

**APLICATIVO MÓVIL PARA SOCIALIZAR LECCIONES APRENDIDAS EN
OPERACIONES DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER EN LA EMPRESA GRAN
TIERRA ENERGY**

ALFONSO MORALES PÉREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2023

**APLICATIVO MÓVIL PARA SOCIALIZAR LECCIONES APRENDIDAS EN
OPERACIONES DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER EN LA EMPRESA GRAN
TIERRA ENERGY**

ALFONSO MORALES PÉREZ

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Hidrocarburos**

Director:

Wilson Raul Carreño Velasco

M.Sc Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE HIDROCARBUROS
BUCARAMANGA**

2023

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. MARCO DE REFERENCIA	12
3.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	12
4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	14
4.1. COMPLETAMIENTO DE POZOS	14
4.1.1. Completamiento en hueco abierto:	14
4.1.2. Completamiento con Liner ranurado sin cementar:	15
4.1.3. Completamiento de hueco revestido y cañoneado:	16
4.2. OPERACIONES BÁSICAS DE COMPLETAMIENTO EN HUECO REVESTIDO Y CAÑONEADO.....	18
4.2.1. Corrida de sarta de limpieza "WBCO"	18
4.2.2. Corrida de Registros eléctricos	19
4.2.3. Corrida de sarta de cañoneo.....	21
4.2.4. Corrida de sarta de Completamiento.....	23
4.3. OPERACIONES DE WORKOVER	25
4.3.1. Operaciones de limpieza de arena "SCO"	25
4.3.2. Operaciones de pulling de bombas electrosumergibles.....	26
4.3.3. Operaciones de fishing o pesca de tubería.....	27
4.3.4. Operaciones de molienda o "Milling"	29
4.3.5. Operaciones de Slick Line.....	30
5. ANÁLISIS DEL MODELO ACTUAL DE RECOPIACIÓN Y DIVULGACIÓN DE LECCIONES APRENDIDAS EN GRAN TIERRA ENERGY EN OPERACIONES DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER.....	32
6. MEDICIÓN DE IMPACTOS ECONÓMICOS OCASIONADOS POR INCIDENTES OPERATIVOS REITERATIVOS EN OPERACIONES DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER.....	39
7. RECOPIACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS LECCIONES APRENDIDAS DE ACUERDO CON CADA FASE OPERATIVA DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER	44
7.1. Completamiento Inicial	44
7.2. Workover.....	44
7.3. Clasificación de lecciones aprendidas	45

8. PROPUESTA DE APLICATIVO MÓVIL PARA SISTEMATIZAR LA INFORMACIÓN DE LECCIONES APRENDIDAS DE MANERA PRÁCTICA Y REMOTA, GARANTIZANDO UNA ÓPTIMA GESTIÓN EN OPERACIONES DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER.....	48
9. CONCLUSIONES	54
10. RECOMENDACIONES	56
11. BIBLIOGRAFIA	57

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PORCENTAJE DE ACCIDENTES EN LOS AÑOS 2016 Y 2018.....	13
FIGURA 2: COMPLETAMIENTO EN HUECO ABIERTO.....	15
FIGURA 3: COMPLETAMIENTO CON LINER RANURADO SIN CEMENTAR.....	16
FIGURA 4: COMPLETAMIENTO DE HUECO REVESTIDO Y CAÑONEADO.....	17
FIGURA 5: SCRAPER, CEPILLO Y MAGNETO "MULTIBACK" CORRIDO EN UN WBCO.....	18
FIGURA 6. REGISTRO URS-CBL-VDL-GR-CCL	19
FIGURA 7. SARTA TCP EN OPERACIÓN UNDERBALANCE.....	22
FIGURA 8. FOTOGRAFÍAS DE COMPONENTES DE SARTA TCP.....	23
FIGURA 9. SARTA DE PRODUCCIÓN SELECTIVA.....	24
FIGURA 10. COMPONENTES DE UNA BOMBA DESARENADORA.....	26
FIGURA 11. COMPONENTES DE FONDO Y DE SUPERFICIE DE UN SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE.....	27
FIGURA 12. FOTOGRAFÍAS DE LAS HERRAMIENTAS DE PESCA MÁS COMÚNMENTE USADAS EN OPERACIONES DE GRAN TIERRA ENERGY.....	28
FIGURA 13. FOTOGRAFÍAS DE LOS MOLEDORES MÁS COMÚNMENTE USADAS EN OPERACIONES DE GRAN TIERRA ENERGY.....	29
FIGURA 14. EQUIPOS REQUERIDOS PARA OPERACIONES DE "SLICK LINE".....	30
FIGURA 15. SUPERBANDAS ADICIONALES EN ENSAMBLAJE ESP.....	33
FIGURA 16. EXTRA-TIEMPO DEBIDO A UNA MALA INSPECCIÓN PREVIA DEL ENSAMBLAJE ESP.....	34
FIGURA 17. DIÁMETRO REDUCIDO EN FLANCHE DEL EQUIPO DE CONTROL DE PRESIÓN DE WIRELINE.....	35
FIGURA 18. FALLAS OMITIENDO PROCEDIMIENTOS ESTÁNDAR EN OPERACIONES DE SAND CLEAN OUT "SCO".....	36
FIGURA 19. FALLA MECÁNICA EN CAMISA DE PRODUCCIÓN 2.31" DURANTE INTENTO DE APERTURA EN CORRIDAS DE SLICK LINE.....	37

FIGURA 20. CLASIFICACIÓN DE LECCIONES APRENDIDAS PERTENECIENTES A OPERACIONES DE WORKOVER EN POZOS DE LA EMPRESA GRAN TIERRA ENERGY.....	46
FIGURA 21. CLASIFICACIÓN DE LECCIONES APRENDIDAS PERTENECIENTES A OPERACIONES DE COMPLETAMIENTO INICIAL EN POZOS DE LA EMPRESA GRAN TIERRA ENERGY.....	46
FIGURA 22. COMPARATIVO DE LOS TIPOS DE APLICACIONES: WEB, HÍBRIDA Y NATIVA.....	49
FIGURA 23. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROPUESTA DE APLICATIVO MÓVIL.....	52
FIGURA 24: DIAGRAMA DE IMPLICACIÓN DE COSTOS EN CINCO EVENTOS REITERATIVOS.....	54

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. COSTOS ASOCIADOS AL CASO # 1: SUPERBANDAS ADICIONALES EN ENSAMBLAJE ESP.....	39
TABLA 2. COSTOS ASOCIADOS AL CASO # 2: EXTRA-TIEMPO DEBIDO A UNA MALA INSPECCIÓN PREVIA DEL ENSAMBLAJE ESP.....	40
TABLA 3. COSTOS ASOCIADOS AL CASO # 3: DIÁMETRO REDUCIDO EN FLANCHE DEL EQUIPO DE CONTROL DE PRESIÓN DE WIRELINE.....	41
TABLA 4. COSTOS ASOCIADOS AL CASO # 4: FALLAS OMITIENDO PROCEDIMIENTOS ESTÁNDAR EN OPERACIONES DE SAND CLEAN OUT.....	42
TABLA 5. COSTOS ASOCIADOS AL CASO # 5: FALLA MECÁNICA EN CAMISA DE PRODUCCIÓN 2.31" WXO DURANTE INTENTO DE APERTURA EN CORRIDAS DE SLICK LINE	43

RESUMEN

TÍTULO: APLICATIVO MÓVIL PARA SOCIALIZAR LECCIONES APRENDIDAS EN OPERACIONES DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER EN LA EMPRESA GRAN TIERRA ENERGY*1

AUTOR: ALFONSO MORALES PÉREZ**

PALABRAS CLAVE: Aplicativo móvil, completamiento y workover, lecciones aprendidas.

DESCRIPCIÓN

En el presente trabajo se propone mejorar el modelo actual de almacenamiento y divulgación de lecciones aprendidas generadas en las operaciones de completamiento y workover de la empresa Gran Tierra Energy mediante la estructuración de la base de un aplicativo móvil con el objetivo de clasificar y sistematizar las lecciones aprendidas para poder ser divulgadas y generar una retroalimentación constante de una manera práctica y didáctica a todo el personal involucrado en operaciones de completamiento y workover para la empresa Gran Tierra Energy.

La metodología incluye realizar un análisis del modelo actual de recopilación, clasificación, almacenamiento y divulgación de lecciones aprendidas de completamiento y workover implementado actualmente en la empresa Gran Tierra Energy, analizar los impactos económicos ocasionados por estos incidentes reiterativos en (5) escenarios y esquematizar, organizar y clasificar las lecciones aprendidas de acuerdo con el tipo de operación y fase operativa ejecutada del completamiento y workover.

Finalmente, se propone estructurar la base del aplicativo móvil definiendo sus parámetros de entrada, creación de base de datos, modificación del modelo actual usado por la empresa Gran Tierra Energy para reportar las lecciones aprendidas y desarrollar a futuro el aplicativo móvil mediante el uso de herramientas de programación para las plataformas de IOS y Android.

*Monografía

**Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Especialización en Gerencia de Hidrocarburos. Director: Wilson Raul Carreño Velasco, Ingeniero de Petróleos, M.Sc.

ABSTRACT

TITLE: MOBILE APPLICATION TO SOCIALIZE LESSONS LEARNED IN COMPLETION AND WORKOVER OPERATIONS AT GRAN TIERRA ENERGY COMPANY*

AUTHOR: ALFONSO MORALES PÉREZ**2

KEY WORDS: Mobile application, completion and workover, lessons learned.

DESCRIPTION

In the present work, it is proposed to improve the current model of storage and divulgation of lessons learned generated in Gran Tierra Energy's Completion & Workover operations by structuring a mobile application. Main application's objective is classifying and systematizing the lessons learned to divulgate and generate constant feedback in a practical and didactic way to all Completion & Workover Team.

The methodology includes carrying out an analysis of the current model for collecting, classification, storage and divulgation of lessons learned emphasizing on the economic impacts caused by these repetitive incidents in (5) scenarios and outlining, organizing and classifying the lessons learned according to the type and operational phase of the completion and workover execution.

Finally, it is proposed to structure the base of the mobile application defining its input parameters, database creation, modification of the current model and future development of the mobile application using programming tools for IOS and Android platforms.

² *Monograph

** Faculty of Chemical-physical Engineering. School of Petroleum Engineering. Hydrocarbons management specialization. Advisor: Wilson Raul Carreño Velasco, Petroleum Engineer, M.Sc.

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades en la Industria petrolera conllevan a un conjunto de riesgos que tienen la potencialidad de afectar no solo la continuidad de las operaciones, sino la vida de los trabajadores y la afectación del medio ambiente. Estos riesgos con baja o alta potencialidad generan reportes, investigaciones, análisis y estudios que tienen como finalidad determinar su causa raíz y extraer la “Lección Aprendida” del evento para evitar repetir nuevamente esta condición.

El no llevar una buena trazabilidad de estos eventos, no tener una forma accesible para socializarlos, no contar con una base de datos “amigable” o “de fácil acceso” para su divulgación hace propenso el volver a repetirlos y generar problemas reiterativos que pueden traer repercusiones ambientales, perjudiciales para la salud del trabajador y la integridad de los equipos de la compañía.

A este respecto, la gestión del conocimiento es relevante no solo por la sistematización del conocimiento y la automatización de este, sino que se pone al alcance de todas y todos los trabajadores.

Por ejemplo, al gestionar el conocimiento y distribuirlos de forma didáctica, se pueden establecer planes de formación orientados a fortalecer el conocimiento de los trabajadores, sus habilidades, destrezas y competencias, a manera de evitar futuros problemas en el completamiento y el workover de un pozo.

Sistematizar el conocimiento y la información recopilada de forma versátil y didáctica permite el óptimo manejo y socialización de lecciones aprendidas que pueden incidir en la mejora de los procesos y en el desempeño global de la empresa, en este sentido, se permite añadir valor a las operaciones en la medida en que se pueden minimizar reprocesos, mitigar riesgos, reducir costos e identificar áreas de mejora.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un aplicativo móvil para la gestión y divulgación de las lecciones aprendidas en operaciones de completamiento y workover para la empresa Gran Tierra Energy.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el modelo actual de recopilación y divulgación de Lecciones aprendidas en Gran Tierra Energy, relacionadas con operaciones de completamiento y workover.
- Medir los impactos económicos ocasionados por incidentes operativos reiterativos en operaciones de completamiento y workover.
- Recopilar y clasificar las Lecciones aprendidas de acuerdo con cada fase operativa de Completamiento y Workover.
- Plantear una propuesta de aplicativo móvil para sistematizar la información de lecciones aprendidas de manera práctica y remota, garantizando una óptima gestión en operaciones de completamiento y workover.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

³La Industria de los hidrocarburos continúa siendo el motor principal que impulsa el crecimiento económico de un país, desde la obtención de considerables regalías para proyectos de inversión social como la generación de más de 120.000 empleos a nivel nacional. Por esta razón es importante continuar trabajando día a día en la optimización de recursos, mitigación de riesgos, implementación y adaptación de avances tecnológicos con la finalidad de crear un escenario laboral mucho más eficiente en términos de seguridad y rentabilidad.

⁴La industria continúa experimentando un cambio hacia nuevas formas de exploración y producción de hidrocarburos en ambientes geológicos complejos y zonas socio-ambientalmente sensibles, lo que conlleva a generar escenarios operativos más exigentes donde la rigurosidad técnica y la no tolerabilidad de incidentes o accidentes son la clave para garantizar los más altos estándares en calidad HSEQ manteniendo la reputación y prestigio que la industria de los hidrocarburos demanda.

Aprender de errores pasados contribuye a disminuir riesgos, evita incidentes reiterativos y reutiliza buenas prácticas con el objetivo de crear una cultura de ambiente segura donde se incremente el capital intelectual de cada individuo que forma parte de la organización.

³ TORO, Mariana. la economía colombiana se mueve al ritmo del petróleo. *en revista semana*, [en línea]. Bogotá, noviembre 2018, p. 1-1. [consultado: 08 de julio de 2022]. disponible en <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/hidrocarburos-son-el-futuro/articulo/la-economia-colombiana-se-mueve-al-ritmo-del-petroleo/590813/>

⁴ RODRIGUEZ, Manuel. Ingeniería y medio ambiente [en línea] noviembre 2018, p. 1-1. [consultado: 08 de julio de 2022]. <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/abs/10.16924/revinge.26.7>

El mantener una buena trazabilidad y socialización de todos estos eventos pasados y las respectivas lecciones aprendidas ayudan a que las compañías generen estrategias orientadas a evitar accidentes, así como afectaciones al medio ambiente.

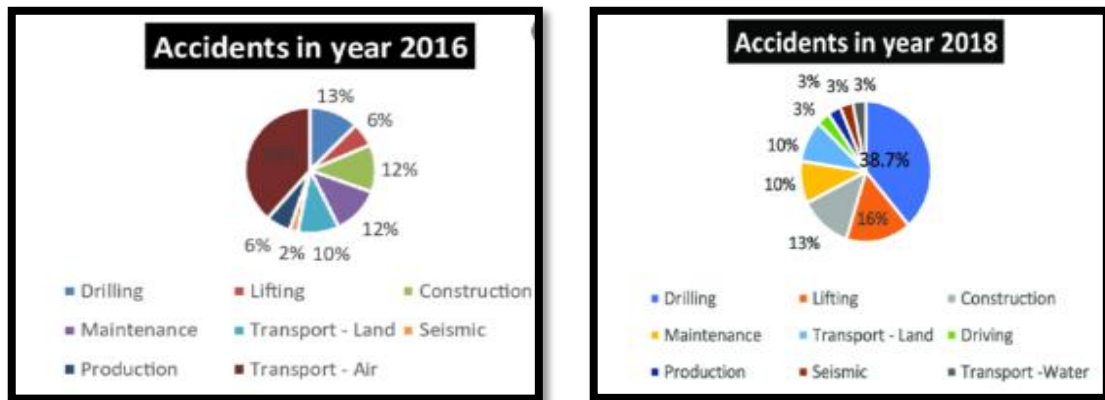


Figura 1: Porcentaje de accidentes en los años 2016 y 2018

De acuerdo a la “IOGP” *International Association of Oil & Gas Producers*, los accidentes en la industria de los hidrocarburos relacionados con la Perforación y completamiento de pozos se han incrementado desde un 13% en el 2016 a un 38.7% en el 2018, lo que justifica reforzar la trazabilidad de lecciones aprendidas de eventos ocurridos, así como su divulgación y socialización.

4. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

A continuación, se presentará un marco teórico referente a operaciones de completamiento y workover llevadas a cabo frecuentemente en la empresa Gran Tierra Energy.

4.1. COMPLETAMIENTO DE POZOS

El completamiento de pozos comprende todo el conjunto de operaciones realizadas luego de la perforación de un yacimiento para establecer la producción inicial, estas operaciones abarcan desde la limpieza y calibración del casing o revestimiento, hasta el cañoneo y puesta en producción de un pozo.

⁵Ejemplos de los tipos más comunes de completamiento de pozos:

- Completamiento en hueco abierto.
- Completamientos con liner ranurado “sin cementar”.
- Completamiento de hueco revestido y cañoneado.

4.1.1. Completamiento en hueco abierto:

En este tipo de completamiento el casing o revestimiento se sienta y se cementa sobre la zona productora “sobre el hueco abierto”, presentando como mayor ventaja la poca invasión, mínimo daño de formación y todo el diámetro del hueco disponible para el flujo. Este tipo de completamiento es común en formaciones bien consolidadas con poco riesgo de derrumbamiento como las formaciones de calizas.

⁵ Instituto Técnico del Petróleo, Libro de Trabajo,. 2020, 102 p. [Consultado el 10 de julio de 2022]. Curso de Workover para personal operativo

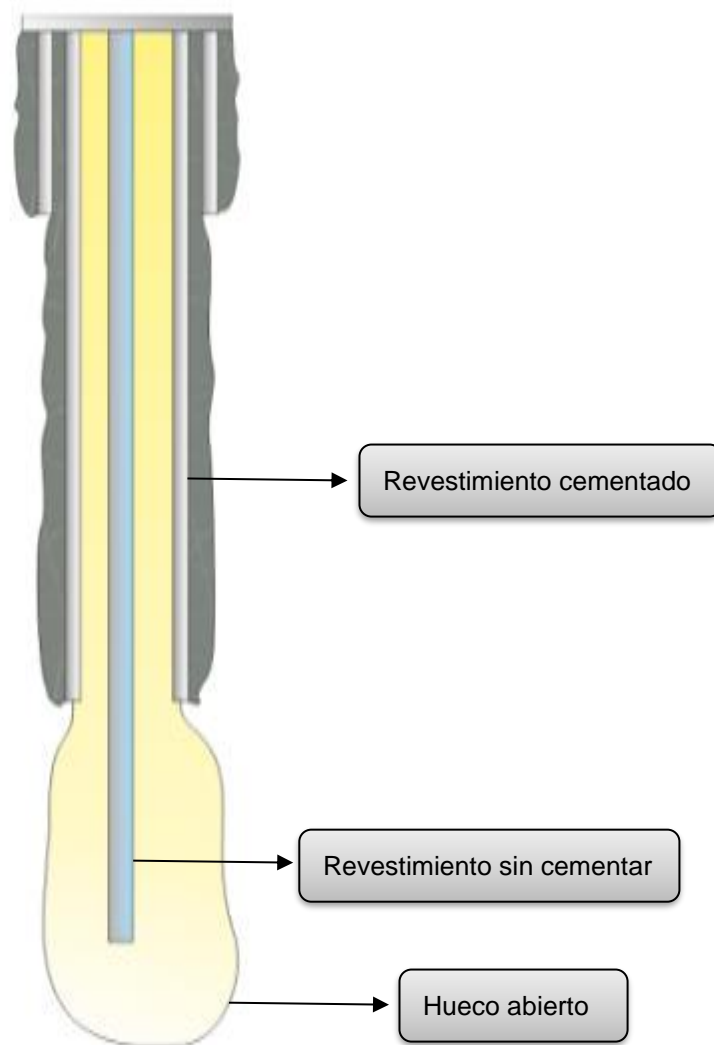


Figura 2: Completamiento en hueco abierto.⁶

4.1.2. Completamiento con Liner ranurado sin cementar:

En este completamiento, se corre un liner ranurado “no cementado” el cual se asienta mediante un colgador por encima de la zona productora lo que permite realizar

⁶ ALARCON PRADA, Julian Enrique y NAVARRO GOMEZ, Sergio Andres. Diseño de completamiento y del sistema de levantamiento artificial en un pozo con recobro por combustión in-situ mediante analogías. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías. Departamento de Ingeniería de petróleos, 2014. 21 p. [Consultado: 08 de julio de 2022]. Disponible en: Repositorio Educativo Digital UIS.

operaciones de gravel pack a través, disminuyendo daño de formación mientras se perfora la zona y eliminando el costo de la operación de cañoneo.

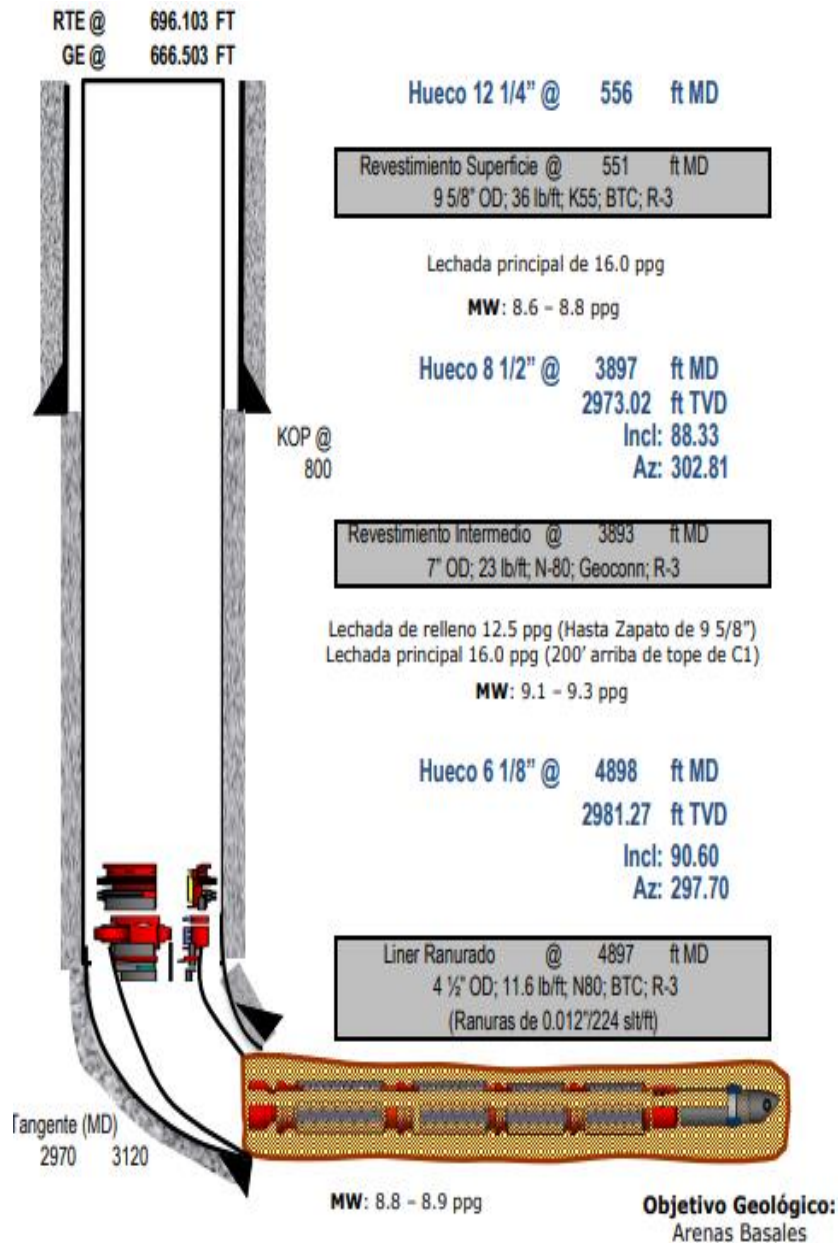


Figura 3: Completamiento con Liner ranurado sin cementar.⁷

4.1.3. Completamiento de hueco revestido y cañoneado:

Completamientos en hueco revestido y cañoneado corresponden a los más comúnmente realizados en la actualidad, en estos se cementa toda la zona de interés

⁷ Extraído de un estado mecánico del pozo CASE0286H, Caño Sur, Operadora Ecopetrol, 2022.

lo largo del revestimiento desde el máximo fondo perforado hasta el tope de la zona productora. Presenta la ventaja de poder realizar una operación de cañoneo selectivo y mantiene mayor control en cuanto a la producción de agua y gas.

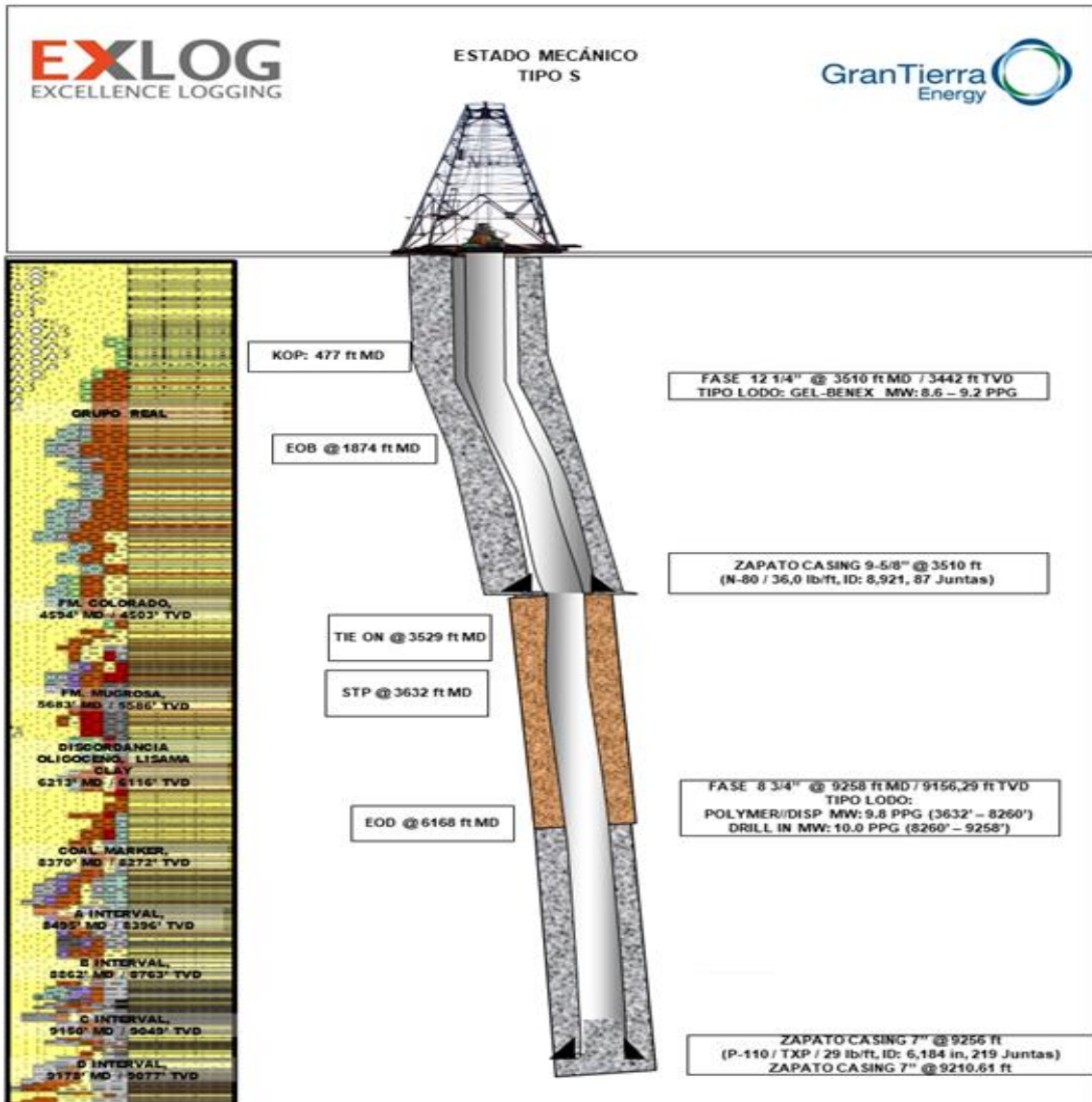


Figura 4: Completamiento de hueco revestido y cañoneado.⁸

⁸ Extraído del estado mecánico de un pozo de Gran Tierra, Diciembre 25 del 2020, operado por la empresa Gran Tierra Energy.

4.2. OPERACIONES BÁSICAS DE COMPLETAMIENTO EN HUECO REVESTIDO Y CAÑONEADO

4.2.1. Corrida de sarta de limpieza “WBCO”

Una vez terminadas las operaciones de perforación de un pozo para su respectivo completamiento y puesta en producción, la primera etapa en el completamiento comprende la calibración y limpieza del hueco revestido o “well bore clean out”, operación que garantizará la corrida de las herramientas requeridas para su puesta en producción, garantizando que las paredes del revestimiento estén libres de restricciones, sólidos e impurezas facilitando el acceso para las demás herramientas que se correrán en el hueco revestido.

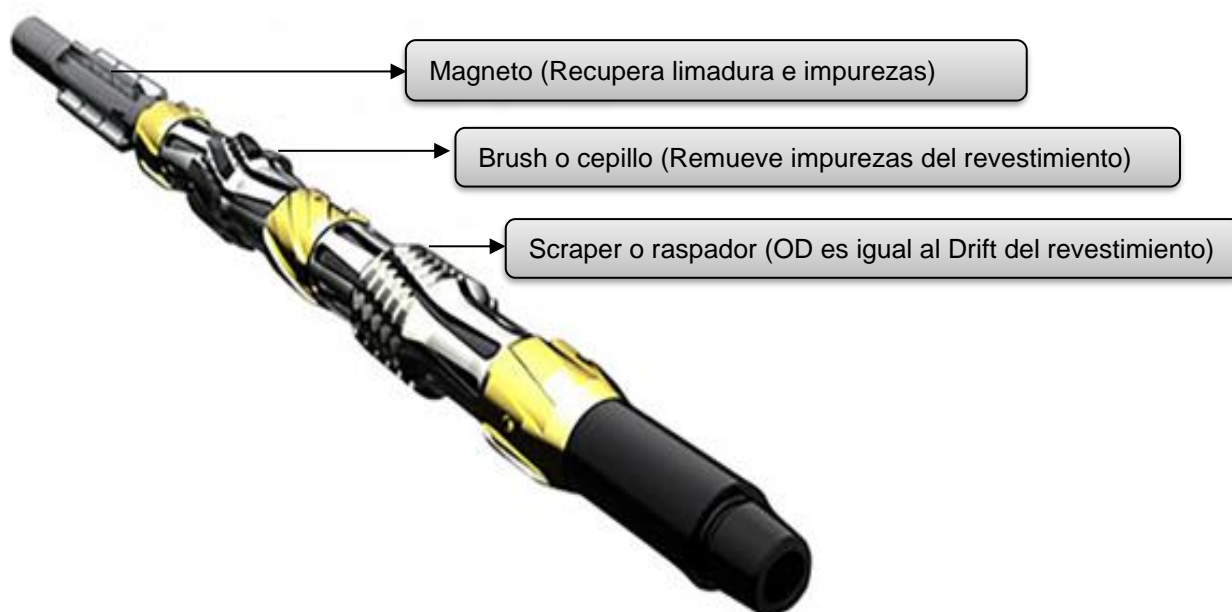


Figura 5: Scraper, cepillo y magneto “Multiback” corrido en un WBCO.⁹

⁹ Modificado de MULTIBACK Combination casing cleaning tool. Disponible en <https://www.slb.com/completions/fluids-and-tools/wellbore-cleaning-tools/casing-and-riser-cleaning-tools/multiback-combination-casing-cleaning-tool>, compañía SCHLUMBERGER.

4.2.2. Corrida de Registros eléctricos

Operación que comprende la corrida de herramientas para registros eléctricos mediante una sonda o cable eléctrico, como son el conjunto de indicadores de correlación (Gamma Ray – Casing Collar Locator), indicadores para determinar las condiciones del revestimiento (ultrasónicos modo corrosión, magnéticos, ruido espectral), indicadores de la condición del pozo (sónicos, evaluación de cemento, registros de desviación para determinación de surveys), todos estos indicadores obtenidos son con la finalidad de identificar la mejor zona y profundidad en condiciones de productividad e integridad para efectuar la operación del cañoneo y puesta en producción de un pozo.

Estos registros usualmente durante el completamiento de un pozo se corren con el taladro en su posición, pero también pueden ser corridos “rigless”, es decir sin un taladro posicionado, solo haciendo uso de una grúa o un equipo de izaje y un sistema de control de presión “lubricadores”.

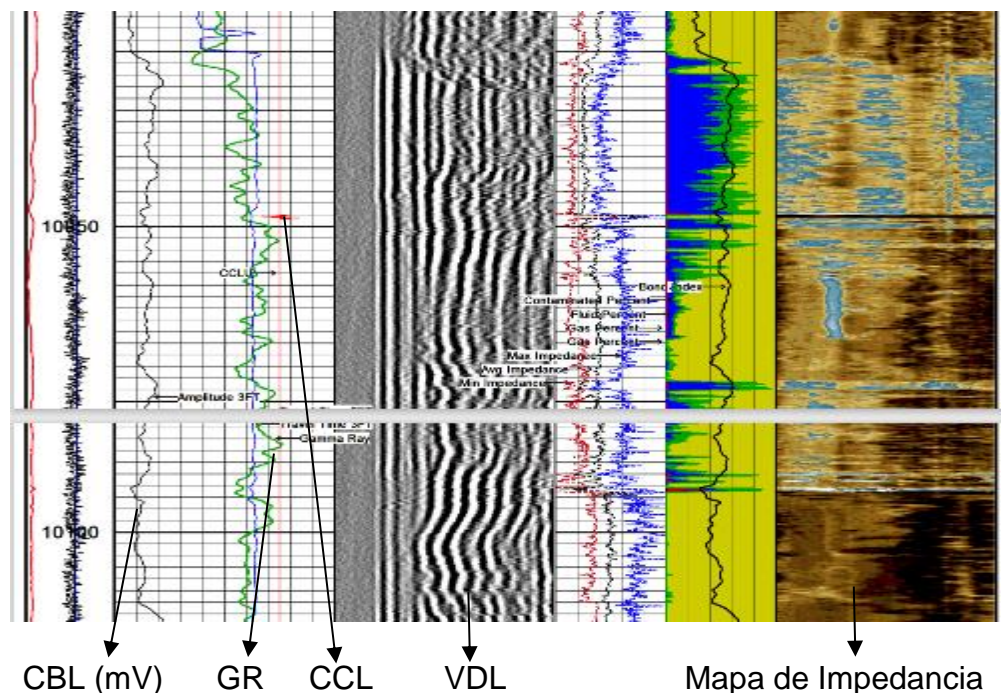


Figura 6. Registro URS-CBL-VDL-GR-CCL ¹⁰

¹⁰ Fragmento de un registro URS-CBL-VDL-GR-CCL tomado de un pozo de Gran Tierra Energy, Noviembre 18 del 2016, operado por la empresa Gran Tierra Energy.

- En la figura se observa un registro eléctrico convencional URS-CBL-VDL-GR-CCL, la primera deflexión de izquierda a derecha indica el CBL, el cual mide la adherencia cemento-casing en amplitud de onda en milivoltios, en donde a menor amplitud mejor calidad del cemento “mejor adherencia”; se tiene por concepto que una amplitud de onda menor a 10 mV es muy buen cemento, aunque este criterio varía entre operadoras.
- La deflexión en color verde indica el gamma Ray “GR”, el cual mide la radiación natural emitida por una formación, de esta manera permite caracterizar la formación en cuanto a tipos de rocas o sedimentos presentes en esta.
- La deflexión roja en el registro nos indica el “CCL”, casing collar locator, la posición de cada cuello de casing, en donde se presente una mayor deflexión en este trazo lineal se tiene un cuello de tubería, generalmente se corre en conjunto con el “GR” para correlacionar profundidades y poner en posición empaques o sartas con cañones.
- El mapeo “VDL” o variable density log, es un registro que nos mide la adherencia cemento-casing y cemento-formación, las primeras líneas de la izquierda (usualmente verticales) corresponden a los primeros arribos de onda entre el casing y cemento, lo cual muestra la adherencia cemento al casing. Las otras líneas más a la derecha corresponden a los arribos de onda entre cemento y formación.

Entre más verticales y nítidos los trazos acústicos observados más pobre es la adherencia del cemento y cuando los trazos son distorsionados y no lineales, se tiene buena adherencia.

- El mapa de impedancia del cemento nos indica que hay que detrás del revestimiento, cuando se tiene una alta impedancia nos indica que hay muy buen cemento y se representa por color marrón oscuro o negro, baja impedancia puede ser lodo o agua contaminando el cemento y se representa

por color azul o amarillo ocre, y una muy baja impedancia puede ser gas y se representa con color verde manzana.

Los colores expresados en este registro en particular pertenecen a la compañía que los corre, ya que en otras compañías la gama de colores varía.

4.2.3. Corrida de sarta de cañoneo

La operación de cañoneo abarca el arme de una sarta de cañones cargados con explosivos y comunicados entre sí mediante un cordón detonante, con la finalidad de ser corridos en el pozo con tubería o cable eléctrico para establecer la comunicación de los intervalos en la zona de interés productora y el pozo revestido una vez detonados, intervalos los cuales fueron seleccionados luego de la interpretación de los registros eléctricos.

Las (3) técnicas más comúnmente usadas para cañoneo son:

- Underbalance TCP o “Tubing Convey Perforating” en bajo balance, corrida de sarta de cañones en el pozo con tubería en donde se mantiene una presión hidrostática en el pozo (Ph) menor a la presión esperada de la formación (Pf). Se requiere activación mecánica mediante una “barra de disparo” que se arroja en el interior de la tubería desde superficie para su activación. Ventajas considerables en cuanto a limpieza de perforados luego del cañoneo reduciendo la invasión de fluidos y ripio de perforados a la formación.

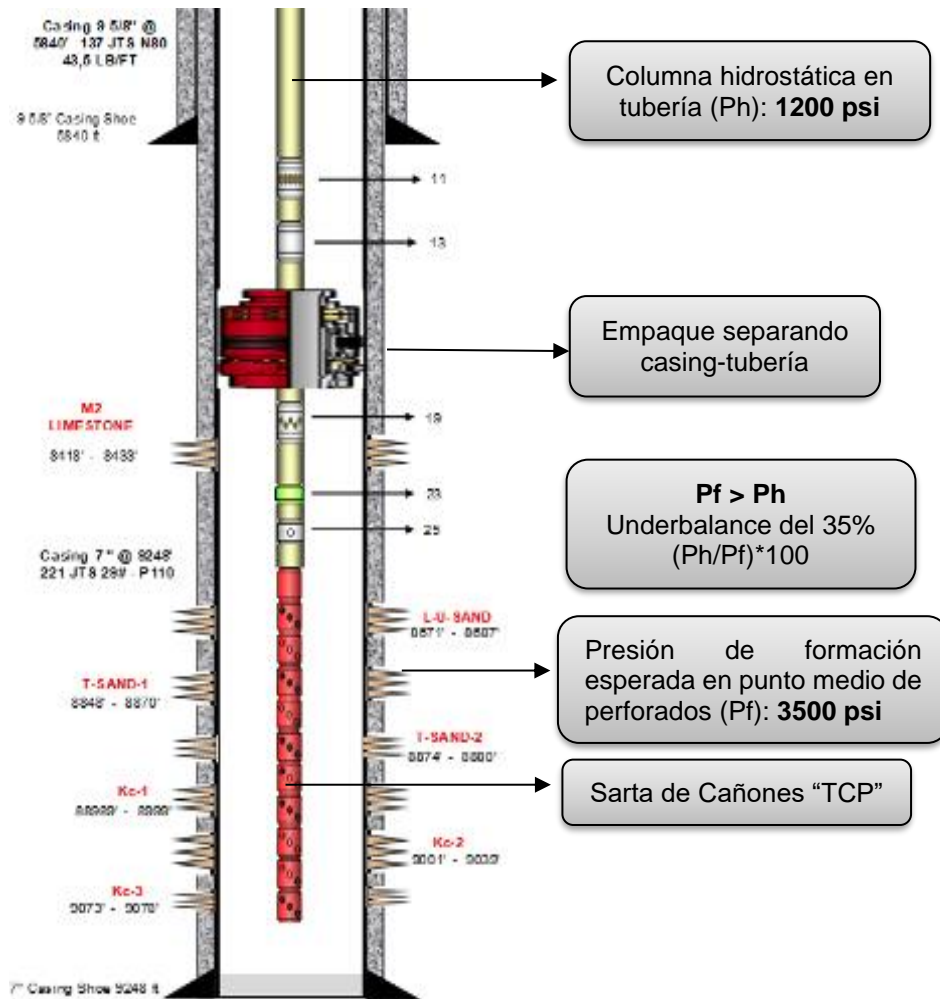


Figura 7. Sarta TCP en operación underbalance¹¹

- Overbalance TCP o "Tubing Convey Perforating" en sobre balance, corrida de sarta de cañones en el pozo con tubería, en donde la columna hidrostática en el pozo es mayor a la presión esperada de la formación. Se requiere activación mecánica mediante una "barra de disparo" que se arroja en el interior de la tubería desde superficie para su activación, su principal desventaja es que presenta invasión de fluidos y rips a la formación posterior a su detonación.

¹¹ Fragmento extraído del estado mecánico de un pozo de Gran Tierra Energy, Abril 28 del 2018, operado por la empresa Gran Tierra Energy.



Figura 8. Fotografías de componentes de sarta TCP¹²

- Cañoneo con sonda de wireline o cable eléctrico, corrida de sarta de cañones mediante sonda eléctrica, en la cual durante la misma corrida se puede registrar y correlacionar profundidades previo a su detonación. Se requiere impulso eléctrico desde superficie y el sistema en sobre balance para su activación.

4.2.4. Corrida de sarta de Completamiento

Una vez establecida la comunicación entre la zona productora y el pozo revestido mediante la operación de cañoneo, se da continuación a la corrida de una sarta de completamiento en el pozo que depende en gran medida del requisito de la compañía operadora. Existen comúnmente (2) tipos de pozos a completar en la industria de hidrocarburos: pozos Inyectores y pozos Productores.

¹² Fuente: Los autores.

A continuación, se presenta un ejemplo de completamiento selectivo en un pozo Productor:

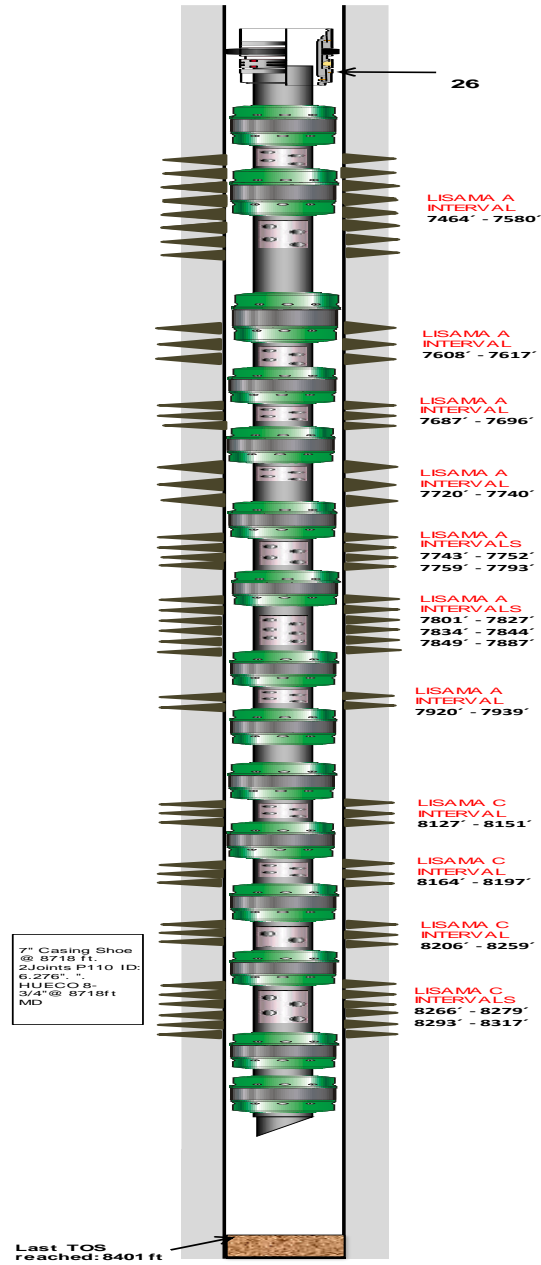


Figura 9. Sarta de Producción Selectiva¹³

¹³ Extraído de un completamiento selectivo en un pozo de Gran Tierra Energy, diciembre 09 del 2020, operado por la empresa Gran Tierra Energy.

- Como se aprecia en la imagen este completamiento consta de (16) empaques, uno superior aislando el espacio anular (casing-tubing) y (15) empaques inferiores proporcionando la selectividad requerida de los intervalos cañoneados de las formaciones Lisama "A" y Lisama "C", por encima del empaque superior se corra una bomba electrosumergible o un diseño de completamiento por bombeo hidráulico de acuerdo al potencial esperado del pozo, permitiendo producir y evaluar separadamente las intervalos de la arena Lisama perteneciente a formaciones de interés en el campo Acordionero, San Martín Cesar, cuenca del Valle Medio del Magdalena operado por Gran Tierra Energy.

4.3. OPERACIONES DE WORKOVER

4.3.1. Operaciones de limpieza de arena "SCO"

Las operaciones de "sand clean out" o limpieza de arena son requeridas cuando en el pozo se presenta alta producción con concentraciones de arena considerables conllevando a taponamientos de sarta de completamiento, boquillas en equipos de levantamiento hidráulico, ruptura de ejes de bombas electrosumergibles, "shut downs" de pozos productores de arena generando un posterior decantamiento de la misma.

Comúnmente se usan dos tipos de Bombas desarenadoras, bombas que requieren fluido para efectuar la limpieza "bombas modo circulación", y bombas que recuperan arena mediante movimientos de sarta ascendentes y descendentes también llamado "bomba en modo reciprocante" generando succión mediante un pistón "Kelly" y unas recámaras las cuales almacenan la arena recuperada "tecnología tipo jeringa".

Adicionalmente existen las bombas desarenadoras "duals", las cuales se inicia con un ciclo de limpieza de arena en modo de circulación, posteriormente se arroja una esfera de activación en superficie de 1-1/2" en el interior de la tubería para presurizar

y reventar unos pines de un accesorio del ensamble de fondo llamado “setting drain” permitiendo de esta manera trabajar la bomba ahora en modo recíprocante asegurando la limpieza de arena hasta llenar las recámaras.

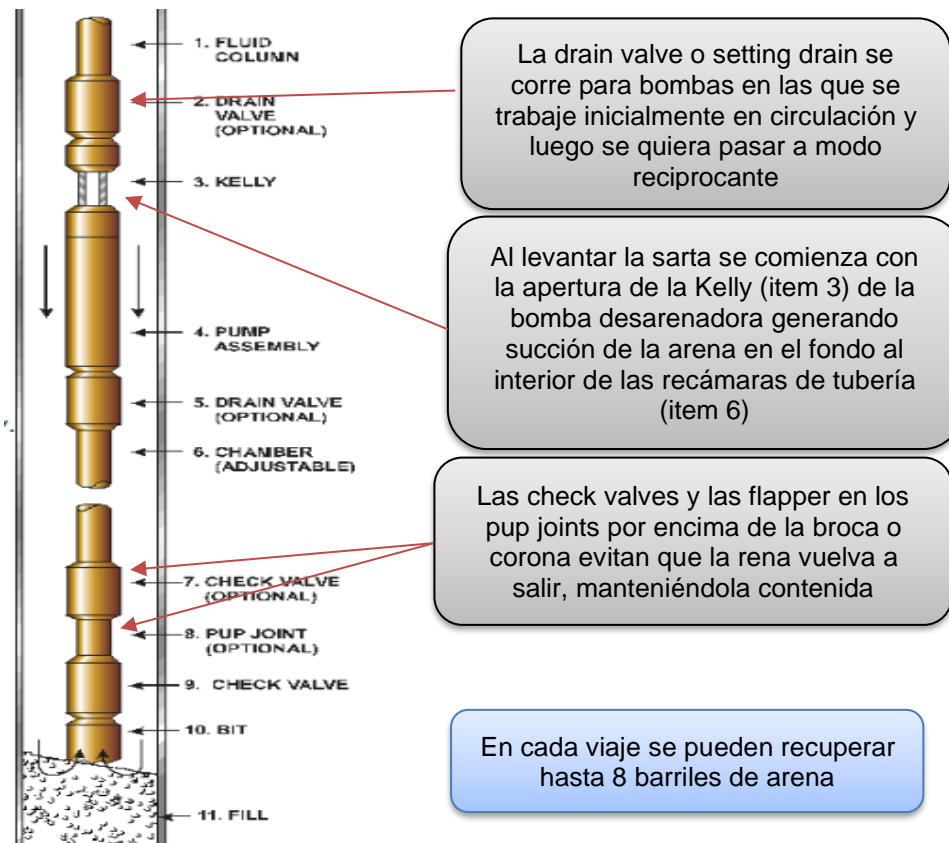


Figura 10. Figura de los componentes de una bomba desarenadora¹⁴

4.3.2. Operaciones de pulling de bombas electrosumergibles

Operaciones de pulling de bombas electrosumergibles se realizan cuando el tiempo de vida útil de una bomba electrosumergible ha llegado al límite de su “runlife”, también pueden llevarse a cabo estas operaciones si han ocurrido eventos de bajo aislamiento en el cable de fondo o si ha habido falla mecánica en los componentes del equipo “BES”.

¹⁴ Modificado de Pump tubing bailer, extraída de <https://www.peakcompletions.com/catalog/product/service-tools/remedial-tools/pump-tubing-bailer/erado>, compañía PEAK COMPLETIONS, 2022.

Esta operación consta de la sacada de la sarta del equipo electrosumergible a superficie a velocidad controlada con el fin de garantizar el mayor cuidado al cable de potencia, recuperar todos los accesorios que se instalaron durante la corrida del equipo y proteger la integridad de cada componente de la bomba electrosumergible.

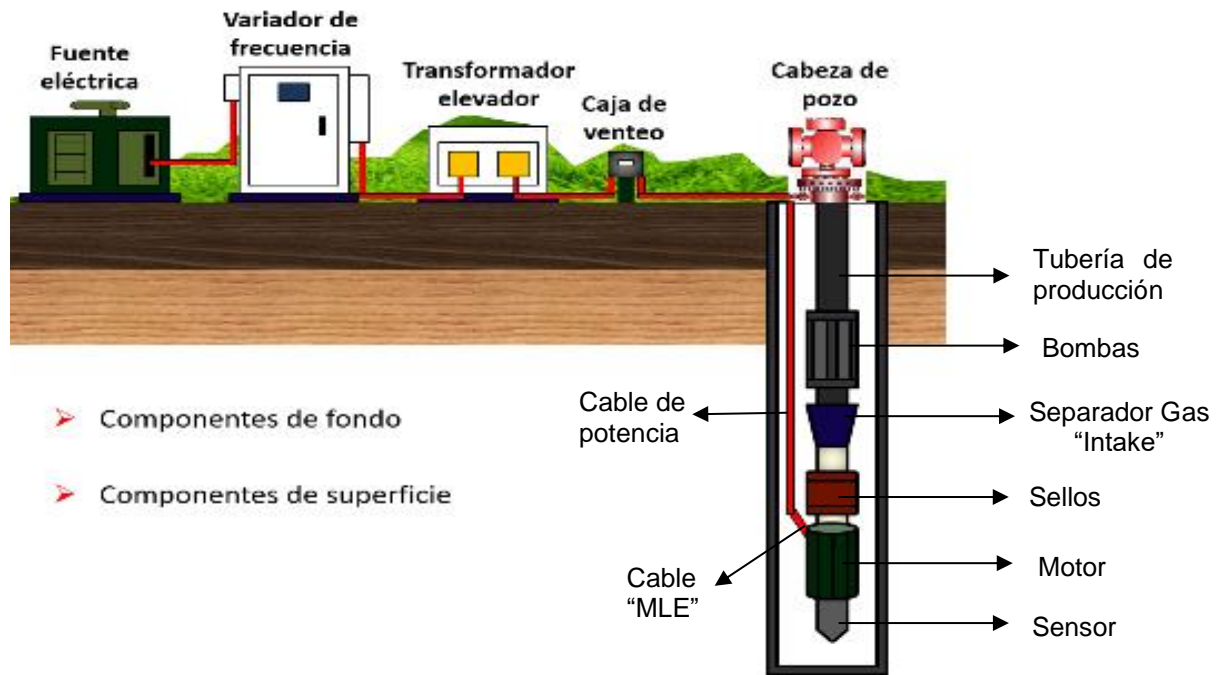


Figura 11. Figura de los componentes de fondo y de superficie de un sistema de bombeo electrosumergible¹⁵

4.3.3. Operaciones de fishing o pesca de tubería

Las operaciones de "fishing" o pesca, se realizan con el fin de recuperar tubulares dejados en el pozo ya sea por pegas de tuberías, producto de rupturas de sarta por excesiva corrosión o descuidos durante operaciones rutinarias de workover o completamiento "aperturas de cuña durante arme de ensambles de fondo", esta operación consta de la corrida de herramientas diseñadas con un sistema de "catchers" o "grapas" específicos para el tipo de tubería a recuperar, es muy

¹⁵ MORALES PÉREZ, Alfonso y MEJÍA GÓMEZ, Jose Luis. Componentes de fondo y superficie de un equipo electrosumergible. Trabajo de grado: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL DESEMPEÑO ELÉCTRICO DEL BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE COMO MÉTODO DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL EN POZOS DE PRODUCCIÓN EN DOS CAMPOS DIFERENTES, A TRAVÉS DE UN ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y ANÁLISIS NODAL DE FONDO. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingenierías Físico-Química, 2010.

indispensable conocer los parámetros de calibración del “top of fish” para tener certeza de armar el pescante adecuado y recuperar el tubular dejado en pozo.



{4} 4-3/4" DC



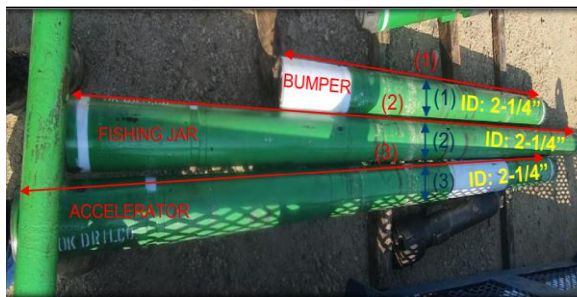
Grapple de 3-3/4"



5-3/4" Overshot shortcatch 5-70



Grapple de 3-3/4"



Set de impacto “martillos”



Releasing spear y su grapa



Longitudes
 (1): 2,92 ft
 (2): 1,27 ft
 (3): 0,91 ft

Diametros:
 (1): 4-3/4"
 (2): 3-11/16"
 (3): 3"
 (4): 2-3/16"

“Taper Tap” o Rabo de rata



Longitudes:
 (1): 2,62 ft
 (2): 0,81 ft (Releasing point)

Diametros:
 (1): 4-3/4"

Junta de seguridad “Safety joint”

Figura 12. Fotografías de las herramientas de pesca más comúnmente usadas en operaciones de Gran Tierra Energy¹⁶

¹⁶ Fuente: Los autores.

4.3.4. Operaciones de molienda o “Milling”

Durante las operaciones de workover, es frecuente realizar estas operaciones de “milling” o molienda para establecer comunicaciones de zonas aisladas previamente mediante un empaque, también se efectúa para recuperar profundidad en pozos donde no fue posible recuperar una sarta mediante una operación de “fishing” o pesca de tubería.

Generalmente se usan una serie de moledores “junk mills”, brocas “bits” o “taper mills”, van conectados a unos tubulares llamados “junk baskets” o canastas los cuales ayudan a recuperar chatarra generada durante las operaciones de molienda mediante rotación, torque y peso aplicado a la sarta.



Figura 13. Fotografías de los Moledores más comúnmente usadas en operaciones de Gran

Tierra Energy¹⁷

¹⁷ Fuente: Los autores.

4.3.5. Operaciones de Slick Line

Toda sarta de completamiento selectivo de pozos productores o inyectoros, contienen accesorios de “flow control” los cuales pueden ser operados a través de unas herramientas que se corren con cable dentro de la tubería que va desde los 5/32” a los 7/16” de diámetro, éstas operaciones con cable o “slick line” se realizan con la finalidad de establecer la selectividad en el completamiento, la apertura y cierre de los “sliding sleeve” o camisas de circulación permitiendo la producción de un intervalo cañoneado en específico y el aislamiento de un intervalo deseado, generando la ventaja de estudiar cada zona cañoneada por separado obteniendo data relevante para estudiar cada zona de interés.

En la siguiente imagen, se aprecian los equipos y componentes de superficie necesarios para realizar una operación de “slick line”:

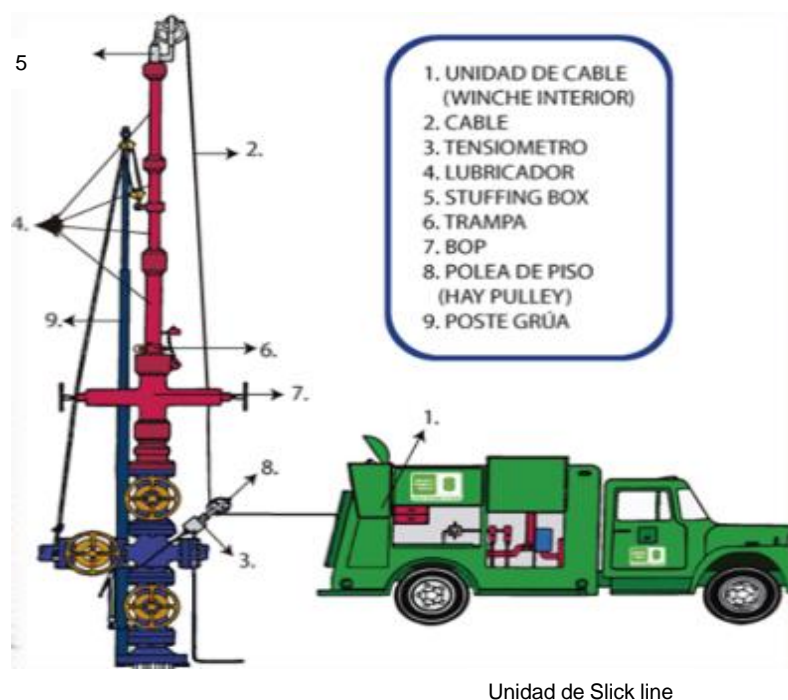


Figura 14. Equipos requeridos para operaciones de “slick line”¹⁸

¹⁸ Modificado de Operaciones de servicio a pozos y workover, extraída de slick line basics – <https://slideplayer.es/slide/5250792/>, Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingenierías Físico-Química, 2015.

Como se observa en la Figura 14, los equipos básicos de superficie para una operación de slick line, constan de dos poleas, una inferior y paralela a la unidad de slick line (item 8), una polea superior a 90° respecto al cable saliente de la unidad, un equipo de control de presión primario “lubricadores”, los cuales deben contener la longitud total de la sarta de slick line una vez se corra al hueco, tiene un “stuffing box” en su parte superior, el cual consta en un juego de elastómeros que recubren el cable y cumplen las funciones de mantener las presiones del pozo contenidas y la guaya limpia durante sus viajes de corrida al pozo.

5. ANÁLISIS DEL MODELO ACTUAL DE RECOPIACIÓN Y DIVULGACIÓN DE LECCIONES APRENDIDAS EN GRAN TIERRA ENERGY EN OPERACIONES DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER.

En las operaciones de completamiento y workover en Gran Tierra Energy, gran parte de situaciones en las que se presenta sobre ejecución de costos, incidentes o accidentes, afectaciones a equipos, personal y al medio ambiente están en su mayoría relacionadas con eventos reiterativos, los cuales en su momento generaron una debida investigación, reporte y lección aprendida, pero a pesar de ellos vuelven a repetirse por la falta de un sistema o mecanismo óptimo para su continua divulgación y socialización.

El mecanismo actual que usa la empresa desde el año 2018 para el almacenamiento de lecciones aprendidas mediante el programa “Misión Vida”, consta de una plataforma en línea “acceso vía internet” en donde se recopila un sin número de presentaciones en power point con todas las lecciones aprendidas en formatos que pesan alrededor de 4-6 megabytes cada archivo, ocasionando dificultad incluso para su descarga debido a la poca cobertura de red o anchura de banda que tienen actualmente contratados los servicios de red en todas las plataformas petroleras en las que opera gran tierra Energy.

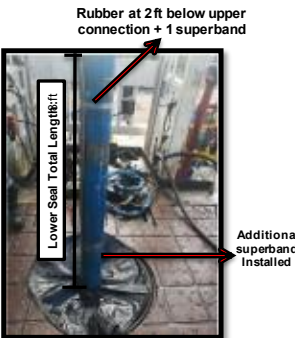
Adicionalmente la base de datos de lecciones aprendidas no cuenta con una división o clasificación de acuerdo con el tipo de operación en la que se capturó dicha lección aprendida.

A continuación se presentan y analizan cinco ejemplos de lecciones aprendidas usando el modelo actual empleado en Gran Tierra Energy en formato .ppx:


LESSONS LEARNED

Event: Additional superbands on ESP assembly.
Root Cause: Uncentered rubber on Lower Seal of Alkhorayef's ESP.
Date: 09/07/2021 **Well:** Costayaco 43

Description of Event/ Failure	<ul style="list-style-type: none"> ○ During ESP installation on Costayaco 43 well, it was necessary to install (1) additional Superband on the MLE in comparison of the original plan in the Completion program adding more accessories than represent a risk of lost in hole during a future Pulling.
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> ○ The Rubber on Lower Seal of the Alkhorayef's ESP is located 2 ft below upper connection and the total length of the Seal is 8.93 ft. It must be located at 4 ft in the middle of the Seal.
Lessons Learned	<ul style="list-style-type: none"> ○ It is recommended in future operations assembling the rubber that protects the MLE, in the middle of the ESP component so that avoids to install additional accessories out of the original program of ESP running.



Lessons Learned: Costayaco 43



1. CoManDay;
 2. CoManNight;
 3. CoManAssistant

Figura 15. Superbandas adicionales en ensamblaje ESP¹⁹

Como se evidencia en la Figura 15, el formato .ppx de lecciones aprendidas consta de los siguientes componentes:

- **Event:** Breve descripción del suceso.
- **Root Cause:** Detalle de la causa raíz del evento una vez efectuado el análisis.
- **Date:** Fecha en formato, día / mes / año del momento en el que sucede la eventualidad.
- **Well:** Nomenclatura del pozo donde ocurre el evento.
- **Description of Event:** Descripción detallada de la falla o suceso (algunas veces se incluye fotografía del suceso o evento).
- **Lessons Learned:** Lecciones aprendidas y recomendaciones respecto al suceso acontecido.

El análisis de incidente o falla, la causa raíz y la lección aprendida son bastante claras y concisas, por un mal diseño en las “Rubber Bars” o “guías” en los sellos de un equipo “BES”, fue necesaria la instalación de una superbanda adicional para proteger la

¹⁹Evento de superbandas adicionales en ensamblaje ESP, programa “Misión Vida” usado por la compañía Gran Tierra Energy, 07/09/2021, en un pozo operado por Gran Tierra Energy.

integridad del cable “MLE”, este evento ocurrió en un pozo operado por la empresa Gran Tierra Energy el día 09/07/2021, el cual tuvo como implicación costos adicionales por instalar más accesorios de los inicialmente programados, además, entre más “superbandas” se instalen en un Equipo BES, incrementa la probabilidad de que estas “superbandas” se pierdan en el pozo luego de realizar el Pulling del equipo “BES” cuando haya finalizado su “Runlife”.

LESSONS LEARNED

▶


⚠


Event: Longer time due too ESP not pre -inspection.

Root Cause: Poor ESP assembly procedure.

Date: 6/07/2021 **Well:** Cohembi-7

Description of Event/ Failure	<ul style="list-style-type: none"> ○ During ESP installation on Cohembi-7 well, more time was required to fill out the ESP seals. (pre-filling)
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> ○ Poor ESP pre-inspection prior to being shipped to well. Corresponds to Baker Hughes.
Lessons Learned	<ul style="list-style-type: none"> ○ It is recommended for future operations to carry out pre-inspections of the ESP before being sent to the well.





Lessons Learned: Cohembi-7



2

Figura 16. Extra-tiempo debido a una mala inspección previa del ensamblaje ESP.²⁰


El evento de la Figura 16, es un evento que ha sido reiterativo, en la gran mayoría de instalación de equipos “BES”, los componentes se solicitan al proveedor listos para su instalación y con el prellenado de aceite dieléctrico realizado, sin embargo al ser recibidos en pozo y durante el arme se evidencian fallas en el prellenado y falta de aceite dieléctrico, haciendo necesario realizar la operación de prellenado en pozo tomando tiempos incurridos de hasta (2) horas por equipo prellenado, evidenciando una falla reiterativa en las inspecciones previas y control de calidad realizado al equipo “BES” en base del proveedor antes de ser enviado al cliente.

²⁰ Evento de Extra-tiempo debido a una mala inspección previa del ensamblaje ESP, “Misión Vida” usado por la compañía Gran Tierra Energy, 07/06/2021, en un pozo operado por Gran Tierra Energy.

LESSONS LEARNED

Event: RIH Wireline string + 7" Sump packer w/o PCE
Root Cause: Wireline lubricator flange with small internal diameter section
Date: 10/20/2020
Well: ACORDIONERO 35

Description of Event/Failure	<ul style="list-style-type: none"> Once finished to Connected Baker 20 setting tool + wireline adapter kit + 7" Sum Packer Assy, Hoisted SumPacker with crane to travel block and wireline pulleys and Tried to RIH Sum Packer and found restriction on wireline adapter flange, due to the adapter flange have and small internal diameter section of 6". It was necessary Removed PCE wireline and adapter flange and performed MOC to RIH Sum Packer w/o PCE.
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> Wireline lubricator flange with small internal diameter section which it was not possible pass through it w/ 7" Sum packer .
Lessons Learned	<ul style="list-style-type: none"> All tools to be used in the well, even PCE must be reviewed prior to be shipped by contractor (Documents) and once arrived to GTE operations, Technical information such as ID, OD, pressure rating, functionality test document supports, certifications and inspections must be inspected . In this way, there is a guarantee that the tools to be ran in the hole pass through this tools avoiding Overcost and Nonproductive times and delays . In addition, these have to be calibrated on site.



Lessons Learned ACD 35

GranTierra Energy

Figura 17. Diámetro reducido en flanche del equipo de control de presión de Wireline.²¹

El evento en la figura 17, aunque no es reiterativo es bastante crítico, debido a que por la reducción del diámetro interno del flanche en el equipo de control de presión de Wireline, fue necesario correr un empaque al pozo sin hacer uso de una de las barreras primarias de control de pozo, un evento de alta criticidad donde se radicó un documento de manejo del cambio “MOC” para poder dar continuidad a la operación.

²¹ Evento de diámetro reducido en flanche del equipo de control de presión de wireline, “Misión Vida” usado por la compañía Gran Tierra Energy, 20/10/2020, en un pozo operado por Gran Tierra Energy.

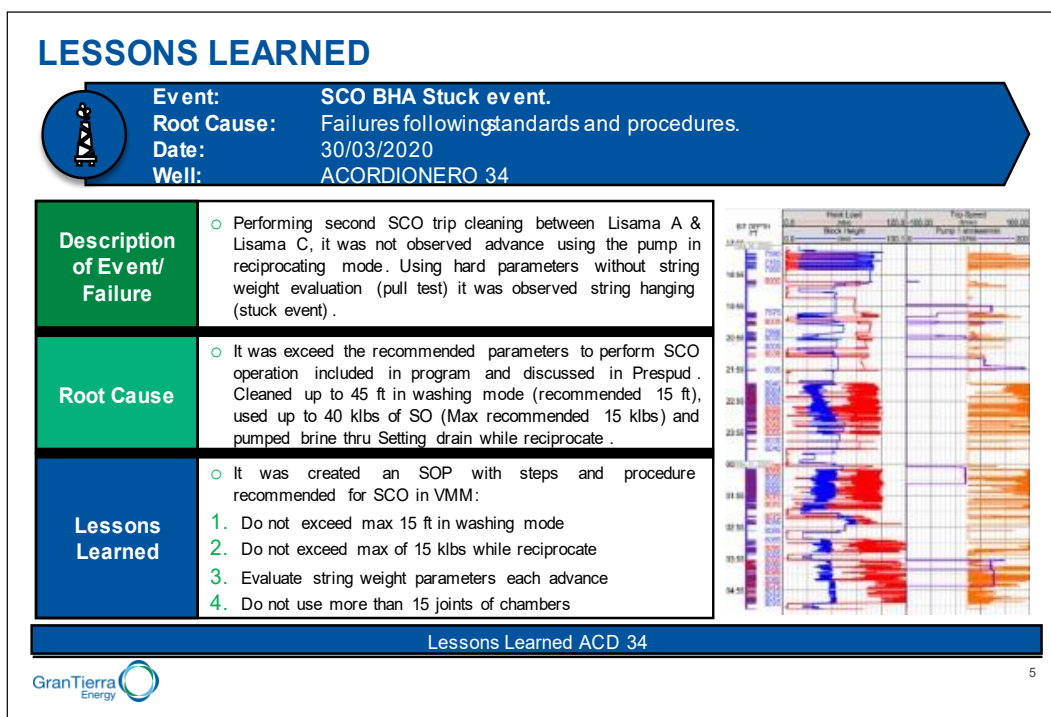


Figura 18. Fallas omitiendo procedimientos estándar en operaciones de Sand Clean Out

“SCO”.²²

En la figura 18, se tiene otro evento reiterativo debido al no seguimiento de procedimientos estándares y el uso de parámetros excesivos de trabajo en operaciones de limpieza de arena, lo que conllevó a una pega de sarta por la no verificación de peso libre subiendo y posterior decantación de arena.


²² Fallas omitiendo procedimientos estándar en operaciones de Sand Clean Out “SCO”, “Misión Vida” usado por la compañía Gran Tierra Energy, 30/03/2020, en un pozo operado por Gran Tierra Energy.

GranTierra Energy

LESSONS LEARNED

Event: 2.31" Production SSD Failure.
 Root Cause: Sliding sleeve door mechanical issue.
 Well: Moqueta 3, Date: 15/04/2019.

Description of Event/Failure	<ul style="list-style-type: none"> In order to perform stimulation in T sand formation during Rigless operation in moqueta 3 tried to open several times 2.31" WXO production sleeve @ 4545 ft with out success. It was not possible open sliding sleeve in spite of have ran in hole locative, selective and positive shifting tool.
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> Sliding sleeve door mechanical damaged.
Lessons Learned/ Opportunity for Improvement	<ul style="list-style-type: none"> Prior to start opening & closing SSD operations be careful about completions age, SSD door stuck and all associated risks. Evaluate if it is better use separations sleeves to avoid this problems. During operations with high risk regarding sliding sleeve issues. It is suggested have a Knife perforator tool available on location as contingency plan in case of SSD failures.



LESSONS LEARNED MOQUETA 3D

GranTierra Energy

1. Company Man: Victor Espinoza.
 2. Company Night: Elberto Palencia.
 3. Asistente Co Man: Sebastian Vidal.

27

Figura 19. Falla mecánica en camisa de producción 2.31" durante intento de apertura en corridas de Slick line.²³

En este último evento presentado en la Figura 19, se tiene otro evento reiterativo en operaciones de slick line, operaciones bastante frecuentes en los campos de Gran Tierra Energy en donde se presentan completamientos con bombeo hidráulico y completamientos de sarta de producción e inyección selectivas. Los operadores de slick line suelen desconocer o no tener fácil acceso a los eventos y trazabilidades de cada pozo en particular lo que conlleva a repetir errores y corridas de slick line perdidas por fallos en componentes y accesorios del completamiento que ya han sido previamente reportados o identificados.

Estos eventos, sucesos y problemas operacionales reiterativos indican que no se está plasmando la lección aprendida, al entrevistar a los trabajadores que llevaban más de (8) años laborando con la compañía acerca de estos sucesos y eventos, todos argumentaron que nunca habían presenciado algo como esto, concluyendo de esta

²³ Falla mecánica en camisa de producción 2.31" durante intento de apertura en corridas de slick line, "Misión Vida" usado por la compañía Gran Tierra Energy, 15/04/2019, en un pozo operado por Gran Tierra Energy.

manera que no se está llevando a cabo una buena trazabilidad, seguimiento y divulgación de estos sucesos que generan lecciones aprendidas.

Se identificó internamente en la compañía que una posible fuente de esta falla en las socializaciones de las lecciones aprendidas estaba asociada en primera medida al difícil acceso a las mismas mediante la plataforma en línea de “Misión vida”, también a la no clasificación detallada de estos eventos haciendo imposible encontrar uno en particular, razón por la cual se encienden las alertas en la empresa con el fin de establecer una acción de mejora en cuanto a la optimización de operaciones de completamiento y workover.

6. MEDICIÓN DE IMPACTOS ECONÓMICOS OCASIONADOS POR INCIDENTES OPERATIVOS REITERATIVOS EN OPERACIONES DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER

Para el desarrollo del presente capítulo, se analizaron los impactos económicos generados por los cinco eventos o incidentes operativos en las lecciones aprendidas mencionadas y explicadas en el capítulo anterior (Figuras 15 – 19), a cada evento se le denominó “caso” para el propósito de este ejercicio.

- Caso # 1: “Figura 15” *Superbandas adicionales en ensamblaje ESP.*
- Caso # 2: “Figura 16” *Extra-tiempo debido a una mala inspección previa del ensamblaje ESP.*
- Caso # 3: “Figura 17” *Diámetro reducido en flanche del equipo de control de presión de Wireline.*
- Caso # 4: “Figura 18” *Fallas omitiendo procedimientos estándar en operaciones de Sand Clean Out “SCO”.*
- Caso # 5: “Figura 19” *Falla mecánica en camisa de producción 2.31” durante intento de apertura en corridas de Slick line.*

Para el Caso # 1, a continuación, se tabulan los costos asociados a la instalación de superbandas adicionales, así como las corridas contingentes que se requerirán para recuperar las superbandas cuando se efectúe el pulling del equipo “BES”.

- ✓ **Caso # 1: Tabla 1. Costos asociados al Caso # 1: Superbandas adicionales en ensamblaje ESP.**

Item	Costo unitario \$ USD	Cantidad (QTY)	Costo Total \$ USD	Costo Total \$ USD + IVA 19%.
Superbanda Magnética	150	1	150	178.5
Movilización y desmovilización / Unidad de SL	2,500	1	2,500	2,975

Cargo Básico de unidad de SL (incluyendo herramientas de pesca)	3,000	1	3,000	3,570
Costo por personal operativo	750	1	750	892.5
Costo Total	-	-	6,400	7,616

Fuente: Los autores.

Como se observa en la tabla # 1, los costos asociados a este evento reiterativo son de **\$ USD 7,616**, incluyendo la corrida contingente requerida para recuperar superbandas posterior al Pulling del equipo BES.

Para el caso # 2, a continuación, se tabulan los costos asociados al tiempo incurrido en la operación de prellenado, tiempo equivalente a (4,0) horas de operación que tomó prellenar los sellos y Motor del equipo "BES". Se realiza la equivalencia en cantidades diarias de lo que representan las (4,0) horas = 0.167 días.

✓ **Caso # 2: Tabla 2. Costos asociados al Caso # 2: Extra-tiempo debido a una mala inspección previa del ensamblaje ESP.**

Item	Costo unitario \$ USD	Cantidad (QTY)	Costo Total \$ USD	Costo Total \$ USD + IVA 19%.
Costo diario del WO Rig	9,500	0.167	1,586.5	1,888
Costo diario de servicios de terceros	11,100	0.167	1,853.7	2,205.9
Misceláneos (Comidas, consumibles) día	2,500	0.167	417,5	496.8
Costo Total	-	-	3858	4,591

Fuente: Los autores.

Los costos del NPT incurrido a la contratista por la operación de prellenado que tomó (4,0) horas operativas fue de **\$ USD 4,591**, incluyendo todos los costos diarios diferidos que afectó esta operación no planeada.

Para el caso # 3, a continuación, se tabulan los costos asociados al tiempo incurrido en la operación de instalación, prueba de presión y desinstalación del flanche del equipo de control de presión de WL, tiempo equivalente a (5,0) horas de operación. Se realiza la equivalencia en cantidades diarias de lo que representan las (5,0) horas = 0.21 días.

Caso # 3: Tabla 3. Costos asociados al Caso # 3: Diámetro reducido en flanche del equipo de control de presión de Wireline.

Item	Costo unitario \$ USD	Cantidad (QTY)	Costo Total \$ USD	Costo Total \$ USD + IVA 19%.
Costo diario del WO Rig	9,500	0.21	1,995	2,374
Costo diario de servicios de terceros	11,100	0.21	2,331	2,774
Misceláneos (Comidas, consumibles) día	2,500	0.21	525	625
Costo Total	-	-	4,851	5,773

Fuente: Los autores.

Los costos del NPT incurrido a la contratista por la operación de instalación del flanche del equipo de control de presión, prueba de integridad y desinstalación del mismo por la reducción en su diámetro interno fue de **\$ USD 5,773**, incluyendo todos los costos diarios diferidos que afectó esta operación no planeada.

En el caso # 4, a continuación, se tabulan los costos asociados al tiempo incurrido en la operación de trabajo de “pega de tubería” durante el sand clean out “SCO”, tiempo de trabajo de sarta y fluidos adicionales bombeados al pozo para liberar la sarta,

tiempo equivalente a (9) horas de operación. Se realiza la equivalencia en cantidades diarias de lo que representan las (9,0) horas = 0.37 días

- ✓ **Caso # 4: Tabla 4.** *Costos asociados al Caso # 4: Fallas omitiendo procedimientos estándar en operaciones de Sand Clean Out.*

Item	Costo unitario \$ USD	Cantidad (QTY)	Costo Total \$ USD	Costo Total \$ USD + IVA 19%.
Costo diario del WO Rig	9,500	0.37	3,515	4,183
Costo diario de servicios de terceros	11,100	0.37	4,107	4,887
Costo de fluido bombeado (Saco de KCL mas aditivos)	45	40	1,800	2,142
Misceláneos (Comidas, consumibles) día	2,500	0.37	925	1,101
Costo Total	-	-	10,347	12,313

Fuente: Los autores.

Los costos asociados a la operación de trabajo de la sarta y fluido adicional bombeado para la liberación de la pega del BHA de “WBCO” fueron de **\$ USD 12,313**, incluyendo todos los costos diarios diferidos que afectó esta operación no planeada.

Para el caso # 5, a continuación, se tabulan los costos asociados al tiempo incurrido en la operación de trabajo de apertura de camisa 2.31” WXO, se realizaron en total (3) corridas para un tiempo de operación no planeada de 4.5 horas. Se realiza la equivalencia en cantidades diarias de lo que representan las (4,5) horas = 0.19 días

- ✓ **Caso # 5: Tabla 5.** *Costos asociados al Caso # 5: Falla mecánica en camisa de producción 2.31” WXO durante intento de apertura en corridas de slick line.*

Item	Costo unitario \$ USD	Cantidad (QTY)	Costo Total \$ USD	Costo Total \$ USD + IVA 19%.
Costo diario del WO Rig	9,500	0.19	1,805	2,148
Costo diario de servicios de terceros	11,100	0.19	2,109	2,510
Misceláneos (Comidas, consumibles) día	2,500	0.19	475	565
Costo Total	-	-	4,389	5,223

Fuente: Los autores.

Los costos asociados a las (3) corridas de slick line realizadas al intentar abrir la camisa 2.31" WXO desconociendo el estado fallido del "closing" de la camisa de producción previamente reportado y divulgado, tuvieron una implicación de costos no planeados de **\$ USD 5,223**, incluyendo todos los costos diarios diferidos que afectó esta operación no planeada.

Como se aprecia en el ejercicio, solo en estos (5) ejemplos de eventos reiterativos en donde se desarrolló una lección aprendida, hubo una implicación de costos por un total de **\$ USD 35,516**, estadísticamente en la compañía se generan cerca de (15) lecciones aprendidas semanales en el área de completamiento y workover, de las cuales alrededor de unas (10) tienen alguna implicación de costo asociado, por esta razón se deben centrar esfuerzos en buscar la forma de realmente plasmar y socializar la lección aprendida para que estos eventos con repercusiones de costos no sean reiterativos.

7. RECOPIACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS LECCIONES APRENDIDAS DE ACUERDO CON CADA FASE OPERATIVA DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER

El propósito de este capítulo es establecer una forma de clasificación y organización de las lecciones aprendidas de acuerdo con las fases operativas de un completamiento y workover, por último, se usarán los ejemplos de lecciones aprendidas vistas en el capítulo (3) y se clasificarán de acuerdo con las etapas operativas desarrolladas en este capítulo.

Una vez recopiladas todas las lecciones aprendidas, se clasificarán de acuerdo con cada una de las siguientes etapas operativas:

- ❖ Completamiento Inicial: Abarcarán todas las lecciones aprendidas involucradas en cada etapa de un completamiento inicial.
- ❖ Workover: Abarcarán todas las lecciones aprendidas involucradas en las distintas operaciones llevadas a cabo en el workover de un pozo.

7.1. Completamiento Inicial

En las operaciones llevadas a cabo en Gran Tierra Energy, el completamiento inicial consta de las siguientes fases operativas:

- 1) Movilización y desmovilización del taladro o Rig a utilizar.
- 2) Well bore clean out (WBCO).
- 3) Registros eléctricos (Logging).
- 4) Cañoneo (TCP o Wireline casing gun).
- 5) Corrida de completamiento final (Selectivo productor o inyector).

7.2. Workover

Para las operaciones de workover, se mencionan las fases operativas más comúnmente llevadas a cabo en la empresa Gran Tierra Energy:

- 1) Running y Pulling de un equipo electrosumergible (ESP).
- 2) Sand clean out (SCO).
- 3) Operaciones de pesca (Fishing).
- 4) Operaciones de Molienda (Milling).
- 5) Operaciones de Slick Line.
- 6) Cambio del sistema de levantamiento artificial (ALS Change).
- 7) Corrida de sistema PCP.
- 8) Corrida de sistema Rod Pumping.
- 9) Corrida de sistema Jet Pumping.
- 10) Estimulación (Acidificaciones - HPS).
- 11) Re-cañoneo de zonas.

7.3. Clasificación de lecciones aprendidas

A continuación, se enlistan y clasifican las (5) lecciones aprendidas vistas en el capítulo (3):

- Superbandas adicionales en ensamblaje BES --- *Figura 15, Pág. 32.*
- Extra-tiempo debido a una mala inspección previa del ensamblaje ESP – *Figura 16, Pág. 33.*
- Diámetro reducido en flanche del equipo de control de presión de Wireline – *Figura 17, Pág 34.*
- Fallas omitiendo procedimientos estándar en operaciones de Sand Clean Out “SCO”– *Figura 18, Pág 35.*
- Falla mecánica en camisa de producción 2.31” durante intento de apertura en corridas de Slick line – *Figura 19, Pág 36.*

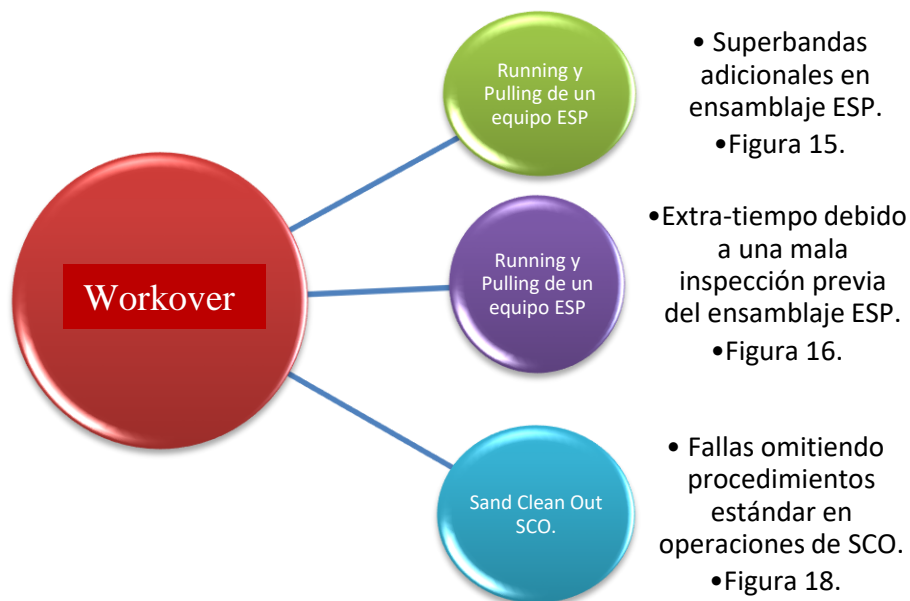


Figura 20. Clasificación de lecciones aprendidas pertenecientes a operaciones de workover en pozos de la empresa Gran Tierra Energy.²⁴

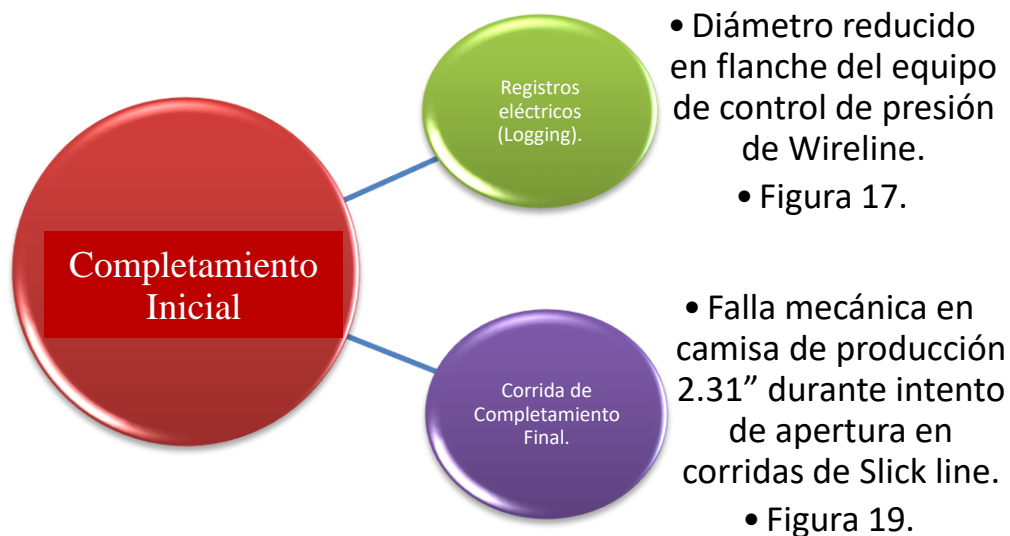


Figura 21. Clasificación de lecciones aprendidas pertenecientes a operaciones de Completamiento inicial en pozos de la empresa Gran Tierra Energy.²⁵

Como se aprecia en las Figuras 20 y 21, se realizó la clasificación de cada una de las (5) lecciones aprendidas vistas en el capítulo (3) de acuerdo con la fase operativa,

²⁴ Fuente: Los autores.

²⁵ Fuente: Los autores.

inicialmente se analiza la lección aprendida y se establece si pertenece a una operación de completamiento inicial o una operación de workover, para posteriormente subclasificarse en la fase operativa correspondiente.

De esta manera se creará la estructura inicial para todas las lecciones aprendidas que actualmente se han generado en la empresa Gran Tierra Energy, las cuales están almacenadas en una base de datos conjunta, sin ninguna clasificación ni estructuración y también se facilitará la búsqueda cuando se desee consultar alguna lección aprendida en específico.

8. PROPUESTA DE APLICATIVO MÓVIL PARA SISTEMATIZAR LA INFORMACIÓN DE LECCIONES APRENDIDAS DE MANERA PRÁCTICA Y REMOTA, GARANTIZANDO UNA ÓPTIMA GESTIÓN EN OPERACIONES DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER.

Las tecnologías móviles y su continuo avance propician una nueva generación de “aplicaciones móviles”, las cuales son aquellos softwares desarrollados para dispositivos móviles (aquellos dispositivos a los que se puede acceder desde cualquier lugar y momento a los datos y aplicaciones). Estos tipos de aplicaciones móviles se desarrollan teniendo en cuenta las capacidades del propio dispositivo, así como su ancho de banda “internet” y las capacidades de almacenamiento, etc. Estos dispositivos son suficientemente ligeros como para ser transportados por personas de cualquier edad y cuenta con una capacidad suficiente de batería para funcionar de manera autónoma.

Los sistemas operativos para móviles son mucho más simples que los de una computadora y están más orientados a la conectividad inalámbrica. Comúnmente existen tres tipos en las que se pueden clasificar las aplicaciones móviles: aplicaciones nativas, aplicaciones web y aplicaciones híbridas.

- Aplicaciones nativas: se basan en la instalación de código ejecutable en el dispositivo del usuario creado. Se tiene la gran ventaja de acceder a las funciones del dispositivo, como, por ejemplo: almacenamiento, SMS (servicio de mensajes cortos) sin contar con acceso a internet.
- Aplicaciones web: se encuentran ejecutándose en servidores, incluyendo páginas web optimizadas para ser visualizadas en dispositivos móviles y se pueden desarrollar en HTML, Java Script, CSS, etc, requiere flujo constante de internet para su acceso y navegación.
- Aplicaciones Híbridas: Una aplicación híbrida **es independiente de los sistemas operativos iOS y Android**, son una mezcla de las dos anteriores. En ellas se aprovecha la versatilidad del desarrollo de una aplicación web con HTML5, CSS y Javascript, permitiendo el uso de algunas de las funciones

hardware, disponibles en las aplicaciones nativas y que no se podían usar en las aplicaciones web.

Coste de Desarrollo	Bajo	Medio	Alto
Tiempo de Desarrollo	Corto	Medio	Largo
Mantenimiento	Fácil	Medio	Complejo
Experiencia de Usuario	Buena	Bastante Buena	Excelente
Funcionalidad Offline	Compleja	Compleja	Fácil
Acceso al dispositivo	Parcial	Alto/Complejo	Completo
Velocidad	Rápida	Rápida	Muy Rápida
App Stores	No disponible	Disponible (con limitaciones)	Disponible
Portabilidad del código	Completa	Alta	Nula
Seguridad	Normal	Normal	Alta

Figura 22. Comparativo de los tipos de aplicaciones: Web, Híbrida y Nativa.²⁶

Para el propósito de este ejercicio, la propuesta de aplicativo móvil que más se ajusta a los intereses de la compañía en cuanto a la experiencia del usuario, funcionalidad offline (por la baja cobertura de internet en los campos petroleros) y el nivel alto de seguridad (manteniendo el alto grado de confidencialidad de información requerido), se basa en una aplicación de tipo **nativa**, es decir que se basan en la instalación de código ejecutable en el dispositivo del usuario creado. Se tiene la gran ventaja de acceder a las funciones del dispositivo, como, por ejemplo: almacenamiento, SMS (servicio de mensajes cortos) sin contar con acceso a internet, lo cual sería ideal en este campo debido a la baja cobertura de internet con la que se cuenta en los campos petroleros operados por Gran Tierra Energy.

²⁶ Comparativo de los tipos de aplicaciones: Web, Híbrida y Nativa (2019). Disponible en <https://www.gsoft.es/articulos/que-necesito-web-apps-app-nativa-o-app-hibrida/>.

En este capítulo se desarrolla una propuesta de aplicativo con base en la información de lecciones aprendidas recopilada y estructurada, se establecerán los parámetros de entrada requeridos, así como el acceso a una base de datos sistematizada y al alcance de los líderes en cada área operativa del Completamiento y workover.

Para el desarrollo de la propuesta del aplicativo móvil, se necesitarán de los siguientes elementos:

- Base de datos: se creará una base de datos compilatoria con todas las lecciones aprendidas organizadas y divididas de acuerdo con el área y fase operativa a la que correspondan (Completamiento inicial o workover).
- Se incluirá en el encabezado de cada plantilla de la lección aprendida, dos “items” que hagan referencia al área operativa a la que pertenece, como se puede observar en el siguiente ejemplo: “Figura 18”:

LESSONS LEARNED

Items
Incluidos

Operation: Workover
Phase: Sand Clean Out "SCO"
Event: SCO BHA Stuck event.
Root Cause: Failures following standards and procedures.
Date: 30/03/2020
Well: ACORDIONERO 34

Description of Event/ Failure	Root Cause	Lessons Learned
Description of Event/ Failure	<ul style="list-style-type: none"> ○ Performing second SCO trip cleaning between Lisama A & Lisama C, it was not observed advance using the pump in reciprocating mode. Using hard parameters without string weight evaluation (pull test) it was observed string hanging (stuck event). 	
Root Cause	<ul style="list-style-type: none"> ○ It was exceed the recommended parameters to perform SCO operation included in program and discussed in Prespud. Cleaned up to 45 ft in washing mode (recommended 15 ft), used up to 40 klbs of SO (Max recommended 15 klbs) and pumped brine thru Setting drain while reciprocate. 	
Lessons Learned	<ul style="list-style-type: none"> ○ It was created an SOP with steps and procedure recommended for SCO in VMM: <ol style="list-style-type: none"> 1. Do not exceed max 15 ft in washing mode 2. Do not exceed max of 15 klbs while reciprocate 3. Evaluate string weight parameters each advance 4. Do not use more than 15 joints of chambers 	

Lessons Learned ACD 34

Una vez incluidos estos (2) ítems, se facilitará la búsqueda de la lección aprendida que se desee consultar en la base de datos.

- Mediante el uso de herramientas de programación, se construirá el aplicativo móvil nativo para las dos plataformas de tecnología móvil más usadas comúnmente: Android y ios.
- Se crearán usuarios y contraseñas de acceso al aplicativo, los cuales deberán ser autorizados por la superintendencia de operaciones de completamiento y workover para su uso responsable manteniendo la confidencialidad.
- Se mantendrá una retroalimentación constante de la base de datos, cada mes se actualizará dicha base de datos con las nuevas lecciones aprendidas generadas en la empresa.
- Se harán capacitaciones al personal correspondiente en cuanto al uso del aplicativo, se registrarán las veces de ingreso del personal al día y se corregirán problemas de programación que se presenten.
- El fabricante o programador dará garantía del producto y soporte durante la fase de implementación.

A continuación se presenta un diagrama de flujo de la propuesta de aplicativo a desarrollar mediante el uso de herramientas de programación:



Figura 23. Diagrama de Flujo de propuesta de aplicativo móvil.²⁷

²⁷ Fuente: Los autores.

Como se observa en el diagrama de flujo de la Figura 23, una vez descargado el aplicativo en el teléfono celular, se procederá con el ingreso del usuario y contraseña asignado previa autorización de la superintendencia de operaciones de completamiento y workover, por consiguiente se selecciona el “item” lecciones aprendidas, luego se procede a seleccionar el tipo de operación, si es una lección aprendida perteneciente a una operación de workover o completamiento inicial, luego se selecciona la fase correspondiente a la que pertenece la lección aprendida, encontrando (11) ítems a seleccionar si es una lección aprendida relacionada con la operación de workover y (5) ítems a seleccionar si es una lección aprendida relacionada con el completamiento inicial de un pozo (se podrá realizar la inclusión de más ítems conforme la operación lo requiera y estos se verán reflejados luego de las actualizaciones pertinentes del aplicativo). Lo que se verá a continuación será una imagen en formato .pdf de la lección aprendida seleccionada, la cual podrá ser impresa desde el aplicativo, de esta manera se accederá y divulgará de una manera práctica y segura a todo el personal interesado en la retroalimentación de la lección aprendida.

9. CONCLUSIONES

- Se analizó el modelo actual de recopilación y divulgación de lecciones aprendidas de completamiento y workover usado por la empresa Gran Tierra Energy encontrando lo siguiente:
 - No se cuenta con una clasificación ni estructuración de las lecciones aprendidas.
 - Las lecciones aprendidas se almacenan en formato power point en donde cada archivo pesa entre 4-6 Megabytes generando dificultad para su descarga debido a la poca cobertura de red que se tiene en los campos petroleros operados.
 - Luego de consultar con personal operativo referente a ciertas lecciones aprendidas, se evidencia que no se está llevando una buena trazabilidad, seguimiento ni apropiada divulgación de estos eventos que generan lecciones aprendidas.
- Se efectuó la medición de impactos económicos generados por (5) eventos reiterativos de lecciones aprendidas, teniendo una implicación total de **\$ USD 35,516**, estadísticamente en la compañía por cada (15) lecciones aprendidas, (10) tienen algún tipo de implicación económica.

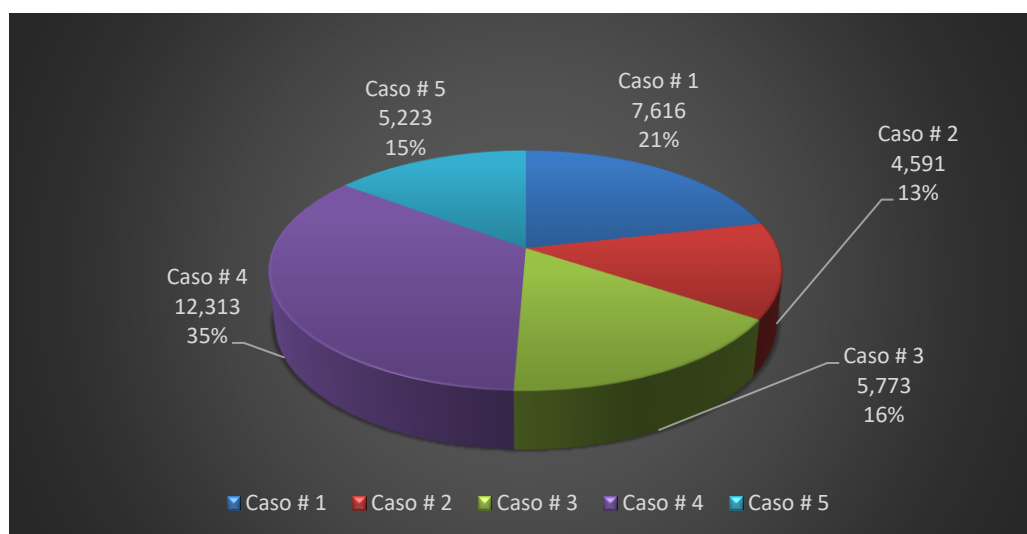


Figura 24: Diagrama de implicación de costos en cinco eventos reiterativos.

- Se realizó la estructuración y clasificación de las lecciones aprendidas de acuerdo con la etapa y fase operativa correspondientes, se efectuó la inclusión de dos “ítems” (Operación y Fase) en cada formato de lección aprendida para poder facilitar su búsqueda específica.

- Se efectuó el planteamiento de propuesta del desarrollo del aplicativo móvil mediante el uso de herramientas de programación para alcanzar los objetivos requeridos por la compañía en cuanto a mejorar el acceso y divulgación de lecciones aprendidas de completamiento y workover disminuyendo los eventos reiterativos, así como los costos de operación retroalimentando a todo el personal involucrado en la operación.

10.RECOMENDACIONES

- Mediante el uso de esta herramienta innovadora, se abren las puertas en la empresa para la inclusión de módulos a futuro en el aplicativo móvil, incluyendo lecciones aprendidas en temas relacionados con “HSE” así como en temas de Perforación y producción de pozos.
- Una vez se desarrolle el aplicativo, se realizarán evaluaciones periódicas y actualizaciones a la base de datos incluyendo las nuevas lecciones aprendidas generadas.
- Se realizarán capacitaciones a todo el personal operativo para familiarizarse con la aplicación y facilitar su acceso y divulgación de las lecciones aprendidas.
- Es importante que una vez sea desarrollado el aplicativo, la superintendencia de operaciones de completamiento y workover genere una lista de las personas que podrán tener acceso al aplicativo, para así mismo crear los usuarios y contraseñas respectivos asegurando la confidencialidad de la información
- Una vez desarrollado el aplicativo móvil, se sugiere evaluar la respuesta del aplicativo móvil en dispositivos “Android” y posteriormente evaluar la viabilidad de su desarrollo para dispositivos “ios”.
- El aplicativo móvil propuesto en este trabajo puede ser actualizado y optimizado, sujetos a nuevas actualizaciones en desarrollo de aplicativos y automatizaciones en herramientas de software.

11. BIBLIOGRAFIA

ALARCON PRADA, Julian Enrique y NAVARRO GOMEZ, Sergio Andres. Diseño de completamiento y del sistema de levantamiento artificial en un pozo con recobro por combustión in-situ mediante analogías. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías. Departamento de Ingeniería de petróleos, 2014. 21 p. [Consultado: 08 de julio de 2022]. Disponible en: Repositorio Educativo Digital UIS.

Comparativo de los tipos de aplicaciones: Web, Híbrida y Nativa (2019). Disponible en <https://www.gsoft.es/articulos/que-necesito-web-apps-app-nativa-o-app-hibrida/>.

GRAN TIERRA ENERGY, Fragmento de un registro URS-CBL-VDL-GR-CCL tomado de un pozo de Gran Tierra Energy, Noviembre 18 del 2016.

GRAN TIERRA ENERGY, Diseño de completamiento selectivo en un pozo de Gran Tierra Energy, Diciembre 09 del 2020.

GRAN TIERRA ENERGY, Evento de “spill” de crudo cargado al programa “Misión Vida”, en un pozo operado por Gran Tierra Energy.

GRAN TIERRA ENERGY, Evento descarga contenida de crudo cargado al programa “Misión Vida”, en un pozo operado por Gran Tierra Energy.

IOPG” *International Association of Oil & Gas Producers*, (2016).Disponible en https://www.researchgate.net/figure/Accidents-in-domain-area-in-2016-Source-IOPG-bench-mark-report-11_fig1_353348524

MORALES PÉREZ, Alfonso y MEJÍA GÓMEZ, Jose Luis. Componentes de fondo y superficie de un equipo electrosumergible. Trabajo de grado: Evaluación técnica y económica del desempeño eléctrico del bombeo electrosumergible. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingenierías Físico-Química, 2010.

RODRIGUEZ, Manual. Ingeniería y medio ambiente [en línea] noviembre 2018, p. 1-1. [consultado: 08 de julio de 2022]. <https://revistas.uniandes.edu.co/doi/abs/10.16924/revinge.26.7>

TORO, Mariana. la economía colombiana se mueve al ritmo del petróleo. *en revista semana*, [en línea]. Bogotá, noviembre 2018, p. 1-1. [consultado: 08 de julio de 2022]. disponible en <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/hidrocarburos-son-el-futuro/articulo/la-economia-colombiana-se-mueve-al-ritmo-del-petroleo/590813/>