los posibles pozos candidatos, se obtuvo tres pozos que cumplen con los rangos necesarios como tiempos de runlife, geológicamente aptos por tener zonas amplias de los reservorios además de obtener excelentes resultados de la arena de la cual no presentan migración de finos. Finalmente fueron pozos donde se bajó un BHA de limpieza y se realizaron actividades de cañoneos con la técnica convencional:

- PLAB-010
- PLAC-017
- PLAN-056

Dichos pozos serán analizados tanto su tiempo operacional como los costos que se generaron durante dichas operaciones. Luego como parte del estudio, se realizara una comparación de tiempos y costos de los pozos donde se aplicó la técnica de Clean & Perf y donde no se aplicó dicha técnica, lo que permitirá reconocer los beneficios de ahorro de tiempo y dinero que se pudieron generar en dichos pozos seleccionados según las características respectivas si se utilizaba la técnica Clean & Perf.

3.8 Gastos de tiempo y dinero con clean & perf en el campo Palo Azul.

A continuación se estudiarán los pozos donde se aplicó la técnica Clean & Perf en el campo Palo Azul, donde dichos gastos de tiempo y dinero serán tomados de referencia para realizar las comparaciones que se llevarán a cabo más adelante.

3.8.1 Análisis de las actividades generales PLAB-005

La técnica empleada en este pozo fue Clean & Perf y en la siguiente tabla se muestran los respectivos tiempos operacionales del armado del BHA Clean & Perf la bajada, circulación, correlación y denotación de cañones.

Actividades Generales	Horas por actividad	Días acumulados por actividad
Movilización del Rig	9.0	0.38
Operaciones de Control de Pozo	5.0	0.58
N/D Cabezal y N/U BOP	7.0	0.88
Remover Equipo BES	3.0	1.00
Operaciones de Control de Pozo	4.0	1.17
Remover Equipo BES	26.0	2.25
Desarmar Equipo BES	3.0	2.38
Clean & Perf	52.5	4.56
Armar Equipo BES	12.0	5.06
Descender Equipo BES	47.5	7.04
N/D BOP y N/U Cabezal	20.0	7.88
Pruebas de Producción de Pozo	18.5	8.65
Operaciones de Control de Pozo	6.5	8.92
N/D Cabezal y N/U BOP	7.0	9.21
Remover Equipo BES	19.0	10.00
Desarmar Equipo BES	4.0	10.17
Correr Slick Line	1.5	10.23
Armar Equipo BES	8.5	10.58
Descender Equipo BES	30.0	11.83
N/D BOP y N/U Cabezal	15.0	12.46
Pruebas de Producción de Pozo	7.0	12.75

Tabla 3.8.1.1 Tiempos empleados en la aplicación de la técnica Clean & Perf del PLAB-005

Los costos generados con el uso de la técnica Clean & Perf fueron:

\$ 356,679.36

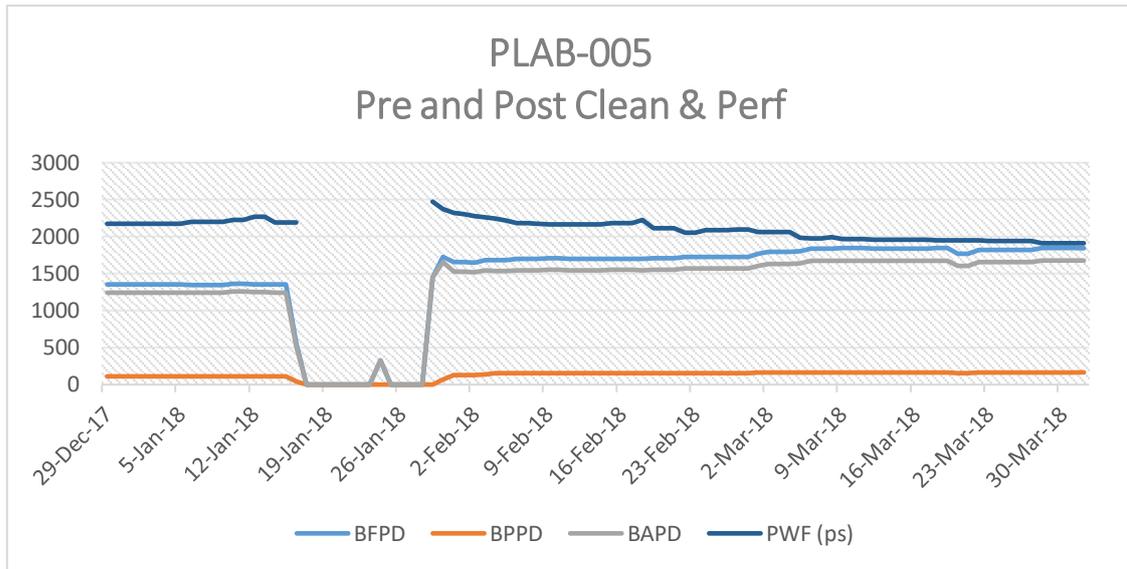


Fig. 3.8.1.1 Producción del pozo pre y post utilización de la técnica clean & perf del pozo PLAB-005

Realizando un análisis sobre producción previa a la aplicación de la técnica, se tiene una mejora considerable con un incremento del 64%.

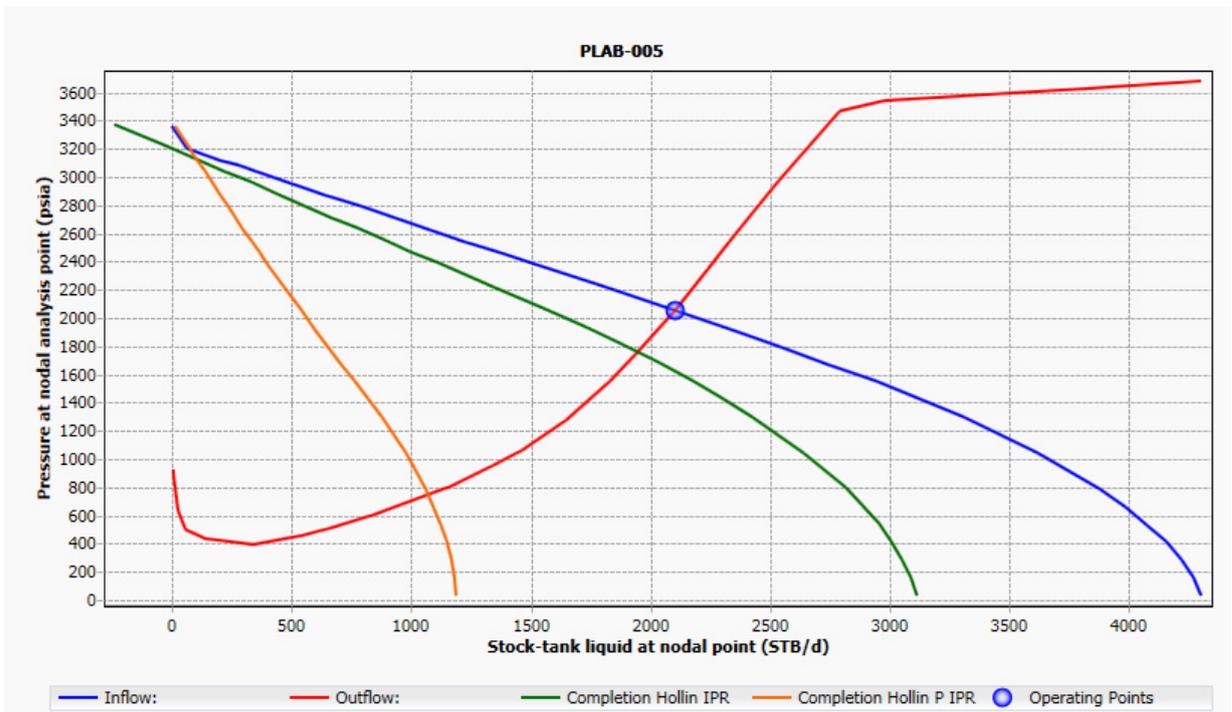


Fig. 3.8.1.2 Análisis nodal del pozo PLAB-005

ANTES			
YACIMIENTO	BFPD	BPPD	BSW
HOLLIN	1355	108	92
SIMULADO			
YACIMIENTO	BFPD	BPPD	BSW
HOLLIN	2045	184	91

Tabla 3.8.1.2 Producción del pozo PLAB-005

3.8.2 Análisis de las actividades generales PLAC-046

La técnica empleada en este pozo fue Clean & Perf, en la siguiente tabla se muestra las horas por cada actividad realizada y los días acumulados que se generaban en cada actividad.

Actividades Generales	Hora por actividad	Días acumulados por actividad
Movilización del Rig	21.0	0.88
Operaciones de Control de Pozo	35.0	2.33
N/D Cabezal y N/U BOP	5.5	2.56
Remover Equipo BES	1.5	2.63
Operaciones de Control de Pozo	21.0	3.50
Remover Equipo BES	15.5	4.15
Desarmar Equipo BES	5.0	4.36
Prueba BOP	1.0	4.40
Clean & Perf	44.5	6.25
Armar Equipo BES	7.0	6.54
Descender Equipo BES	43.5	8.35
N/D BOP y N/U Cabezal	11.5	8.83
Pruebas de Producción de Pozo	8.5	9.19

Tabla 3.8.2.1 Tiempos empleados en la aplicación de la técnica Clean & Perf del PLAC-046

Los costos generados de la aplicación de la técnica Clean & Perf fueron:

\$ 335,946.42

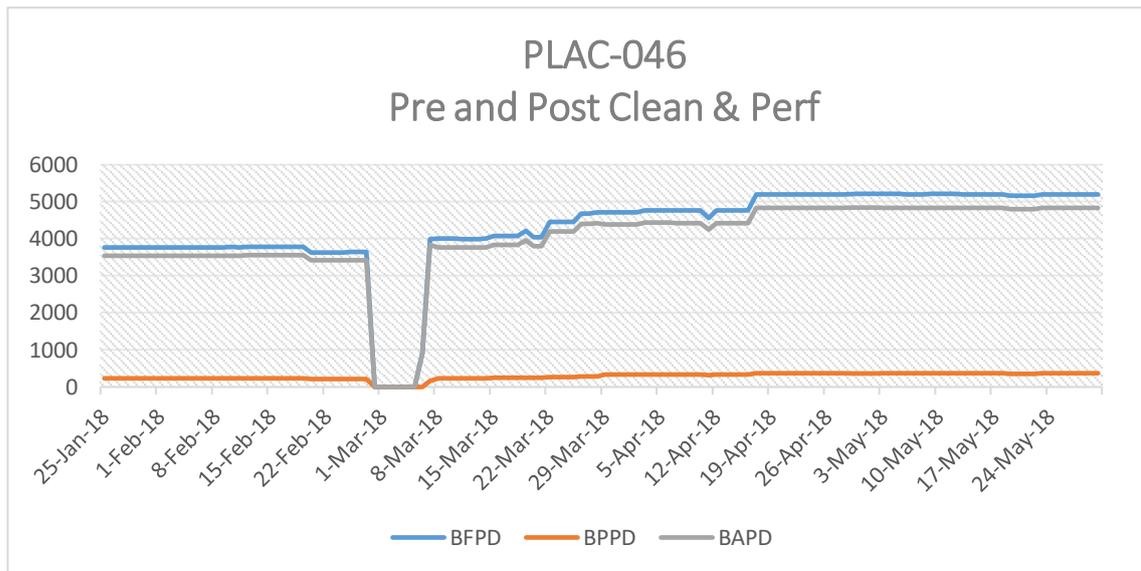


Fig. 3.8.2.1 Producción del pozo pre y post utilización de la técnica clean & perf del pozo PLAC-046

Realizando un análisis sobre producción previa a la aplicación de la técnica, se tiene una mejora considerable con un incremento del 83%.

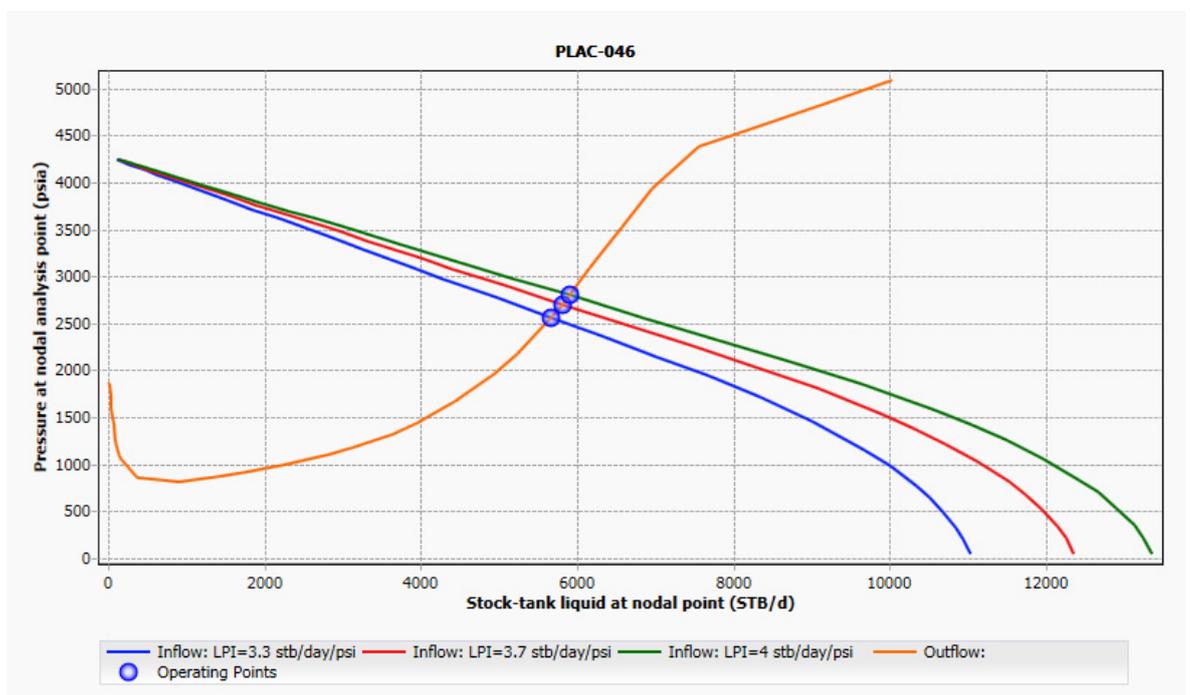


Fig. 3.8.2.2 Análisis nodal del pozo PLAC-046

ANTES			
YACIMIENTO	BFPD	BPPD	BSW
HOLLIN	3639	218	94
SIMULADO			
YACIMIENTO	BFPD	BPPD	BSW
HOLLIN	5740	401	93

Tabla 3.8.2.2 Producción del pozo PLAC-046

3.8.3 Análisis de las actividades generales PLAD-024

La técnica empleada en este pozo fue Clean & Perf, en la siguiente tabla se muestra las actividades generales con sus respectivos tiempos. El tiempo en dicho pozo fue el mínimo alcanzado, es decir que en el tercer empleo de la técnica Clean & Perf se optimizaron de manera adecuada los tiempos de cada actividad, lo que generó un mayor beneficio económico.

Actividades Generales	Horas por actividad	Días acumulados por actividad
Movilización del Rig	24.0	1.00
Operaciones de Control de Pozo	8.00	1.33
N/D Cabezal y N/U BOP	5.00	1.54
Remover Equipo BES	22.00	2.46
Desarmar Equipo BES	3.00	2.58
Prueba BOP	1.00	2.63
Clean & Perf	55.00	4.92
Armar Equipo BES	9.00	5.29
Descender Equipo BES	38.00	6.88
N/D BOP y N/U Cabezal	13.00	7.42
Pruebas de Producción de Pozo	10.50	7.85

Tabla 3.8.3.1 Tiempos empleados en la aplicación de la técnica Clean & Perf del PLAD-024

Los costos generados con el uso de la técnica Clean & Perf fueron:

\$ 289,824.22

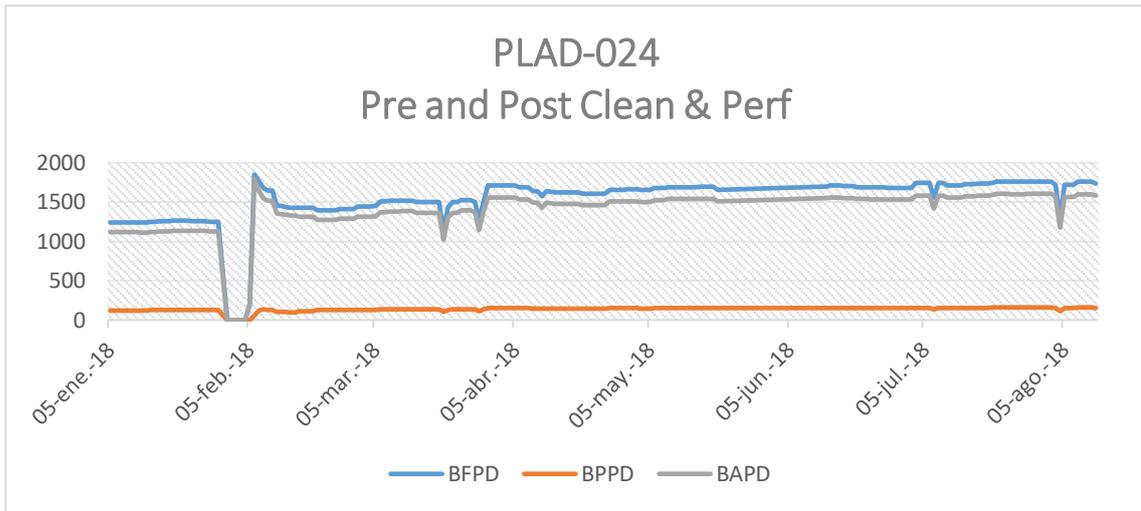


Fig. 3.8.3.1 Producción del pozo pre y post utilización de la técnica clean & perf del pozo PLAD-024

Realizando un análisis sobre producción previa a la aplicación de la técnica, se tiene una mejora considerable con un incremento del 24%.

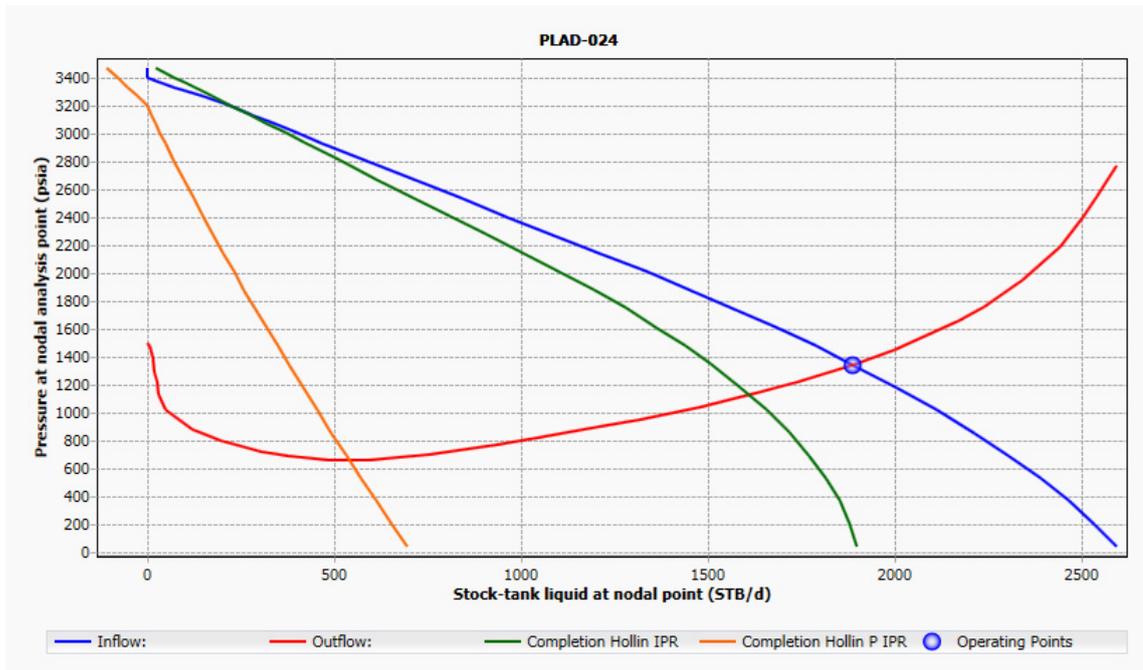


Fig. 3.8.3.2 Análisis nodal del pozo PLAD-024

ANTES			
YACIMIENTO	BFPD	BPPD	BSW
HOLLIN	1270	254	80
SIMULADO			
YACIMIENTO	BFPD	BPPD	BSW
HOLLIN	1724	344	82

Tabla 3.8.3.2 Producción del pozo PLAD-024

Donde se puede verificar que la tercera prueba de la técnica genero los mejores resultados, obteniendo una excelente optimización de tiempo y dinero.

Realizando un análisis comparativo sobre los tiempos operacionales de los tres pozos donde se aplicó la técnica Clean & Perf se obtiene un promedio de **8.05 días**.



Fig. 3.8.3.3 Esquema de costos y tiempo operacional de la técnica Clean & Perf en los pozos del campo Palo Azul (Franco, V. & Balón, R. (2019))

3.9 Gastos de tiempo y dinero bajo pozos sin uso clean & perf en el campo Palo Azul

Los siguientes pozos fueron seleccionados para el análisis del tiempo que se generó sin la utilización de la técnica Clean & Perf. Sin embargo, solo se aplicó el procedimiento convencional donde se baja un BHA de limpieza y donde se realizan cañoneos con TCP bajo balance.

3.9.1 Análisis de las actividades generales PLAB-010

En dicho pozos se realizó un pulling BES bajando solo un BHA de limpieza, donde se obtuvo un total de 7.63 días.

Actividades Generales	Horas por actividad	Días acumulados por actividad
Movilización del Rig	15.00	0.63
Operaciones de Control de Pozo	11.00	1.09
N/D Cabezal y N/U BOP	5.00	1.30
Remover Equipo BES	18.00	2.05
Desarmar Equipo BES	4.00	2.21
Prueba BOP	3.00	2.34
BHA de limpieza y TCP	50.00	4.42
Armar Equipo BES	6.50	4.69
Descender Equipo BES	48.50	6.71
N/D BOP y N/U Cabezal	18.00	7.46
Pruebas de Producción de Pozo	4.00	7.63

Tabla 3.9.1.1 Tiempos empleados en la aplicación de la técnica convencional del PLAB-010 (Franco, V. & Balón, R. (2019))

Los costos generados con la técnica convencional fueron:

\$ 364,213.36

3.9.2 Análisis de las actividades generales PLAC-017

En dicho pozos se realizó un pulling BES bajando solo un BHA de limpieza, donde se obtuvo un total de 5.06 días.

Actividades Generales	Horas por actividad	Días acumulados por actividad
Movilización del Rig	10.00	0.42
Operaciones de Control de Pozo	5.00	0.63
N/D Cabezal y N/U BOP	6.00	0.88
Remover Equipo BES	15.00	1.51
Desarmar Equipo BES	3.50	1.66
Prueba BOP	2.00	1.74
BHA de limpieza y Wireline	30.00	2.99
Armar Equipo BES	6.50	3.26
Descender Equipo BES	30.00	4.51
N/D BOP y N/U Cabezal	10.00	4.93
Pruebas de Producción de Pozo	3.50	5.06

Tabla 3.9.2.1 Tiempos empleados en la aplicación de la técnica convencional PLAC-017
(Franco, V. & Balón, R. (2019))

Los costos generados con la técnica convencional fueron:

\$ 256,067.70

3.9.3 Análisis de las actividades generales PLAN-056

En dicho pozos se realizó un pulling BES bajando solo un BHA de limpieza, donde se obtuvo un total de 7.80 días.

Actividades Generales	Horas por actividad	Días acumulados por actividad
Movilización del Rig	20.00	0.83
Operaciones de Control de Pozo	13.00	1.37
N/D Cabezal y N/U BOP	6.00	1.62
Remover Equipo BES	21.00	2.50
Desarmar Equipo BES	4.50	2.69
Prueba BOP	3.00	2.82
BHA de limpieza y TCP	44.00	4.65
Armar Equipo BES	6.50	4.92
Descender Equipo BES	48.00	6.92
N/D BOP y N/U Cabezal	18.00	7.67
Pruebas de Producción de Pozo	3.00	7.80

Tabla 3.9.3.1 Tiempos empleados en la aplicación de la técnica convencional PLAN-056
(Franco, V. & Balón, R. (2019))

Los costos generados con la técnica convencional fueron:

\$ 380,770.89

Analizando el tiempo acumulado de los tres pozos por las actividades realizadas, se obtuvo un promedio de **7.72 días** donde no se consideró el tiempo del pozo PLAC-017 donde se aplicó wireline debido a difieren demasiado en sus tiempos con respecto a los otros dos pozos.

Aunque existe un incremento de 0.33 días con respecto a la técnica Clean & Perf, no existe una mejora en el yacimiento por las dificultades de la circulación del pozo, donde se tienen que realizar una estimulación o disparos con cable para remover el daño en el wellbore del pozo.

Finalmente en los tres pozos donde no se aplicó la técnica Clean & Perf se tuvo que realizar un trabajo con cable donde se modifica la zona del wellbore, donde se genera un incremento de 3.04 días con respecto a la técnica Clean & Perf.

Debido a dicho incremento el promedio final es **10.76 días**, con lo que se puede concluir que con la aplicación de la técnica Clean & Perf se genera un ahorro de tiempo de **2.71 días**, lo que genera beneficios económicos durante una sola corrida.

En base a los gastos económicos que se generó en los pozos:

En el pozo PLAB-010 se obtuvo un gasto operacional de **\$ 364,213.36** tomando en cuenta los gastos de eventos planificados donde se utilizó el procedimiento con BHA de limpieza y cañoneo con TCP. Comparando dicho costo con el valor promedio de la técnica Clean & Perf, se pudo haber generado un ahorro de **\$36,730.03** si se utilizaba dicho método, es decir se pudo generar un ahorro aproximado de **11.22 %**.

En el pozo PLAN-056 se obtuvo un gasto operacional de **\$ 380,770.89** tomando en cuenta los gastos de eventos planificados donde utilizó el procedimiento de BHA de limpieza y cañoneo con TCP. Comparando dicho costo con el valor promedio de la técnica Clean & Perf, se pudo haber generado un ahorro de

\$53,287.56 si se utilizaba dicho método, es decir se pudo generar un ahorro aproximado de **16.27 %**.

En el pozo PLAC-017 se obtuvo un gasto operacional de **\$ 256,067.70** tomando en cuenta los gastos de eventos planificados donde se utilizó el procedimiento de BHA de limpieza y cañoneo con wireline. Comparando dicho costo con el valor promedio de la técnica Clean & Perf, se pudo haber generado una pérdida de **\$ 71,415.63** si se utilizaba dicho método, es decir se pudo generar una pérdida aproximada del **21,81%**.



Fig. 3.9.3.1 Esquema final del tiempo, costos y ahorro estimado con la aplicación de la técnica convencional en los pozos del campo Palo Azul (Franco, V. & Balón, R. (2019))



Fig. 3.9.3.1 Costo y Tiempo operacional promedios de la técnica Clean & Perf en los pozos del campo Palo Azul (Franco, V. & Balón, R. (2019))

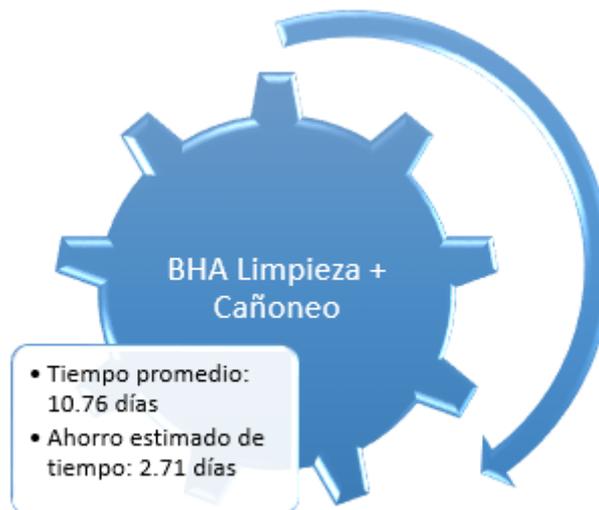


Fig. 3.9.3.2 Tiempo y ahorro estimado promedio del proceso convencional de los pozos del campo Palo Azul (Franco, V. & Balón, R. (2019))

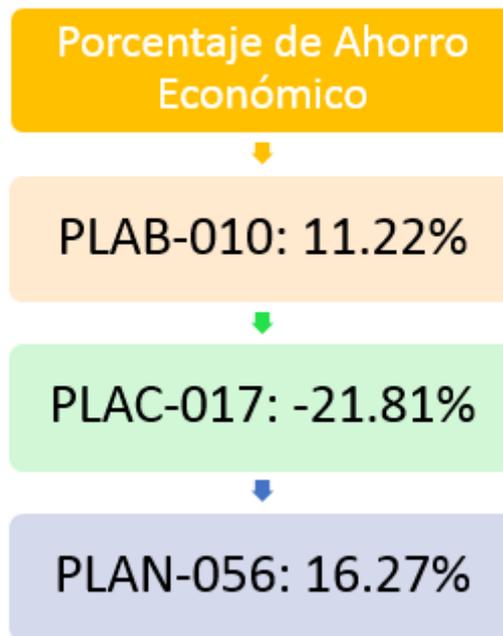


Fig. 3.9.3.1 Porcentaje de ahorro económico de los pozos del campo Palo Azul
(Franco, V. & Balón, R. (2019))

3.10 Análisis económico

En este trabajo se realizó un estudio sobre el sector petrolero, uno de los sectores más importantes de la economía del Ecuador. Se lleva a cabo un análisis económico de una técnica de reacondicionamiento de pozos clean & perf de la cual definiremos si es o no la técnica más rentable para el presupuesto general del estado. Para ello, se expone las dos opciones que se desarrollan donde generan la misma funcionalidad y objetivo pero se desarrollan bajo diferentes procesos y tiempos.

Técnica de Clean & Perf

Los cargos estimados y datos detallados están sujetos a correcciones por SCHLUMBERGER					
SPN	DESCRIPCIÓN	CANT	UOM	PRECIO	PRECIO TOTAL
La Torre	Trabajo de la Torre y movilización	4	días	10500	42.000,00
SLBTPSDHT216	Canon hasta 4.5 pulgadas. Se cobra por pie, toda la longitud. Ítem correspondiente a las Longitudes de cámara PURE y espaciador de seguridad. ITEMS 9 y 11 del string Diagram.	23,96	FT	367,54	8.806,26
TCP45PJ4505	Tubing-conveyed perforating HSD,4-1/2in Power jet ,4505, Max SPF 5		EA		
SLBTPSDHT222	Disparos TCP Estándar Penetración 4,50 hasta 5 dpp. Precio por cada carga instalada en canon TCP.	90	EA	54,55	4.909,50
Asentamiento de Packer	Instalación+ equipo de presion+canasta limpiadora+ cargo fijo asentamiento+carga lenta asentamiento	10000	FT	1863	21.863,00
60 SLBTPSDHT214	Cargo por diseño de disparo, técnicas especiales, bajo balance dinámico, propelente.	1	EA	4655,48	4.655,48
70 EFIRE-TCP-AIR	eFire TCP firing head run with air cushion		EA		
SLBTPSDHT202	Kit conversión cabeza de disparo redundante presión. Cargo adicional al cargo básico que incluye cabeza de disparo sencilla.	1	EA	2363,02	2.363,02
PSPECTCP	Tubing-conveyed Perforating Specialist		EA		
SLBTPSDHT269	Especialista DST-TCP	2	D	1125,15	2.250,30
PSPECTCP	Tubing-conveyed Perforating Specialist		EA		
SLBTPSDHT267	Operador DST_TCP	2	D	899,73	2.799,46
MLTRANTCTTCP	Transport		EA		
SCHECP0008N-1	Mileage. Transport Truck Se usa como referencia la distancia hasta: Palo Azul Central de Procesos (ZPF) según tabla de distancia de PETROAMAZONAS.	128	KM	3,57	456,96
Field Ticket Total (USD)					90.103,98

Tabla 3.9.3.1 Costos promedios del uso de la técnica Clean & Perf

Técnica convencional de limpieza con un recañoneo usando wireline

Los cargos estimados y datos detallados están sujetos a correcciones por HALLIBURTON				
COMPAÑÍA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO TOTAL
CPEB	Movimiento de la Torre		1333	6.665,00
CPEB	Trabajo de la Torre	5 días	6000	30.000,00
CPEB	Fluido de Completación	EA		2.500,00
HALLIBURTON	SERVICIO DE LIMPIEZA MECANICA (scrapers, canastas, bitsubs)	EA		10.668,00
HALLIBURTON	Correlaciones - corrida de correlación Gamma Ray			3.938,00
HALLIBURTON	Disparos Wire line			20.000,00
HALLIBURTON	Grupo Técnico	2 días	1740	2.480,00
			Field Ticket Total (USD)	76.251,00

Tabla 3.9.3.2 Costos promedios del uso del BHA de limpieza y recañoneo con wireline.

Técnica convencional de limpieza con un recañoneo usando TCP

Los cargos estimados y datos detallados están sujetos a correcciones por HALLIBURTON				
COMPAÑÍA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO TOTAL
CPEB	Movimiento de la Torre		1333	6.665,00
CPEB	Trabajo de la Torre	8 días	9166	45.830,00
CPEB	Fluido de Completación	EA		2.500,00
HALLIBURTON	SERVICIO DE LIMPIEZA MECANICA (scrapers, canastas, bitsubs)	EA		10.668,00
HALLIBURTON	Correlaciones - corrida de correlación Gamma Ray			3.938,00
HALLIBURTON	Disparos con TCP			50.000,00
HALLIBURTON	Grupo Técnico	2 días	1740	3.480,00
			Field Ticket Total (USD)	115.670,48

Tabla 3.9.3.3 Costos promedios del uso del BHA de limpieza y recañoneo con TCP.

En los dos métodos se considera los gastos operacionales del desarrollo de la técnica escogida mas no todo el proceso en general que conlleva toda la operación del reacondicionamiento, para las presentes tablas de gastos se estimaron costos aproximados acorde a las necesidades del pozo los precios varían entre 1% y 3%. Se aduce que los gastos operacionales son indistintamente similares entre compañías prestadoras de servicios, cabe destacar dicho punto ya que las dos técnicas no fueron realizadas por la misma compañía. Tomando en consideración lo antes mencionado denotamos lo siguiente:

- El uso de la Torre y su movilización se puede observar la diferencia de tiempos de ambas técnicas es relativamente marcada con una diferencia de

1 día siendo la técnica Clean & Perf la generadora de la disminución en tiempo en la operación. En la industria uno de los rubros importantes en gastos es la renta de la torre por lo cual se tiene claro que se va ahorrar una suma de dinero considerable.

- La viabilidad de la técnica de Clean & Perf es generada por la optimización de procesos y eso se ve reflejada en el detallado final del cual se obtiene un ahorro de 22.1%, considerando su similar oponente, es decir la técnica con TCP dando a sustentar un claro estímulo a que se ejecute como primera opción dicha técnica, acorde a la situación del pozo esta debe ser analizada para que el sujeto se considere apto para luego proceder a las operaciones correspondientes.

Capítulo 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Bajo las condiciones del campo Palo Azul debido a que su arena productora Hollín es consolidada, es preferible realizar la técnica de Clean & Perf en bajo balance.
- Acorde a la metodología dada se seleccionó los pozos PLAB-010, PLAC-017 y PLAN-056 los cuales cumplieron con las condiciones necesarias para ser analizados económicamente.
- El ahorro en las operaciones acorde al tiempo, sin considerar los eventos no planificados en los procesos convencionales se pudo haber generado un ahorro de 2.71 días en comparación si se utilizaba la técnica Clean & Perf.
- El ahorro en las operaciones acorde a los gastos operacionales, sin considerar los eventos no planificados se pudo haber generado un ahorro en el pozo PLAB-010 de 11.22% y en el pozo PLAN-056 un ahorro de 16.67% en comparación si se aplicaba la técnica Clean & Perf.
- En el pozo PLAC-017 se pudo haber generado una pérdida del 21.81% si se aplicaba la técnica Clean & Perf debido a que el cañoneo con wireline tiene la ventaja de que se puede emplear grandes cargas y cañones logrando un máximo rendimiento a un menor costo operacional con respecto a otros.
- Al realizar los procedimientos de limpieza y cañoneo con wireline se produce un ahorro económico en comparación con la técnica Clean & Perf. Sin embargo, tiene sus limitaciones acorde al diseño del pozo debido a que solo es apto para pozos verticales.
- En el análisis de selección de pozos uno de los parámetros relevantes es el runlife, del cual es indicado que tenga aproximadamente 1000 días para que el tiempo de operación del pozo genere confianza de que será productivo después del reacondicionamiento por lo que en dichas operaciones ocasionan una alta inversión.

4.2 Recomendaciones

- Analizar al pozo prospecto en todos sus ámbitos, tales como su geología, su runlife e historial de producción y perforación para originar un nivel de confianza de si dicho pozo tendrá un reacondicionamiento futuro.
- Tomar en cuenta un runlife mayor de 1000 días, podrá originar beneficios económicos en los gastos operacionales debido a que se puede evitar el taponamiento de los punzados.
- Emplear un BHA de limpieza con recañoneo de wireline solo para pozos verticales, ya que para pozos horizontales es imperante realizar un cañoneo con TCP ya que caso omiso la herramienta no llegaría a su objetivo.
- Emplear el proceso de cañoneo con wireline para intervalos cortos y de poca profundidad debido a su rapidez, lo que disminuirá tiempos y costos operacionales.
- La técnica de Clean & Perf se aplica de manera eficaz en bajo balance debido a que se conserva de mejor forma la consolidación de la arena productora.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- Christensen Roder. (2018). *http://christensen-roder.com/*. Obtenido de *http://christensen-roder.com/*
- Cristian C. Alarcón, D. D. (Mayo de 2012). *Cañoneo*. Obtenido de Slideshare: *https://es.slideshare.net/gabosocorro/exposicion-produccion-caoneo*
- Fundamentos de la Ingeniería de Petróleo*. (1994).
- Marsertre CIA. LTDA. (s.f.). *Marsertre*. Obtenido de Servicios de Herramientas de Revestidores : *http://www.marsertre.com/*
- Matamoros, J. V. (2009). *Análisis Técnico y de Costos del uso del StimGun como Método de Punzonamiento en algunos Pozos de Petroproducción*. Guayaquil: ESPOL.
- Nicolas Juarez, M. B. (2006). *Blogger*. Obtenido de BHA convencional de perforación: *http://perfo-bha.blogspot.com/*
- Paola Wilches, A. R. (Mayo de 2012). *Universidad de America* . Obtenido de Cañoneo de Pozos: *https://es.slideshare.net/gabosocorro/caoneo-13109698*
- PETROAMAZONAS. (2010-2018). *Documentos privados de la empresa PETROAMAZONAS del campo Palo Azul*. Quito-Ecuador.
- Rafael Valvuela Hernandez, E. S. (2009). *Principales Herramientas Utilizadas en Campo Castilla para operaciones de Workover*. Obtenido de *ww.issuu.com*: *https://issuu.com/biliovirtual/docs/principales_herramientas_utilizadas_*

ANEXOS

Anexo A. Pozos donde se aplicó Clean & Perf

Anexo A-1 PLAB-005 en el campo Palo Azul



Anexo A-2 PLAD-024 en el campo Palo Azul



Anexo A-3 PLAD-046 en el campo Palo Azul

