

Modelo para Evaluar el Desempeño de los Equipos de Well Services / Workover – Caso de  
Aplicación Campo La Cira Infantas

Ariel Enrique Gómez Quiroga

Trabajo Presentado como Requisito para Optar al Título de Maestría en Ingeniería de Petróleo y  
Gas con Énfasis en Gerencia y Economía de los hidrocarburos

Director

Carlos Fernando Rueda Silva

Master Of Science, Petroleum Engineering

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Químicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Maestría en Ingeniería de Petróleo y Gas con Énfasis en

Gerencia y Economía de los Hidrocarburos

Bucaramanga

2021

## **Dedicatoria**

A Dios que me dio la vida, la oportunidad de estudiar y la salud para levantarme después del accidente. A la virgen María por sus ruegos.

A Maria Fernanda, mi Reina, mi ángel, eres la razón más importante para levantarme cada día y ser mejor, te dedico mi mayor logro académico. Ariel Fernando, mi Príncipe, mi Nengo, que este logro te motive a llegar más lejos que yo. Gabriela, mi Princesa, mi almohadita favorita, que este triunfo te ayude a estudiar con más amor. Juan Diego, mi muñeco, que con mi ejemplo te sientas muy feliz.

A mi madre, Nury Quiroga, mi mejor profesora y modelo. A mi padre, Enrique Gómez, a mi hermana, Ludy Gómez y sobrinos, Gustavo y Valentina, gracias por el apoyo, que con este triunfo se sientan orgullosos de mí. Rosa, mi esposa, quien más me motivó a seguir estudiando, este logro te lo dedico, para que estés más orgullosa de tu Amorcito.

A la Universidad Industrial de Santander, mi alma mater.

## **Agradecimientos**

A Occidental Andina, LLC, por confiar en mis capacidades y apoyar mi desarrollo laboral y personal.

Al Ingeniero Carlos Fernando Rueda, por dirigir este proyecto, por creer en mí y todas sus enseñanzas en estos 18 años trabajando juntos, en las Operaciones de Well Services y Workover de la Superintendencia de Operaciones del Río de Ecopetrol, Operaciones Caño Limón, Operaciones La Cira Infantes y ahora en Operaciones Campo Teca. Al Ingeniero Ricardo Correa, por sus aportes y apoyo en el seguimiento a los equipos de LCI. Ing. José Luis Lozano, el compañero de trabajo ideal que todos debemos tener.

A los Ingenieros Oscar Bautista, Ivan Camilo Gómez, Leandro Franco y Luis Eduardo Delgado, ingenieros de operaciones de OXY en LCI, su trabajo es muy importante, pronto lograrán sus metas y cumplir sus sueños.

A las Ingenieros de la Coordinación de Subsuelo de LCI, dirigidos por el Ingeniero Juan Carlos Hernandez, por trabajar junto con OXY y lograr mejores resultados en beneficio del Proyecto LCI. A los técnicos del taller de bombas, a los Company Man y Asistentes de las operaciones de LCI, son tantos para mencionarlos, les admiro.

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	13
1. Planteamiento del Problema de Aplicación .....	24
1.1 Problema .....	24
1.2 Justificación .....	25
2. Objetivos .....	26
2.1 Objetivo General .....	26
2.2 Objetivos Específicos.....	26
2.3 Alcance .....	26
2.4 Pregunta de Investigación.....	27
2.5 Hipótesis .....	27
3. Marco de Referencia .....	28
3.1 Antecedentes Investigativos.....	28
3.2 Marco Teórico – Conceptual .....	28
3.3 Marco Práctico .....	29
3.4 Marco Legal .....	31
4. Caso Campo La Cira Infantas .....	33

4.1 Actividades Más Frecuentes Well Services / Workover en el Campo la Cira Infantas.....	33
4.1.1 Movilizaciones de equipos de Well Services / Workover .....	34
4.1.2 Trabajos más frecuentes en las operaciones de Well Services / Workover en el Campo La Cira Infantas.....	34
4.1.3 Limpiezas de arena en el Campo La Cira Infantas. ....	36
4.1.4 Tiempo No Productivo (NPT). ....	39
4.2 Metodología propuesta para calcular Eficiencia Operativa.....	39
4.3 Criterios de Operaciones.....	40
4.3.1 Tiempo Promedio de Movilización de Equipos.....	41
4.3.2 Tiempos Promedios de Intervención. ....	40
4.3.3 Limpiezas de Arena. ....	43
4.3.4 NPT – Tiempos no productivos .....	43
4.4 Criterios de Hes.....	44
4.4.1 Incidentes .....	45
4.4.2 Disciplina Operativa .....	45
4.4.3 Insonorización / Cámaras de Video .....	46
4.5 Criterios de Evaluación Definidos – Caso de Aplicación LCI.....	47
4.6 Primera Medición en el Campo la Cira Infantas.....	48
5. Variables Operativas de los Equipos de Well Services / Workover en LCI a Mejorar .....	50
5.1 Movilización de Equipos .....	50
5.2 Tiempos Promedio de Intervención .....	51
5.2.1 Seguimiento diferida operaciones Campo la Cira Infantas.....	52
5.2.2 Seguimiento Limpieza de Arena LCI. ....	53

5.2.3 Seguimiento a Operaciones de Pesca.....	55
5.2.4 Seguimiento a Operaciones de Abandono.....	57
5.2.5 Seguimiento a Índices de Falla.....	58
6. Variables HES de Los Equipos de Well Services / Workover en LCI a Mejorar .....	60
6.1 Reducción Accidentalidad Subsuelo LCI.....	60
6.2 Programa de Mejoramiento de Competencias Integrales en Subsuelo.....	60
6.3 Disciplina Operativa .....	62
7. Resultados.....	63
7.1 Resultados 2018.....	63
7.2 Cambios en Criterios de Evaluación Para 2019.....	64
7.3 Resultados 2019.....	66
7.3.1 Tiempo promedio de movilización de equipos.....	67
7.3.2 Tiempos Promedios de Intervención.....	68
7.3.3 Limpiezas de Arena.....	71
7.3.4 NPT – Tiempos no productivos.....	753
7.3.5 Incidentes.....	75
7.3.6 Disciplina Operativa .....	76
8. Conclusiones.....	78
9. Recomendaciones .....	80
Referencias Bibliográficas.....	81

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Localización del Campo La Cira Infantas .....	14
Figura 2. Histórico de Producción de crudo e Inyección 1918- agosto 2005 Campo la Cira Infantas .....	15
Figura 3. Facilidades de producción e Inyección Campo La Cira Infantas .....	17
Figura 4. Campaña de Perforación Campo La Cira Infantas 2006 – 2019 .....	19
Figura 5. Trabajos con equipos de WO / WS / RSU Campo La Cira Infantas 2006 - 2019.....	20
Figura 6. Producción e Inyección agosto 2005 - 2019 Campo La Cira Infantas .....	21
Figura 7. Histórico de equipos de Workover / Well Services / RSU (Rapid Services Units) en Campo La Cira Infantas 2010 - 2019.....	21
Figura 8. Accidentalidad Subsuelo 2014 – 2107 Campo La Cira Infantas.....	23
Figura 9. Factor de Servicio Equipos de Workover contratados 2008 - 2009 en el Campo La Cira Infantas.....	29
Figura 10. Factor de Servicio Equipos marzo 2018 Campo La Cira Infantas .....	30
Figura 11. Ft Promedio Sucio (inicial y final) vs Área – La Cira Infantas 2018.....	36
Figura 12. Metodología para evaluar la Eficiencia Operativa – Caso de aplicación La Cira - Infantas.....	39
Figura 13. Criterios de Evaluación Eficiencia Operativa equipos Well Services / Workover 2018 en LCI .....	47
Figura 14. Ranking Equipos Workover / Well Services marzo de 2018 Campo La Cira Infantas .....	48

Figura 15. Seguimiento a la producción diferida de operaciones de Well Services / Workover 2016-marzo 2018.....	52
Figura 16. Promedio de BHAs de limpieza utilizados 2018.....	54
Figura 17. Sartas de Inyección Selectivas instaladas vs falladas LCI 2010-2015.....	55
Figura 18. Tiempos operaciones de pesca de sartas de inyección en pozos LCI 2016-2018. ....	57
Figura 19. Número de Fallas por Sistema de Levantamiento en LCI 2016-2018 .....	59
Figura 20. Plan Mejoramiento de competencias 2016 -2020 .....	610
Figura 21. Ranking Equipos Workover / Well Services en LCI 2018.....	62
Figura 22. Criterios de Evaluación Eficiencia Operativa equipos Well Services / Workover 2019 en LCI .....	66
Figura 23. Ranking Equipos Workover / Well Services en LCI 2019.....	67
Figura 24. Seguimiento a la producción diferida de operaciones de Well Services / Workover 2018-2019.....	68
Figura 25. Tiempos operaciones de pesca de sartas de inyección vs Diámetros de Casing LCI 2018-2019.....	69
Figura 26. Tiempos operaciones de pesca de sartas de inyección vs Diámetros de Casing LCI 2016-2019.....	70
Figura 27. Número de Fallas equipos en LCI 2016 - 2019.....	71
Figura 28. Run Life equipos en LCI 2016 - 2019.....	72
Figura 29. Promedio de BHAs de limpieza utilizados 2019.....	74
Figura 30. Impacto de la accidentalidad en Operaciones Subsuelo 2018 -2019 .....	76

### Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Campaña de perforación Campo La Cira Infantas 2006 - 2019 .....	19
Tabla 2. Trabajos de Workover, Well Services y Abandono de Pozos Campo La Cira Infantas 2006 -2019 .....	20
Tabla 3. Trabajos más frecuentes en Las Operaciones de Well Services / Workover en el Campo La Cira Infantas.....	35
Tabla 5. Tiempos máximos de movilización según corresponda el kilometraje .....	42
Tabla 6. Organigrama HES equipo OXY Campo La Cira - Infantas.....	43
Tabla 7. Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles (DB(A)).....	46
Tabla 8. Medidas equipos Workover / Well Services en LCI .....	50
Tabla 9. Cumplimiento de Ley de movilización de los equipos Workover / Well Services en La Cira Infantas.....	51
Tabla 10. Resultados de medición de Ruido en Operaciones Diurnas de Workover / Well .....	64
Tabla 11. Resultados de medición de Ruido en Operaciones Nocturnas de Workover / Well.....	65
Tabla 12. Mejora en tiempos promedio en movilizaciones equipos de Workover y Unidades RSU 2019.....	68
Tabla 13. Mejora en Operaciones de Pesca LCI 2019 .....	70
Tabla 14. Mejora en tiempos promedio Trabajos de Completamiento Inicial / Workover LCI 2019 .....	74
Tabla 15. Eficiencia de Limpieza de Arena 2019.....	74

Tabla 16. Reducción en Tiempos No Productivos Operaciones de Well Services / Workover 2019.

..... 75

Tabla 17. Cumplimiento Programa de Disciplina Operativa..... 77

## Resumen

**Título:** Modelo para Evaluar el Desempeño de los Equipos de Well Services / Workover – Caso de Aplicación Campo la Cira Infantas\*

**Autor:** Gomez Quiroga Ariel Enrique\*\*

**Palabras Clave:** Eficiencia Operativa, Operaciones Well Services, Workover.

### Descripción:

El 6 de septiembre de 2005, Ecopetrol SA y Occidental Andina LLC (Oxyandina) firman contrato de colaboración empresarial para la exploración y explotación del área la Cira-infantas, con el fin de aumentar la producción y el factor de recobro del campo. El plan Incluyó campañas de perforación de pozos productores e inyectores, trabajos de Workover, abandono de pozos e incremento en inyección de agua, lo cual llevó a incrementar la producción de 5,000 a 45,000 BOPD. Para alcanzar esto niveles de producción, se requirió un esfuerzo de contratación de Bienes y Servicios, en especial un gran número de equipos de Well Services / Workover, alcanzando a tener en operación 20 equipos en 2016. Los costos de las operaciones con los equipos de Well Services / Workover impactan el lifting cost o costo de producción. La operación 24 horas y 7 días a la semana, consideradas de alto riesgo, demandan un trabajo permanente para mitigar la ocurrencia de incidentes en personas, equipos y medio ambiente.

Para determinar el factor de servicio o rendimiento de los equipos de Well Services / Workover solo se ha considerado hasta ahora los tiempos operativos (Tiempo Activo / 24 horas), Así las cosas, el factor de servicio, solo representa un tema de disponibilidad de equipo. Si el equipo está disponible, está operativo y facturando. Estos valores que no corresponden a la Eficiencia Operativa integral, pueden derivar en la toma de decisiones erróneas. Cuando los precios internacionales de crudo aumentan, se aceleran las campañas de perforación y Workover / Well Services de la industria del petróleo, condicionando el mercado de disponibilidad de equipos a altas ocupaciones y por lo tanto baja disponibilidad de equipos de las compañías de servicios con altos estándares operativos y HES (Health, Environment & Safety, lo que representa las principales funciones que los sistemas de gestión integrada).

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de ingenierías físico-químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Maestría en Ingeniería de Petróleo y Gas con Énfasis en Gerencia y Economía de los Hidrocarburos. Director Rueda Silva Carlos Fernando. Master of science, Petroleum Engineering

**Abstract**

**Title:** Model to Evaluate the Performance of Well Services / Workover Teams - Application Case Campo la Cira Infantas \*

**Author:** Gomez Quiroga Ariel Enrique \*\*

**Keywords:** Operational Efficiency, Well Services Operations, Workover.

**Description:**

On September 6, 2005, Ecopetrol SA and Occidental Andina LLC (Oxyandina) signed a business collaboration agreement for the exploration and exploitation of the La Cira-Infantas area, in order to increase production and the recovery factor of the field. The plan included drilling campaigns for producing wells and injectors, workover works, abandonment of wells and increased water injection, which led to an increase in production from 5,000 to 45,000 BOPD. To achieve these levels of production, an effort was required to contract Goods and Services, especially a large number of Well Services / Workover teams, reaching 20 teams in 2016. The costs of operations with Well Services / Workover teams they impact the lifting cost or production cost. The operation 24 hours and 7 days a week, considered high risk, require permanent work to eliminate and avoid incidents in people, equipment and the environment.

To determine the service or performance factor of Well Services / Workover equipment, only operating times have been considered so far (Active Time / 24 hours). Thus, the service factor only represents an issue of equipment availability. . If the equipment is available, it is operational and billing. These values do not correspond to the comprehensive Operating Efficiency, can lead to wrong decision making. Crude prices increase; drilling and Workover / Well Services campaigns in the oil industry accelerate, conditioning the market for equipment availability to high occupancies and therefore low availability of equipment from services companies with high standards operational and HES (Health, Environment & Safety).

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Faculty of physico-chemical engineering. Petroleum Engineering School. Master's Degree in Oil and Gas Engineering with an Emphasis on Hydrocarbon Management and Economics. Director Rueda Silva Carlos Fernando. Master of Science, Petroleum Engineering.

## **Introducción**

El Campo de producción La Cira Infantas, localizado en el Valle del Magdalena Medio, descubierto en el año 1918, cuenta con un área aproximada de 160 kms<sup>2</sup>, fue operado en su momento por la compañía Tropical Oil Company, filial de la Standard Oil Company, bajo la Concesión de Mares hasta el 25 de agosto de 1951, día en que la concesión revirtió al estado colombiano, dando origen a la Empresa Colombiana de Petróleos, hoy en día Ecopetrol S.A.

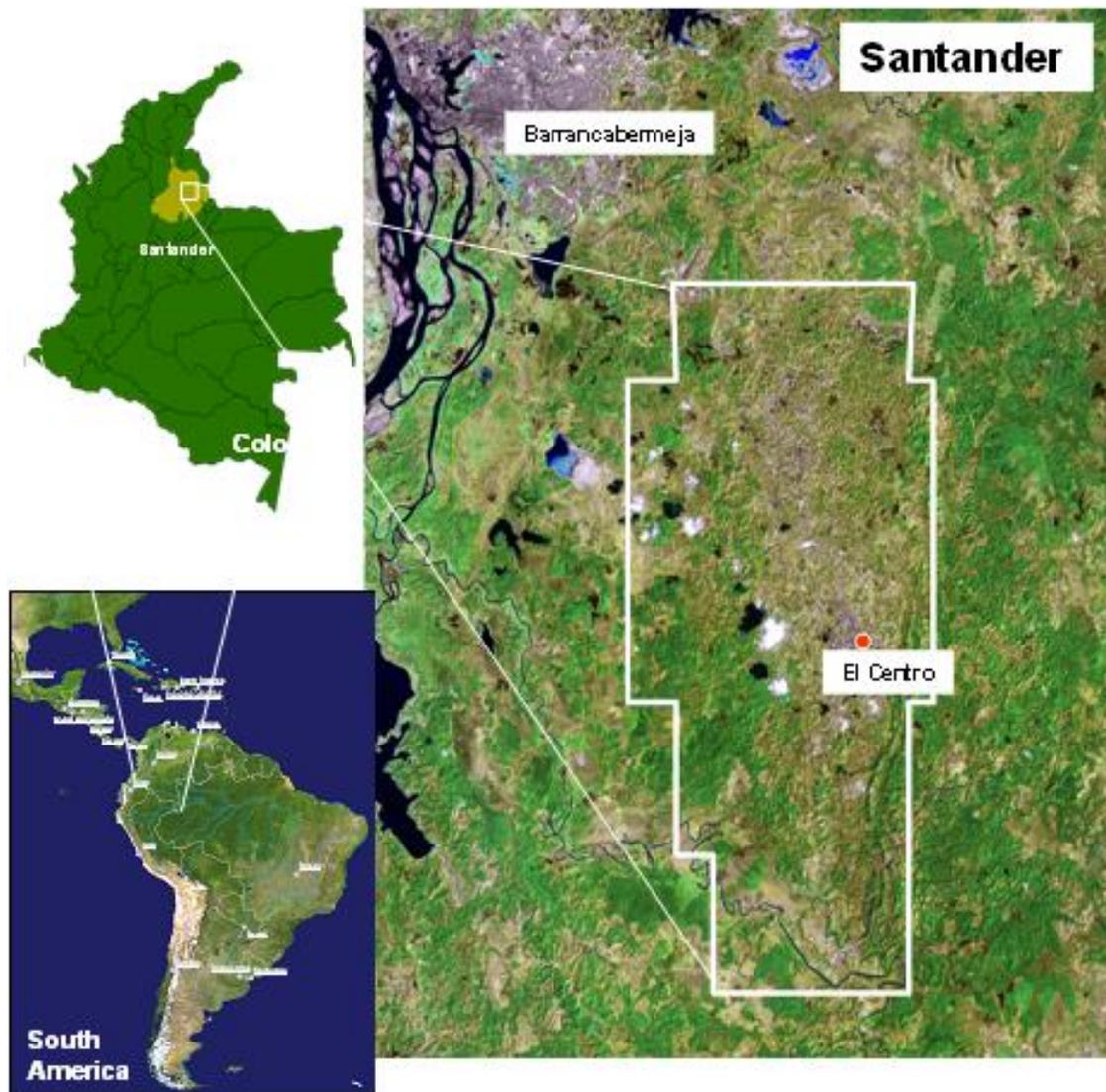
En 1917 inició la perforación con los pozos Infantas I e Infantas II, este último el descubridor. El primer despacho de crudo desde Colombia hacia Estados Unidos fue en 1926, año de la inauguración por parte de la Andian National Corporation del Oleoducto Cira Infantas – Puerto Mamonal Cartagena

### **Proyecto La Cira Infantas**

- Localizado a 22 km SE de Barrancabermeja.
- Descubierta en abril de 1918, Pozo Infantas 2. Concesión de Mares.
- Area 160 Km<sup>2</sup>.
- 31 veredas.
- 5.300 familias con 18.532 habitantes a 2018.
- Producción de 45.000 BOPD.
- Producción de arena y alto corte de agua
- Sistemas de levantamiento: Bombeo Mecánico, PCP y ESP.
- Recobro Secundario por Inyección de Agua

Figura 1.

*Localización del Campo La Cira Infantas.*

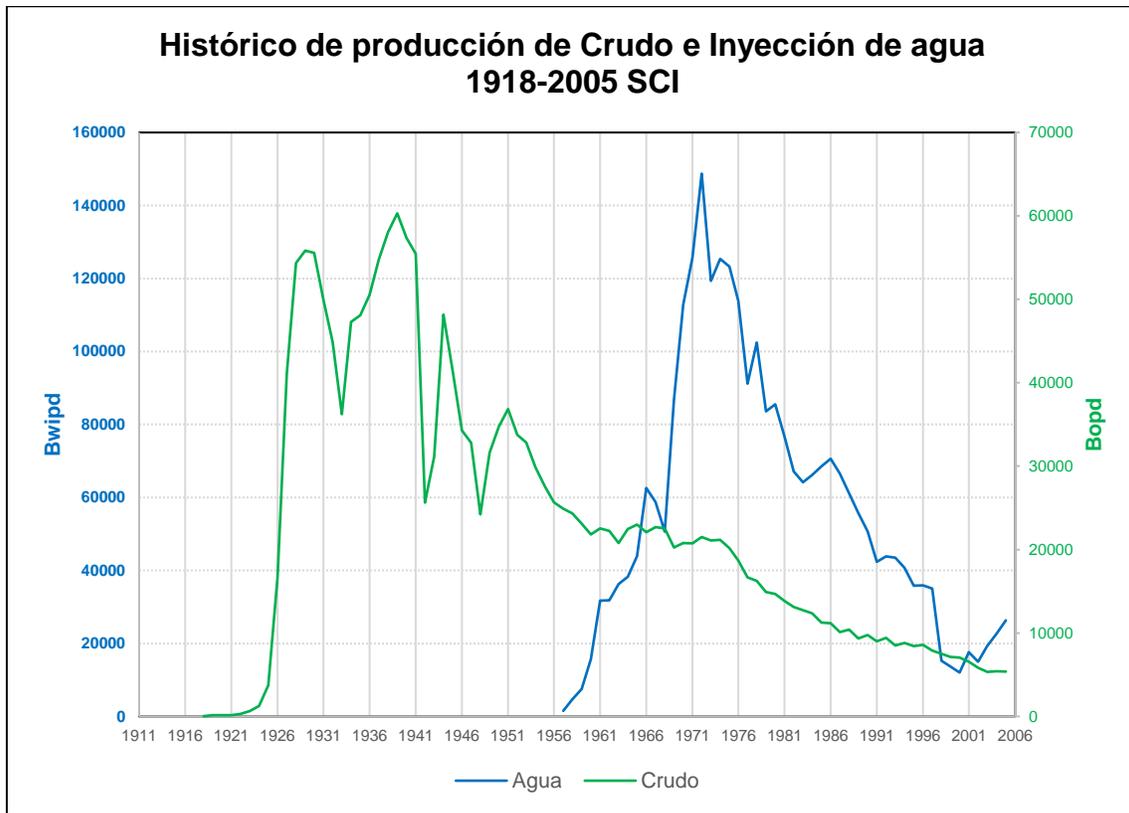


Fuente: (López, E.A, & Bonilla, 2010)

La Cira Infantas es el Campo Petrolero más antiguo de Colombia. En 2018 se cumplió el Centenario del descubrimiento el cual se celebró con actividades involucrando a los habitantes del corregimiento El Centro, trabajadores, alcaldía de Barrancabermeja, fuerza pública, representantes del Ministerio de Minas y altas personalidades de Ecopetrol y Occidental de Colombia.

Figura 2.

*Histórico de Producción de crudo e Inyección 1918- agosto 2005 Campo la Cira Infantas*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### **Alianza Ecopetrol – OXY**

Luego del declive en las curvas de producción, el 6 de septiembre de 2005, Ecopetrol SA y Occidental Andina LLC (Oxyandina) firman un contrato de colaboración empresarial para la exploración y explotación del área la Cira-infantas, con el objeto de incrementar el valor económico del Campo, mediante actividades de explotación y exploración de Hidrocarburos, que incluye entre otros, un proyecto de Producción Incremental para mejorar el Factor de Recobro, optimización de procesos y actividades exploratorias.

De acuerdo con el CONVENIO DE EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS – ANH – ECOPETROL – ÁREA LA CIRA INFANTAS a favor de OXYANDINA, se definió como fecha efectiva para inicio del contrato el día 22 de septiembre de 2005. De acuerdo con la cláusula 28 del Contrato, durante la ejecución del Proyecto, ECOPETROL será el Operador y OXYANDINA el Ejecutor.

De acuerdo con lo establecido en el Contrato de Colaboración Empresarial se tienen en cuenta las siguientes definiciones: Actividades de Inversión. Corresponde al conjunto de actividades necesarias para evaluar y ejecutar el Proyecto de Producción Incremental y las actividades exploratorias tales como la aplicación de métodos de recobro secundario y mejorado, administración de yacimientos, perforación y completamiento de pozos, construcción de nuevas facilidades, oleoductos y reacondicionamiento y mantenimiento de pozos.

Actividades Operacionales. Corresponde al conjunto de actividades necesarias para realizar y optimizar los procesos de extracción, recolección, operación, tratamiento y almacenamiento de la Producción Total e Inyección del Campo, así como las actividades de soporte, tales como:

a) mantenimiento preventivo y correctivo de todos los equipos y facilidades, b) servicios de mantenimiento de subsuelo de los pozos del Campo para mantener la Producción Total y c) elaboración, ejecución y seguimiento de la gestión social, plan de manejo del entorno, tierras, seguridad industrial, administración de riesgos y ambiental, necesarios para la adecuada operación del Campo y el desarrollo del Proyecto.

Ejecutor. Es la persona designada por las Partes, para que, por cuenta de estas y sin representarlas, se encargue de dirigir, ejecutar y controlar, directamente o a través de contratistas, todas las Actividades de Inversión. Con la previa aprobación del Comité Ejecutivo, el Ejecutor

realizará de manera total o parcial las Otras Actividades de Inversión. Igualmente, el Ejecutor tiene bajo su dirección al Equipo Integrado del Proyecto.

**Operador.** Es la persona designada por las Partes, para que, por cuenta de estas y sin representarlas, se encargue de dirigir, ejecutar y controlar, directamente o a través de contratistas, las Actividades Operacionales. Por aprobación previa del Comité Ejecutivo, el Operador ejecutará de manera total o parcial las Otras Actividades Operacionales.

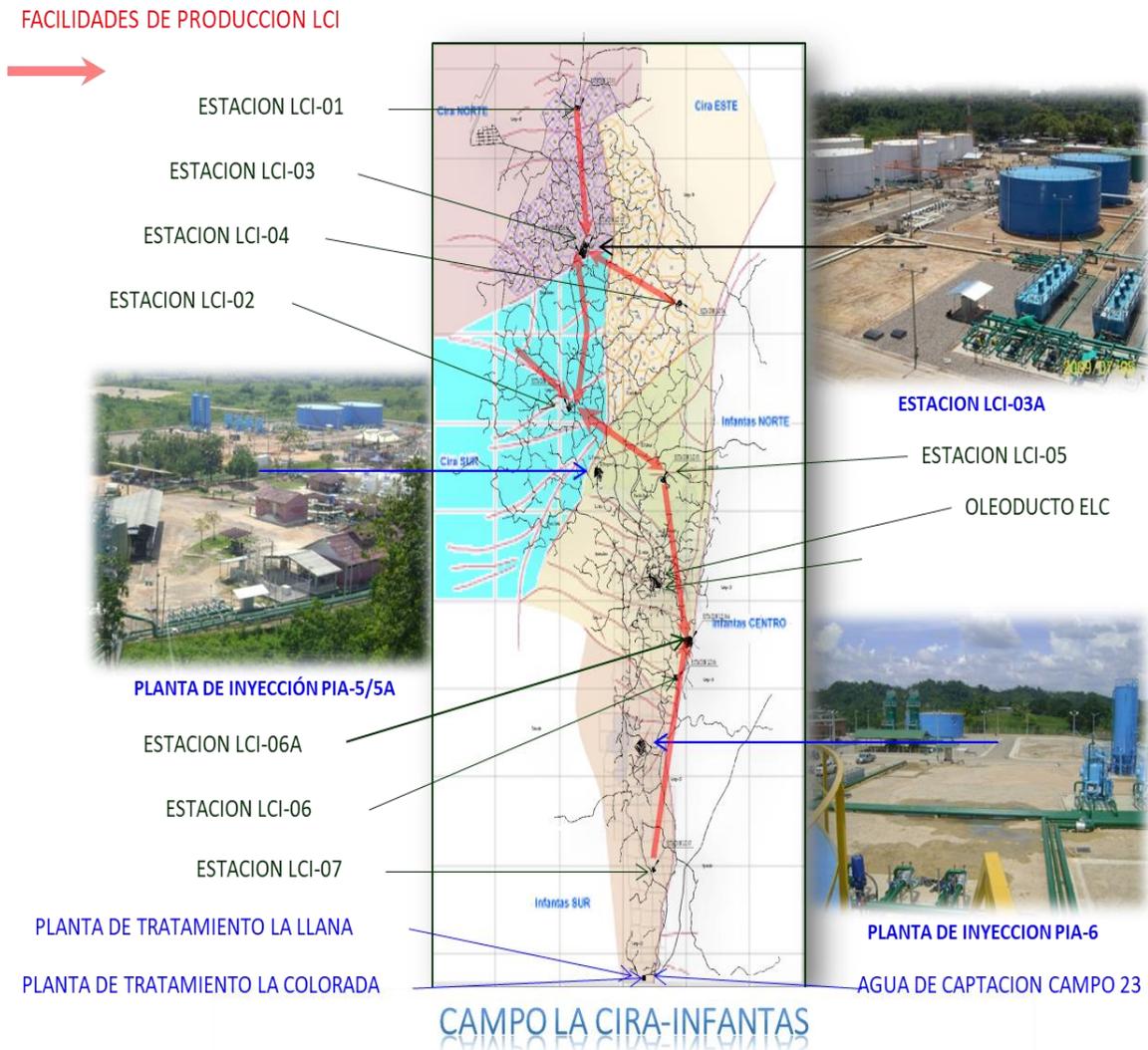
**Gastos Operacionales.** Son todos los gastos relacionados con las Actividades Operacionales, que adicionalmente incluyen entre otros: gastos de personal, materiales, químicos, servicios industriales (agua, energía y gas), impuestos (diferentes a impuesto de renta), tasas, contribuciones y servicios de apoyo a la operación necesarios para apoyar todas las actividades asociadas con el proyecto. Estos gastos no comprenden el sobrecargo administrativo, gastos directos y cualquier cargo por agotamiento o depreciación.

### **Facilidades de producción Campo La Cira Infantas**

El campo de producción de La Cira Infantas, cuenta con 9 facilidades de producción y 3 plantas de inyección, como se muestra a continuación.

Figura 3.

*Facilidades de producción e Inyección Campo La Cira Infantas*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### Plan de Desarrollo LCI

El proyecto se desarrolló de una manera integral que incluyó:

- Campañas de perforación
- Workovers
- Expansión de facilidades de producción (cuando sean requerido)

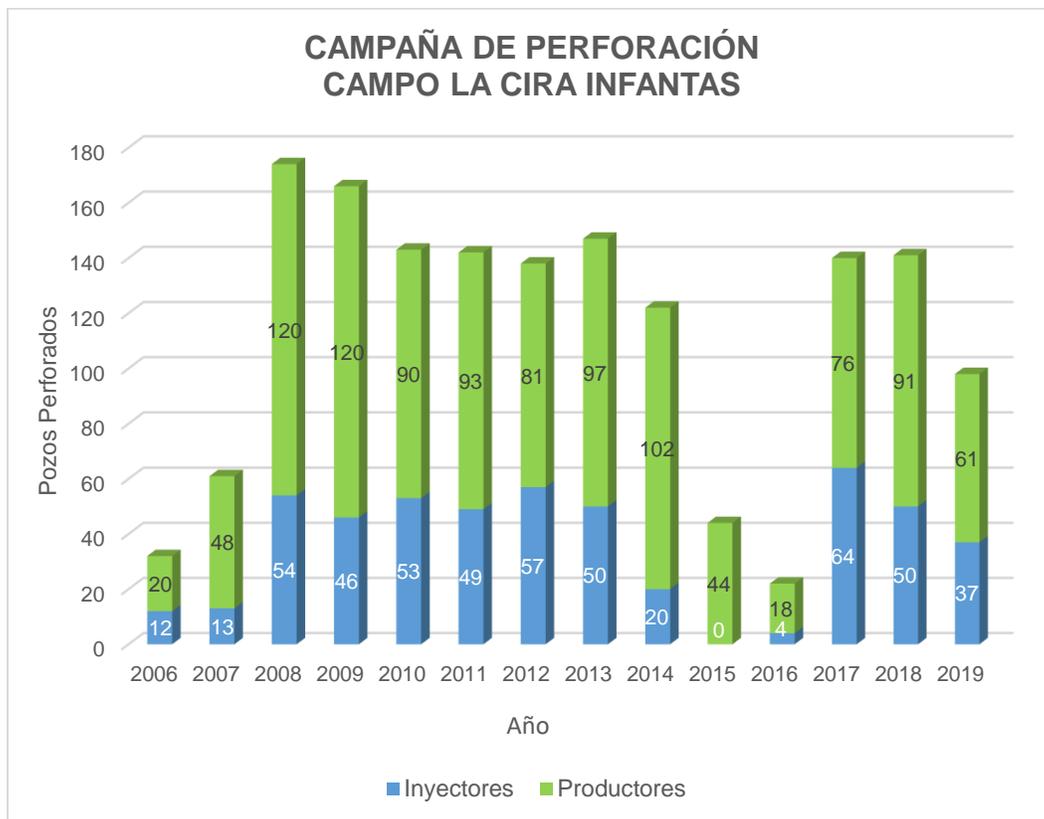
Tabla 1.

*Campaña de perforación Campo La Cira Infantás 2006 - 2019*

<b>Campaña de Perforación LCI</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Productores	20	48	120	120	90	93	81	97	102	44	18	76	91	61
Inyectores	12	13	54	46	53	49	57	50	20	0	4	64	50	37
Pozos nuevos	32	61	174	166	143	142	138	147	122	44	22	140	141	98
Equipos de Perforación	1	3	6	2	2	2	2	2	2	2	1	4	3	2

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Figura 4.

*Campaña de Perforación Campo La Cira Infantás 2006 – 2019*

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Tabla 2.

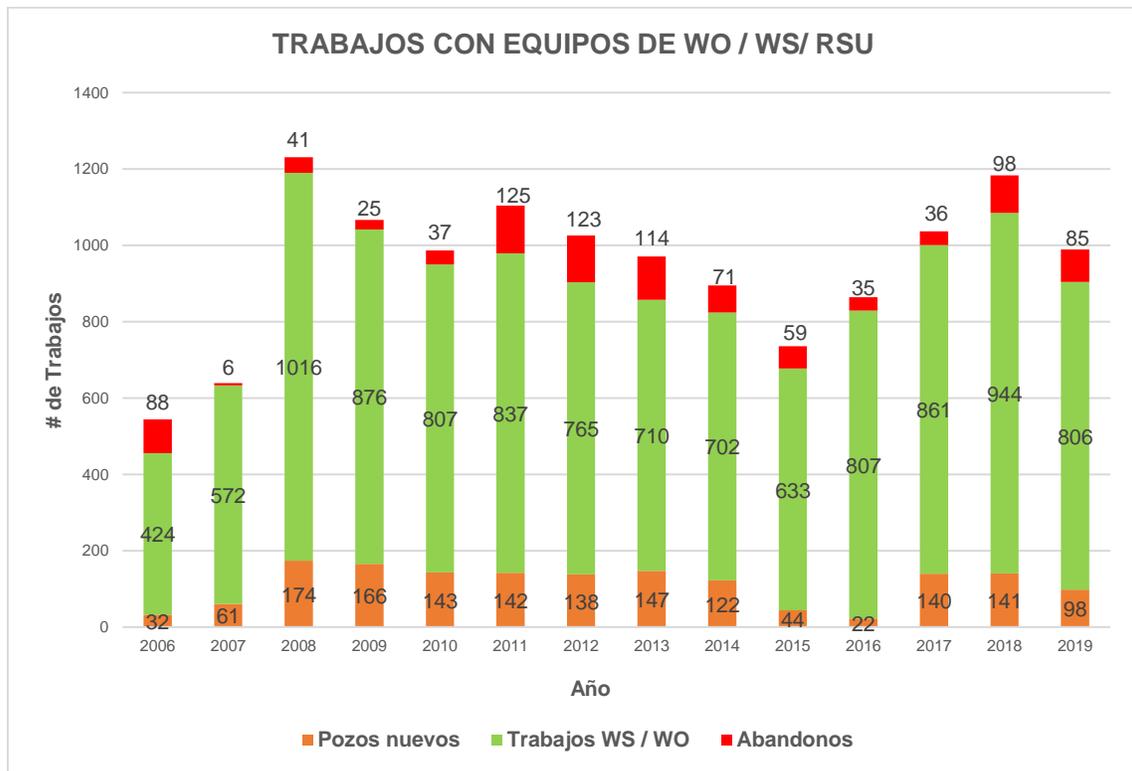
*Trabajos de Workover, Well Services y Abandono de Pozos Campo La Cira Infantas 2006 -2019*

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Pozos nuevos	32	61	174	166	143	142	138	147	122	44	22	140	141	98
Trabajos WS / WO	424	572	1016	876	807	837	765	710	702	633	807	861	944	806
Abandonos	88	6	41	25	37	125	123	114	71	59	35	36	98	85
Equipos de WO / WS					10	13	12	11	13	13	13	16	16	15

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Figura 5.

*Trabajos con equipos de WO / WS / RSU Campo La Cira Infantas 2006 - 2019*

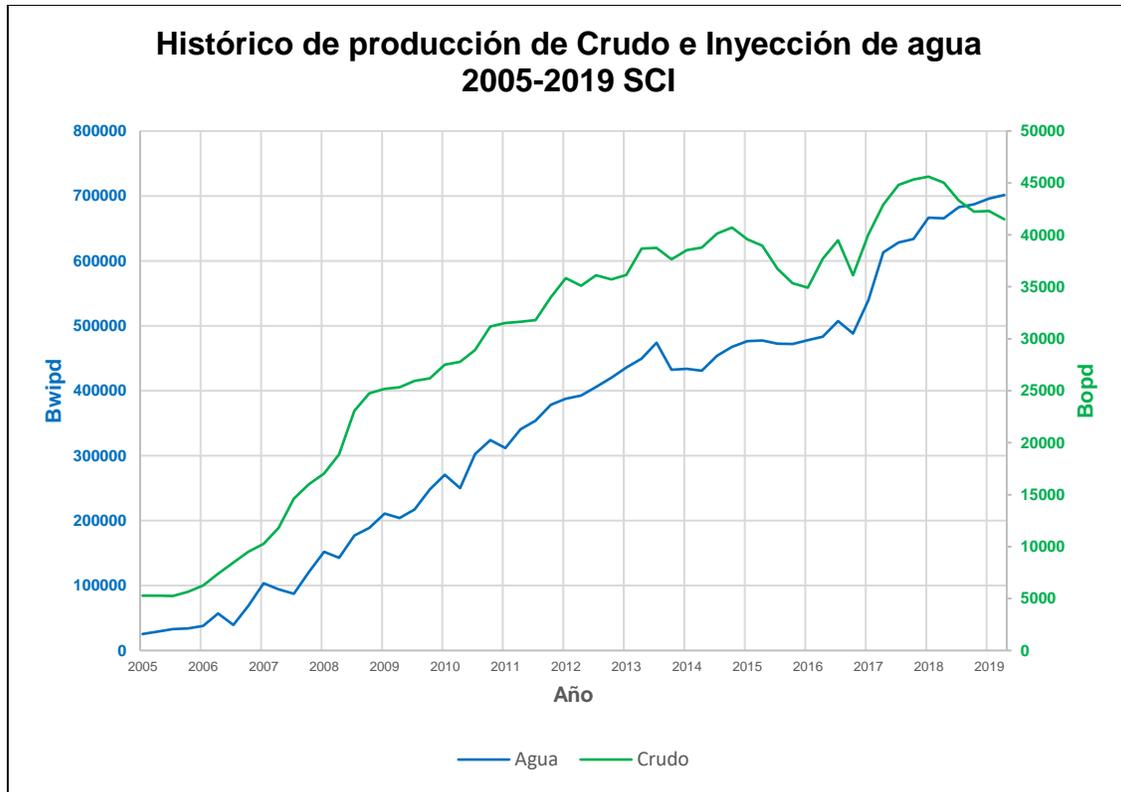


Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Este plan llevó a incrementar la producción de 5,000 a 45,000 barriles de aceite por día, acompañado de un número de importantes de equipos de Well Services / Workover.

Figura 6.

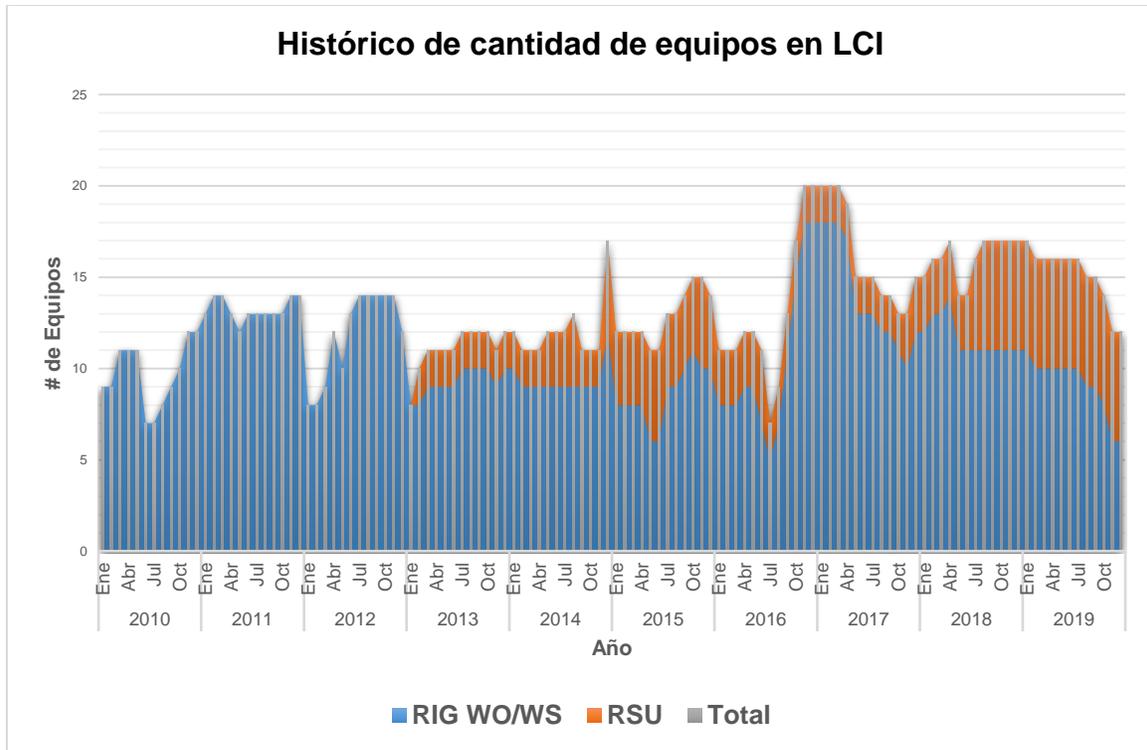
*Producción e Inyección agosto 2005 - 2019 Campo La Cira Infantas*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Figura 7.

*Histórico de equipos de Workover / Well Services / RSU (Rapid Services Units) en Campo La Cira Infantas 2010 - 2019*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Las operaciones de servicio a pozos, Well Services, Workover y Completamientos iniciales, representan una parte importante dentro de cualquier proyecto, ya que involucran costos, seguridad industrial y barriles de producción.

**Costos:** Los costos de los equipos impactan directamente en el lifting cost o costo de producción, las tarifas de equipo usualmente se pagan en Tarifa día o proporcionalmente y estos precios se pueden ver condicionados a los precios internacionales de crudo. A mejor precio del crudo, más actividad y demanda en los Campo, menor disponibilidad de equipos, tarifa de equipos más alta.

**Barriles de producción:** un pozo fallado requiere un análisis de económicos, para justificar su intervención. La producción del pozo, el tiempo que estuvo en servicio y el costo de producción deben asegurar el pago del costo de intervención. Una vez definido el trabajo se requiere intervenir

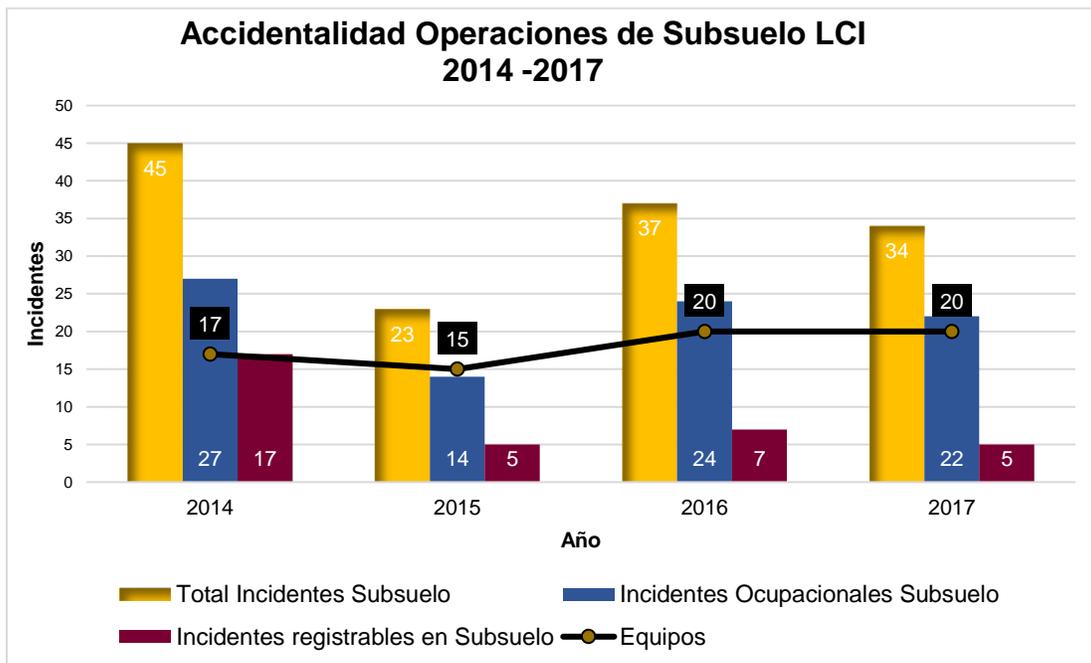
de la mejor manera con calidad, seguridad y oportunidad. A menor tiempo de ejecución de trabajo, más rápido ingresa nuevamente a producción el pozo.

**HES (Health, Environment & Safety):** La operación de equipos es usualmente 24 horas y 7 días a la semana. Muchas horas hombre y actividades que involucran: izaje de Cargas, equipos rotativos, manejos de fluidos contaminantes, movilización de equipos y transporte de cargas, etc. Por lo que es muy importante vigilar la seguridad del empleado antes los riesgos y el cuidado del medio ambiente. Aclaremos que tanto HES y HSE significan lo mismo, el primero es concepto para Oxy y el segundo para Ecopetrol. A partir de 2020, se estableció como HSE.

En año 2017, se presentaron 34 incidentes, de los cuales 20 fueron ocupacionales y de estos 5 registrables.

Figura 8.

*Accidentalidad Subsuelo 2014 – 2107 Campo La Cira Infantas*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

## **1. Planteamiento del Problema de Aplicación**

Establecer un Modelo para evaluar el desempeño de los equipos de Well Services / Workover aplicado al Campo La Cira Infantas.

### **1.1 Problema**

El proyecto de Colaboración Empresarial demanda un esfuerzo de contratación de Bienes y Servicios, en especial de equipos de Perforación y Reacondicionamiento de pozos. Como hemos mencionado, el precio del crudo, la disponibilidad de equipos y el mercado de oferta nos exige buscar los mejores equipos, operar con las mejores empresas y al mejor precio. El costo de las Operaciones de Well Services / Workover impactan altamente el costo del barril producido y la imagen de la Operación.

En el campo LCI, se ha podido evidenciar que las eficiencias de los equipos calculadas antes del uso de la metodología aquí desarrollada, eran altas (mayores al 95%), debido a que estas eran calculadas sin tener en cuenta aspectos como tareas efectivas completadas y desempeño HES en la operación. Al hacer cálculos con estas consideraciones, los valores obtenidos pueden ser considerablemente bajos.

Continuar midiendo la eficiencia de los equipos de Well Services / Workover sin tener en cuenta tareas completadas y desempeño HES, pudiera traer como consecuencia un mayor número de equipos requeridos y mayores índices de accidentalidad con indicadores sobrevalorados, es decir “altas eficiencias”. Por lo tanto, se hace necesario establecer un modelo que permita evaluar

el desempeño real de los equipos, lo cual traerá beneficios económicos por más trabajos ejecutados por equipo, menor producción diferida, menor costo de barril producido y mejores resultados HES.

El modelo propuesto será aplicado para el proyecto LCI.

## **1.2 Justificación**

El costo de las Operaciones de Well Services / Workover, la eficiencia de los equipos no calculada integralmente y los riesgos en HSE para los trabajadores del equipo, impactan altamente el costo del barril producido y la imagen del Proyecto LCI (ECP-OXY).

Para determinar el rendimiento de los equipos de Well Services / Workover solo se ha considerado hasta ahora los tiempos operativos (Tiempo Activo / 24 horas), mostrando valores que no corresponden a la Eficiencia Operativa integral, lo cual puede mostrar indicadores sobrevalorados que generen toma de decisiones erróneas.

Establecer un modelo que permita evaluar el desempeño integral de los equipos de Well Services / Workover, traerá beneficios económicos como resultado del incremento en la Eficiencia Operativa de las operaciones por la mejora continua, más trabajos ejecutados por equipo, menor producción diferida, menor costo de barril producido, mejores resultados HSE e imagen del Proyecto LCI. El modelo propuesto será aplicado para el proyecto La Cira Infantas.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Desarrollar modelo para evaluar el desempeño de los equipos de Well Services / Workover aplicado al Campo La Cira Infantas

### **2.2 Objetivos Específicos**

Definir las actividades que impactan el rendimiento de los equipos en las operaciones de Well Services / Workover

Establecer estrategias de medición de cada actividad identificada que impacta el rendimiento y desempeño de los equipos en las operaciones de Well Services / Workover.

Proponer un modelo que integre la ponderación de las actividades identificadas y las desviaciones.

Aplicar el modelo propuesto a los equipos de los equipos de Well Services / Workover en el Campo La Cira Infantas.

### **2.3 Alcance**

El alcance de una investigación indica el resultado claro, concreto y específico que se obtendrá a partir de ella. Según la literatura, de una investigación se pueden obtener cuatro tipos de resultados:

exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo. El alcance de una investigación indica el resultado lo que se obtendrá a partir de ella y condiciona el método que se seguirá para obtener dichos resultados, por lo que es muy importante identificar acertadamente dicho alcance antes de empezar a desarrollar la investigación.

El presente trabajo tendrá un alcance Explicativo, es decir, tiene como propósito establecer un modelo que permita evaluar el desempeño integral de los equipos de Well Services / Workover, identificando adecuadamente las variables que inciden directamente en el resultado final del trabajo para el cual se contrató, aplicado al Campo La Cira Infantas

#### **2.4 Pregunta de Investigación**

¿Cómo evaluar el desempeño de los equipos de Well Services / Workover mostrando la Eficiencia Operacional?

#### **2.5 Hipótesis**

Evaluar el desempeño de los equipos Workover / Well Services bajo el concepto de la relación de Tiempo equipo Activo/Tiempo total, nos refleja solo la Disponibilidad de Equipos por parte de la Empresa Contratista, pero no la Eficiencia Operacional

Identificar las actividades más frecuentes en las Operaciones de Well Services / Workover, establecer parámetros de medición, medir y calificar el desempeño en HSE es una manera más adecuada de evaluar el Desempeño Operacional de los equipos de Well Services / Workover.

### 3. Marco de Referencia

#### 3.1 Antecedentes Investigativos

Anteriores ejercicios se centraron solamente en aspectos operativos sin tener en cuenta tareas específicas, ni integrar aspectos HSE.

#### 3.2 Marco Teórico – Conceptual

Históricamente, el indicador para hacer seguimiento a las Operaciones de Workover, Well Services y Abandonos, ha sido el Factor de Servicio.

En términos generales, El Factor de Servicio se ha medido así:

$$\text{Factor de Servicio} = \frac{\text{Tiempo Equipo Activo}}{\text{Tiempo total}}$$

Así las cosas, para el Contratista solo representa un tema de disponibilidad de equipo. Si el equipo está disponible, está operativo. Para La Operadora representa un servicio de reestablecer a producción un pozo que se encuentra fallado, en trabajos de incremento de producción o el inicio en producción de un pozo nuevo.

Un trabajo realizado son buenas noticias, pero si ese trabajo se extiende más de lo normal las cosas cambian. Si durante la ejecución del trabajo se nos presenta un incidente Operacional, Ambiental u Ocupacional, incrementa el tiempo de ejecución, más costos de operación,

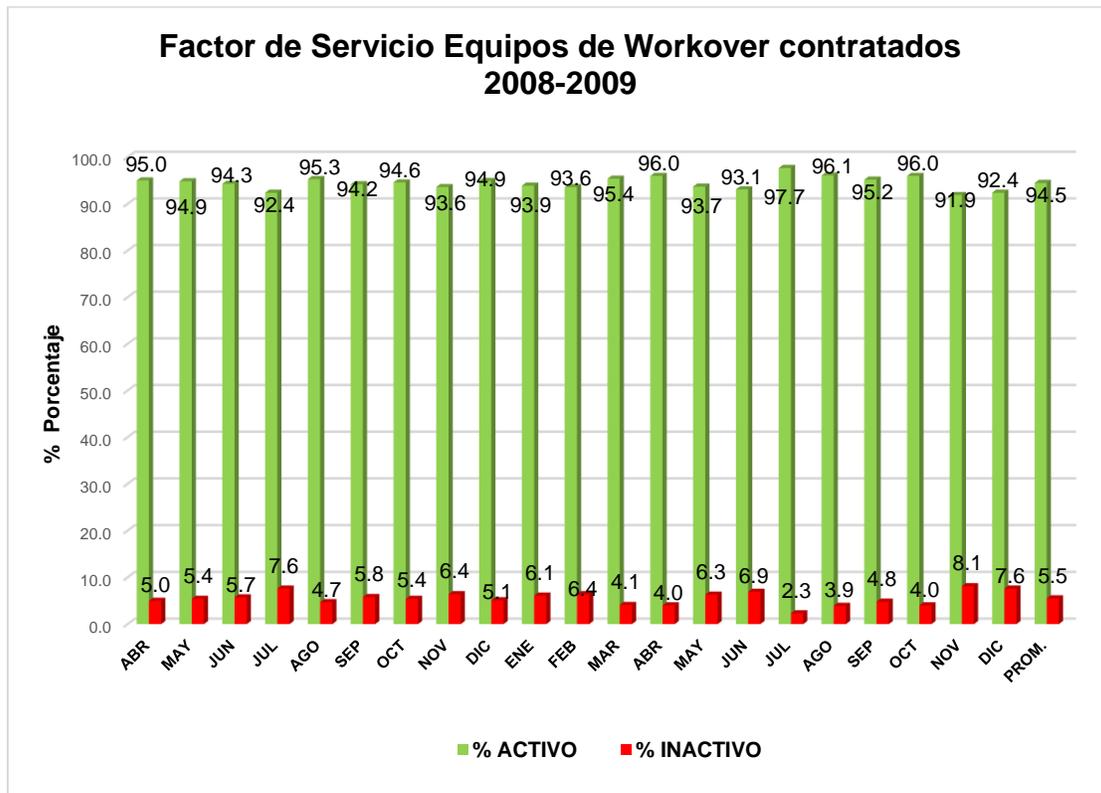
disminución en barriles de producción y afecta la imagen tanto del Contratista como la de la compañía Operadora.

### 3.3 Marco Práctico

Este concepto de eficiencia operacional aplicado en 2008 y 2009 mostraba como resultado, valores cercanos a 95% de Factor de Servicio, es decir Disponibilidad de equipos; como se puede observar en la gráfica de equipos de Workover 2008 – 2009.

Figura 9.

*Factor de Servicio Equipos de Workover contratados 2008 - 2009 en el Campo La Cira Infantas*



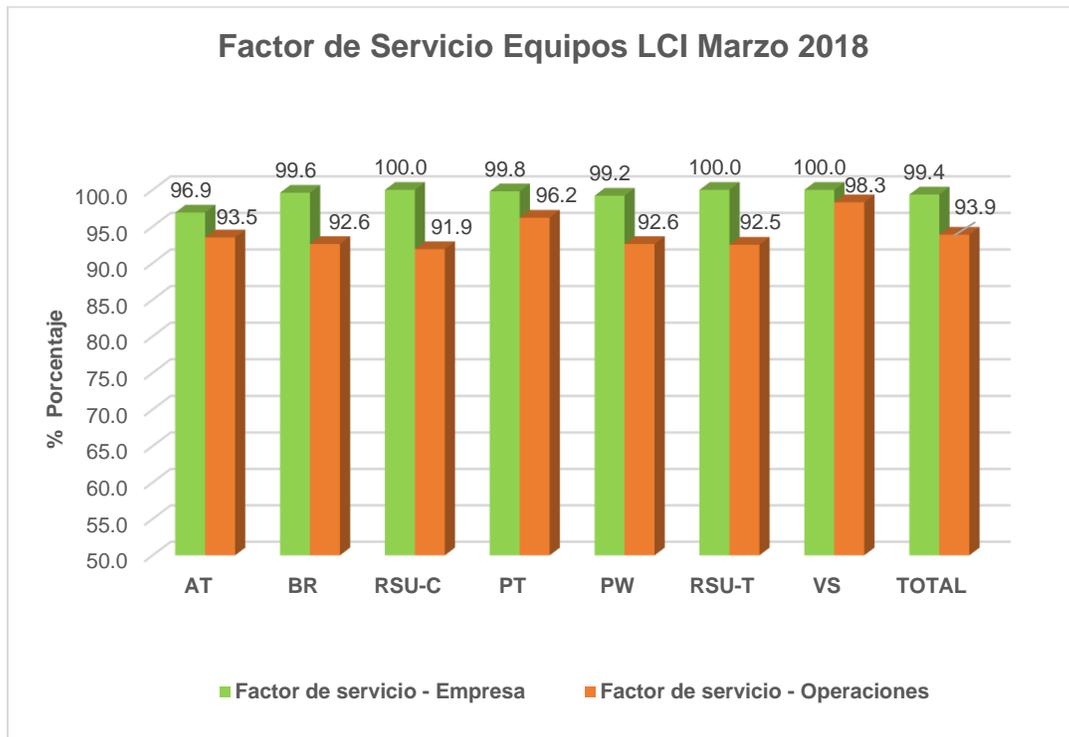
Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

En 2018, la Eficiencia de los equipos contratados en el Campo La Cira Infantas se continuaba midiendo considerando la disponibilidad por parte del Contratista, pero ya se identificaba la disponibilidad por parte de Operaciones, es decir no se cargaban al contratista los factores atribuibles al Proyecto, tales como: Esperando ruta, materiales, servicios, instrucciones, etc.

Se puede observar en la gráfica de marzo 2018, valores de 99.4% de Disponibilidad y 93.9% de Factor de Servicio de los equipos en operación Well Services / Workover, en el Campo La Cira Infantas.

Figura 10.

*Factor de Servicio Equipos marzo 2018 Campo La Cira Infantas*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### 3.4 Marco Legal

En las Operaciones de los equipos de servicio a pozo, entiéndase equipos de Well Services, equipos de Reacondicionamiento, equipos RSU (Rapid Services Unit), se facturan por día o proporcionalmente hora de trabajo, si el equipo está operando se cancela la tarifa.

Según Contratos OXY. Contrato CLCI-0565, OXY. Contrato CLCI-0480, OXY. Contrato CLCI-0567, OXY. Contrato CLCI-0548 OXY. Contrato CLCI-0564, OXY. Contrato CLCI-0549, se estable lo Siguiente:

Equipo Activo Con Cuadrilla: Representa el pago que La Operadora hará al Contratista, por equipo y / RSU cuando se realizan las actividades propias del objeto del Contrato: mantenimiento, reacondicionamiento, abandono y terminación de pozos, con la torre elevada, motor y generadores operando, cuadrilla activa.

Equipo Inactivo Con Cuadrilla: Representa el pago que La Operadora hará al Contratista, en los siguientes casos y hasta que la condición que causa la suspensión o detención del trabajo se haya eliminado con la aprobación del Representante de La Operadora y el contratista haya reanudado actividades:

a) Cuando el Contratista este imposibilitado para realizar el trabajo: por (1) solicitud de La Operadora, excepto cuando dicho requerimiento es debido a falla del Contratista en el suministro del servicio de acuerdo con los términos y condiciones del Contrato en cuyo caso La Operadora no pagará ninguna tarifa; (2) si no hay o hacen falta instrucciones de la operadora para la realización de los trabajos; y/o (3) falla de algunos de los ítems suministrados por Operadora cuya falla no es por causa del Contratista, en caso que sea atribuible al Contratista, La Operadora no pagará ninguna tarifa.

b) Cuando el equipo se encuentre disponible y no se requiera mantener encendido el motor de la unidad de básica.

c) Esta tarifa no contempla rubros operativos, materiales y consumibles. (OXY, y otros, 2017)

Equipo Inactivo sin Cuadrilla: Representa el pago que La Operadora hará al Contratista, cuando (i) no se requiera utilizar los servicios objeto del Contrato como consecuencia de una solicitud escrita por parte de La Operadora solicitando la desmovilización temporal del Personal; o (ii) el Contratista este imposibilitado para realizar el trabajo y el Personal se haya desmovilizado: por (1) solicitud de La Operadora, excepto cuando dicho requerimiento es debido a falla del Contratista en el suministro del servicio de acuerdo con los términos y condiciones del Contrato en cuyo caso La Operadora no pagará ninguna tarifa; (2) si no hay o hacen falta instrucciones de La Operadora para la realización de los trabajos; y/o (3) falla de algunos de los ítems suministrados por La Operadora cuya falla no es por causa del Contratista, en caso que sea atribuible al Contratista La Operadora no pagará ninguna tarifa. Cuando se requiere reanudar las operaciones, La Operadora deberá informar al Contratista con una anticipación del inicio de las operaciones. La tarifa debe contemplar solamente el concepto de disponibilidad de equipo, herramientas y personal staff y/o necesario para la protección y mantenimiento del equipo.

#### **4. Caso Campo La Cira Infantas**

OXY y Ecopetrol siempre consientes de la importancia de la Seguridad y la Producción, entienden los riesgos y el volumen de las Operaciones de Well Services / Workover en LCI. Y para el manejo de esta operación se cuenta con un esquema de integrado de trabajo de que consta de: la Coordinación de Subsuelo por parte de Ecopetrol y de un Senior de Operaciones por parte de OXY. La Evaluación del desempeño de los equipos de Well Services / Workover mostrando la Eficiencia Operacional, ha estado bajo la dirección y responsabilidad del Senior de Operaciones por parte de OXY.

El tener activos 20 equipos de Well Services / Workover, como Sucedió en el segundo semestre de 2016 denota una alta actividad que involucra alto número de colaboradores, Compañías, equipos diferentes y logística permanente. Ese incremento de actividad significo esfuerzos de Contratación de equipos, que además que cumplan con las especificaciones que requerimos. Adicional el implementar una logística de materiales y servicios, la cual se ejecuta por parte de los Company Man. Esta Operación tan robusta en LCI y sostenida durante meses, ha permitido contar con un grupo de profesionales que ha acumulado mucha experiencia por la variedad de Operaciones de Well Services / Workover, que van a ser muy importante para apoyar este plan con experiencias, información, documentación, recomendaciones, sugerencias y divulgación.

##### **4.1 Actividades Más Frecuentes Well Services / Workover en el Campo la Cira Infantas**

El primer paso fue Identificar las actividades más frecuentes en las Operaciones de Well Services / Workover en LCI, establecer parámetros de medición, medir y calificar el servicio de la actividad. Para de esta forma, evaluar el Desempeño Operacional de los equipos de Well Services / Workover.

#### **4.1.1 Movilizaciones de equipos de Well Services / Workover**

De la tabla 2 podemos observar que en 2017 se ejecutaron 862 trabajos de Well Services / Workover, lo cual generó 2,34 movilizaciones por día en promedio. Esta actividad de movilización de equipo es la actividad más frecuente y se le debe dar prioridad por el impacto en tiempo, ya que en algunos trabajos cortos de 2-3 días representa el 10%-15% del tiempo de ejecución. Adicional al tiempo de duración de la movilización se genera tiempo para atender la logística de dicha ruta, la verificación del estado de las vías y plataformas, las distancias y las socializaciones y coordinaciones con las comunidades.

Para la ejecución de las movilizaciones que se convierte en la más frecuente en trabajos de Well Services / Workover, con alto riesgo operativo y de HES. Se cuenta con los siguientes contratos: Contrato CLCI-0565, OXY. Contrato CLCI-0480, OXY. Contrato CLCI-0567, OXY. Contrato CLCI-0548 OXY. Contrato CLCI-0564, OXY. Contrato CLCI-0549. (OXY, y otros, 2017)

#### **4.1.2 Trabajos más frecuentes en las operaciones de Well Services / Workover en el Campo La Cira Infantas.**

De la tabla 2., se puede observar que se realizaron entre 2016 y 2017, 162 completamientos iniciales, 1668 trabajos de Well Services / Workover y 71 trabajos de abandono, con los Contratistas y equipos que continúan en operación en 2018, se tiene una buena base de datos para

establecer unos Tempos Promedios de ejecución, considerando situaciones especiales o adicionales.

Se establece como indicador Tiempo Planeado/ Tiempo de Ejecución. Los trabajos más frecuentes en Las Operaciones de Well Services / Workover en LCI, son:

Tabla 3.

*Trabajos más frecuentes en Las Operaciones de Well Services / Workover en el Campo La Cira Infantas*

Operaciones	Trabajos	Duración estimada (días)
Well Services	Productores	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Completamientos Iniciales</li> <li>- Limpiezas de arena</li> <li>- Tubería rota</li> <li>- Varilla partida</li> <li>- Fallas eléctricas y de equipo de fondo ESP</li> <li>- Tubería desconectada</li> <li>- Fallas de equipos PCP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2-5</li> <li>3-5</li> <li>3-5</li> <li>4-6</li> <li>5-6</li> <li>3-5</li> <li>3-5</li> </ul>
	Inyectores	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cambio de Sartas selectivas</li> <li>- Fallas de integridad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>8-12</li> <li>8-12</li> </ul>
Workover	Pozos Productores	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Completamientos Iniciales</li> <li>- Canoneo adicional</li> <li>- Aislamientos</li> <li>Squeeze</li> <li>Tapones de cemento</li> <li>Mecánico</li> <li>- Estimulaciones</li> <li>Mecánica o suabeo</li> <li>Matriciales</li> <li>- Cambios de Sistema de Levantamiento</li> <li>- Abandono</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2-5</li> <li>3-5</li> <li></li> <li>10-12</li> <li>10-12</li> <li>10-12</li> <li></li> <li>6-10</li> <li>6-10</li> <li>6-10</li> <li>6-8</li> </ul>
	Pozos Inyectores	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Completamientos Iniciales</li> <li>- Canoneo adicional</li> <li>- Aislamientos</li> <li>Squeeze</li> <li>- Estimulaciones</li> <li>Mecánica o suabeo</li> <li>Matriciales</li> <li>- Cambios de Sarta y Zona de Inyección</li> <li>- Abandono</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3-5</li> <li>10-12</li> <li></li> <li>12-15</li> <li></li> <li>12-15</li> <li>12-15</li> <li>10-12</li> <li>10-12</li> </ul>

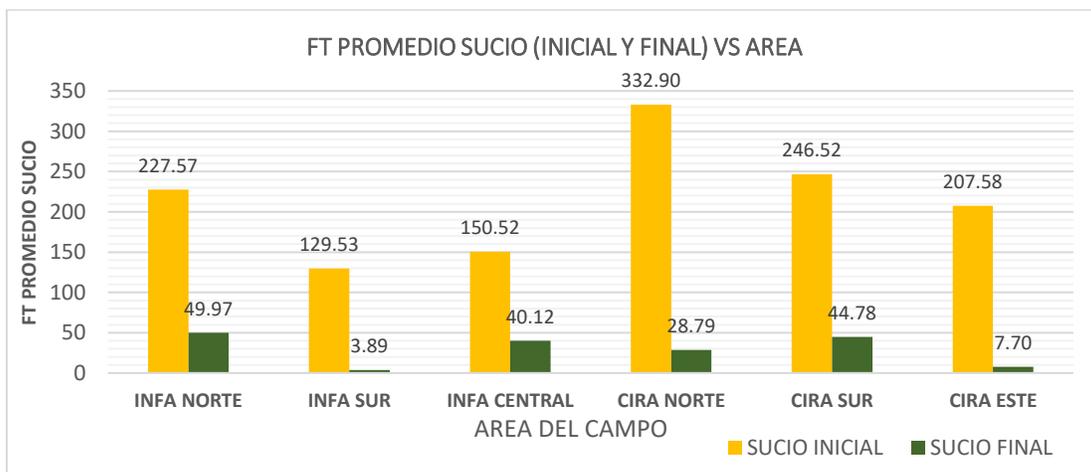
Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### 4.1.3 Limpiezas de arena en el Campo La Cira Infantas.

La limpieza de Arena, es una de las actividades más frecuentes en las Operaciones de Well Services / Workover, los 3 primeros meses de 2018 se realizaron 135 operaciones de Limpieza de Arena. Desde esta fecha, Operaciones OXY, estableció seguimiento a los Trabajo de Limpieza de Arena y como indicador: Tiempo de limpieza en ft/hora limpiados, incluyendo los tiempos de Run In Hole y Pulling del BHA de limpieza. En la Tesis Propuesta Metodológica para la Selección de Accesorios para Manejo de Arena en pozos del Campo La Cira Infantas, (Carvajal & Jaimes, 2019, pág. 104) hay un completo análisis del manejo de la arena. Se hace un análisis completo de pozos fallados por arena, se crea bases de datos de topes de arena, producción de arena en ppm, sistemas de levantamientos, run life de los equipos y se establece una metodología para escoger el mejor sistema para manejar arena y reducir fallas. Es bien importante la información que entrega al final del trabajo, los ingenieros que supervisan los trabajos de los equipos de Workover y Well Services, con lo cual se puede llegar a cuantificar los promedios de arena por áreas del campo.

Figura 11.

*Ft Promedio Sucio (inicial y final) vs Área – La Cira Infantas 2018*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Superintendencia y Coordinación Senior de Operaciones de OXY, ya había identificado este tópico y había implementado un seguimiento y búsqueda de opciones de optimizar las operaciones de Limpieza de Arena.

Revisión antecedente de pruebas, evaluación e implementación de nuevas tecnologías:

**Sistema Thixsal Ultra / Solubrige:** En febrero de 2010, ya se había probado un sistema de control de pérdidas para hacer limpieza de arena por circulación. Se utilizó la píldora o sistema Thixsal Ultra / Solubrige el cual es un fluido soluble en aceite que provee un mínimo daño a la formación y unas propiedades reológicas únicas. El sistema Thixsal Ultra/Solubrige fue diseñado para controlar pérdidas severas de fluido, en yacimientos depletados, donde las diferenciales de presión superaban los 2.000 psi. Este sistema tiene un soporte técnico que se puede entender más en la Tesis Aplicación de fluido Thixsal en re completamiento de pozos del Campo Provincia de Ecopetrol para disminuir pérdidas de fluido hacia la formación. (Acevedo, 2018, pág. 86)

Los resultados técnicos fueron satisfactorios en algunos casos, pero demandan recursos importantes, equipos y logística adicionales, que comparados con el uso de herramientas reciprocantes, los hacen económicamente menos viables ante el buen resultado de las herramientas desarenadoras duales. Un caso donde el uso de herramientas reciprocantes superó a dos sistemas para controlar pérdidas de fluidos, fue en el pozo LC-744. Se utilizó los sistemas Barazán y Thixsal Ultra / Solubrige, donde no se logró circulación y finalmente con bomba desarenadora alcanzó fondo real.

Tabla 4.

*Caso no exitoso de uso de sistemas para controlar pedidas de fluido en el Campo La Cira Infantas*

LC-2144 Rig PW-112 Trabajo: Well Services					
Fecha	BHA	Descripción	Avance (ft)	Tiempo (horas)	Comentarios
12/6/13 0:00	#1	Bomba desarenadora	39 ft	21	1.9 ft/hr
12/6/13 21:00	#2	Bomba desarenadora	51 ft	20.5	Aporte 17 ft 2.5 ft/hr
12/7/13 17:30	#3	Bomba desarenadora	60 ft	18.5	3.2 ft/hr
12/8/13 13:00	#4	Broca tricónica 4-1/2" Barazán, producto Halliburton	167	30.5	140 bbl píldora Barazán 1360 bbl de agua sin retorno <b>5.5 ft/hr sin retorno</b>
12/9/13 7:30	#5	Bomba desarenadora	66	15.5	4.3 ft/hr
12/10/13 23:30	#6	Broca tricónica 4-3/4" Barazán, producto Halliburton	0 ft	18.5	94 bbl píldora Barazán <b>574 bbl de agua sin retorno</b> <b>Cero avances por circulación</b>
12/11/13 18:00	#7	Broca tricónica 4-3/4" Thixsal Ultra, Producto TBC-Brinard	14 ft	14	40 bbl píldora Thixsal Ultra <b>200 bbl de agua sin retorno</b> <b>2.8 ft/hr sin retorno</b>
12/12/13 8:00	#8	Bomba desarenadora	95 ft	21.5	4.3 ft/hr, llegó a fondo

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

**Bomba Desarenadora CEPS:** En enero de 2016, mediante Orden de Servicio, OS63000012196 entre OXY y CEPS ENGINEERING SAS, Servicio de Bomba Desarenadora CEPS fue probada con éxito. La bomba desarenadoras CEPS por acción reciprocante y/o con circulación en directa en los siguientes pozos:

LC-2521 Avance 105 ft de relleno, Tiempo operación 1:30 min.

LC-2291 Avance 411 ft de relleno Tiempo operación 3:00 hrs.

LC-1054 total 96 ft de relleno, Tiempo operación 0:30 min.

**Bomba Desarenadora Dual ECOPETROL:** Como evolución de la bomba desarenadora, desarrollada por ECP en 1991, se desarrolló la bomba Desarenadora Dual, la cual fue patentada por la Superintendencia de Industria y Comercio:

“Herramienta desarenadora de pozos con sistema de inyección directa de fluidos”. (Resolución, 69954, 2016)

#### **4.1.4 Tiempo No Productivo (NPT).**

Ya identificadas las actividades más frecuentes en las Operaciones de Well Services / Workover, debemos controlar los eventos que causan traumatismo o retraso en estas operaciones. Los NPTs Corresponden a los tiempos inactivos del equipo por fallas en la Unidad Básica, falla o ausencia de herramientas solicitadas contractualmente.

Está establecido en los contratos OXY: Contrato CLCI-0565, OXY. Contrato CLCI-0480, OXY. Contrato CLCI-0567, OXY. Contrato CLCI-0548 OXY. Contrato CLCI-0564, OXY. Contrato CLCI-0549. (OXY, y otros, 2017)

Se entiende que se genera tiempo no productivo (NPT) cuando:

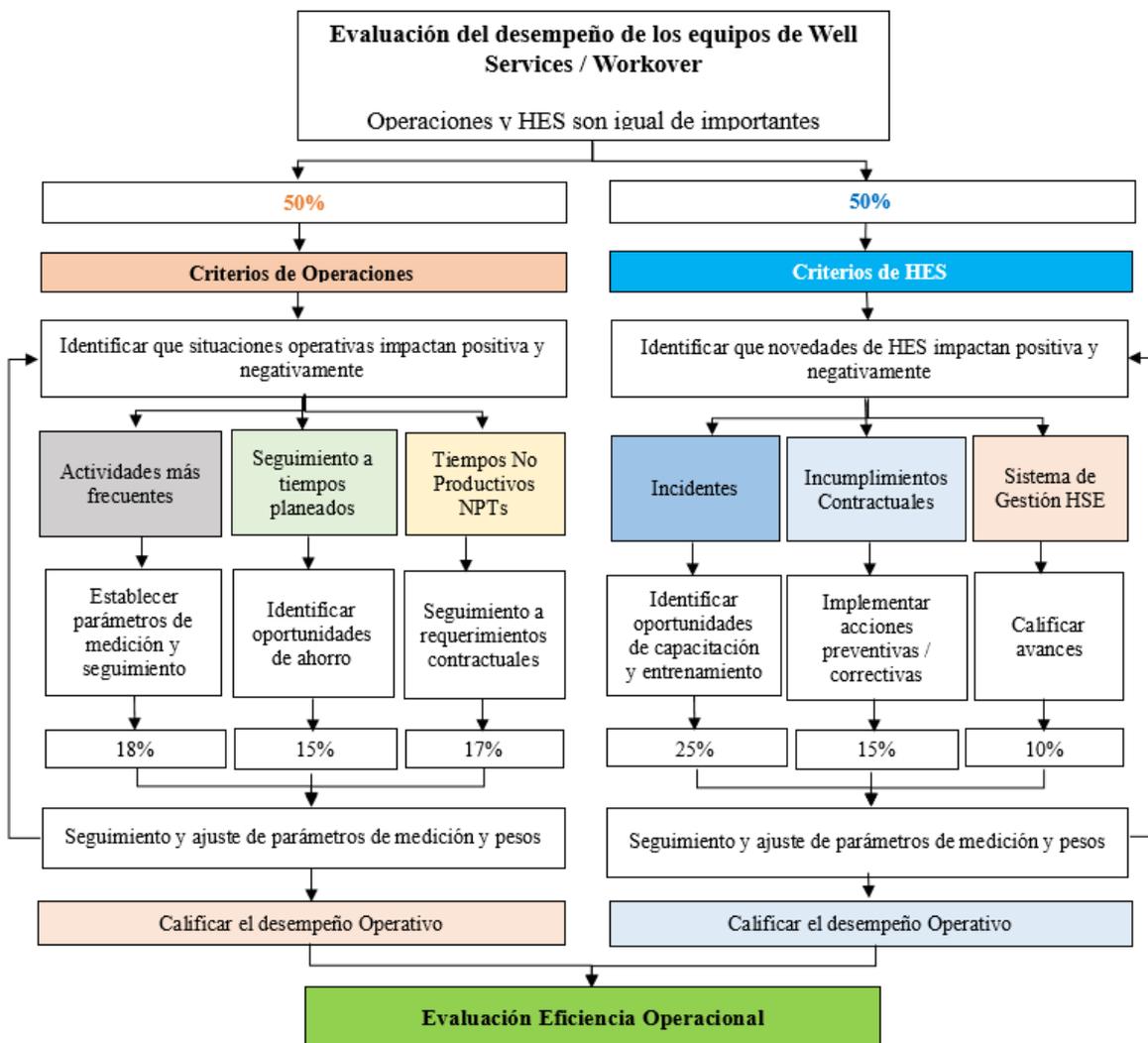
- Una herramienta y/o equipo no trabaja apropiadamente debido a fallas. El NPT se contará desde el tiempo en que se presenta la falla hasta que los equipos o herramientas de reemplazo inicie nuevamente operación.
- El personal no está listo para iniciar operaciones de acuerdo al programa de pozo
- Las herramientas no estén disponibles. El NPT se contará desde el tiempo en que se presente la interrupción del programa hasta que las herramientas estén disponibles en buenas condiciones para operar.
- Y todas aquellas situaciones que generen retraso a la operación por causa del CONTRATISTA, su personal, herramientas o equipos

### 4.2 Metodología propuesta para calcular Eficiencia Operativa

Identificadas las actividades que impactan el rendimiento de los equipos en las operaciones de Well Services / Workover, se propuso el siguiente modelo para integrar y ponderar las actividades identificadas y las desviaciones.

Figura 12.

Metodología para evaluar la Eficiencia Operativa – Caso de aplicación La Cira - Infantas



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### **4.3 Criterios de Operaciones**

Identificadas las consideraciones a tener en cuenta para evaluar el rendimiento de los equipos en las operaciones de Well Services / Workover, debemos definirla forma de integrarlas de tal manera que sea coherente con las políticas del Proyecto LCI. Los pesos a cada una de las consideraciones Operativas y HES fue el resultado de recomendaciones y experiencia de todos los profesionales del equipo integrado OXY y ECP.

Se definió establecer el mismo peso en la Evaluación del desempeño de los equipos de Well Services / Workover, para Seguridad Industrial y La Producción 50% Operaciones y 50% HES, Esto con el fin de reflejar la filosofía de ECP y OXY en donde lo más importante son las personas y el medio ambiente, luego los resultados operativos.

Identificadas y definidas las consideraciones a tener en cuenta para evaluar el rendimiento de los equipos, debemos ponderar e integrar Todos los indicadores definidos.

#### **4.3.1 Tiempo Promedio de Movilización de Equipos.**

Teniendo en cuenta que en trabajos cortos de 2-3 días representa el 10%-15% del tiempo de ejecución, se estableció un peso del 13% para el tema de movilización. Así mismo involucrar tiempos de movilización establecidos contractualmente.

Está establecido en los contratos de “Servicios de reacondicionamiento, mantenimiento, abandono y completamiento de pozos ubicados en el campo La Cira Infantas en el departamento de Santander”: Contrato CLCI-0565, OXY. Contrato CLCI-0480, OXY. Contrato CLCI-0567, OXY. Contrato CLCI-0548 OXY. Contrato CLCI-0564, OXY. Contrato CLCI-0549. (OXY, y otros, 2017)

Tabla 5.

*Tiempos máximos de movilización según corresponda el kilometraje*

<b>DISTANCIA</b>	<b>TIEMPO RIG</b>	<b>TIEMPO RSU</b>
Misma Plataforma	5 Hrs	3 Hrs
0.0 - 4.9 Km	7 Hrs.	5 Hrs.
5.0 – 12.0 Km	10 Hrs.	8 Hrs.
12,1 - 30.0 Km	11 Hrs.	9 Hrs.

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC, modificado por el autor.

Meta según Kms de Movilización y Tipo de Equipo (Rig/RSU)

Desviación de la Meta vs Real – Excluyendo NPT's.

Mayor Calificación: 13% - Por Debajo De La Meta

Desviación menor a 20%- Calificación 10%

Desviación menor a 40%- Calificación 8%

Desviación mayor a 40%- Calificación 5%

#### **4.3.2 Tiempos Promedios de Intervención.**

En las Operaciones de LCI debido al alto número de trabajos frecuentes y buen número de equipos, se tienen bien establecidos los tiempos promedio de ejecución. Cada año, estos tiempos se revisan y ajustan de acuerdo a buenas prácticas, lecciones aprendidas, cambios de tecnología, cambios de equipos. Para este indicador se estableció un peso del 15%:

#### **Meta Según Cada Tipo de Trabajo.**

Desviación del tiempo Planeado vs Real – Excluyendo NPT's.

Mayor Calificación: 15% - Desviación menor al 5 %

WS Iny / WS Prod / IC

Desviación Menor a 20% - Calificación 13%

Desviación Menor a 40% - Calificación 10%

Desviación Mayor a 40% - Calificación 8%

WO Iny / WO Prod / ABA

Desviación Menor a 30% - Calificación 13%

Desviación Menor a 50% - Calificación 10%

Desviación Mayor a 50% - Calificación 8%

**4.3.3 Limpiezas de Arena.** Es la actividad más frecuente en los trabajos de Well Services / Workover en las operaciones de la LCI. En el primer trimestre de 2018 ya se había realizado 139 trabajos, esto indica que en cerca del 50% de los trabajos de Well Services, Workover y Abandonos involucran trabajos de limpieza de arena. Para este indicador se estableció un peso de 5%:

Este indicador se definió en términos de ft/hora limpiados, incluyendo los tiempos de Run In Hole y Pulling del BHA de limpieza.

Mayor calificación al de mejor desempeño.

Calificación proporcional descendente a los demás equipos.

#### **4.2.4 NPT – Tiempos no productivos**

Se estableció un peso del 17%:

Meta 3% (Mensual: 20 Horas) \* Asociados al Rig

Mayor Calificación, Menor a 3%: Calificación 17%

Hasta 5% - Calificación 15%

Hasta 8% - Calificación 13%

Hasta 10% - Calificación 10%

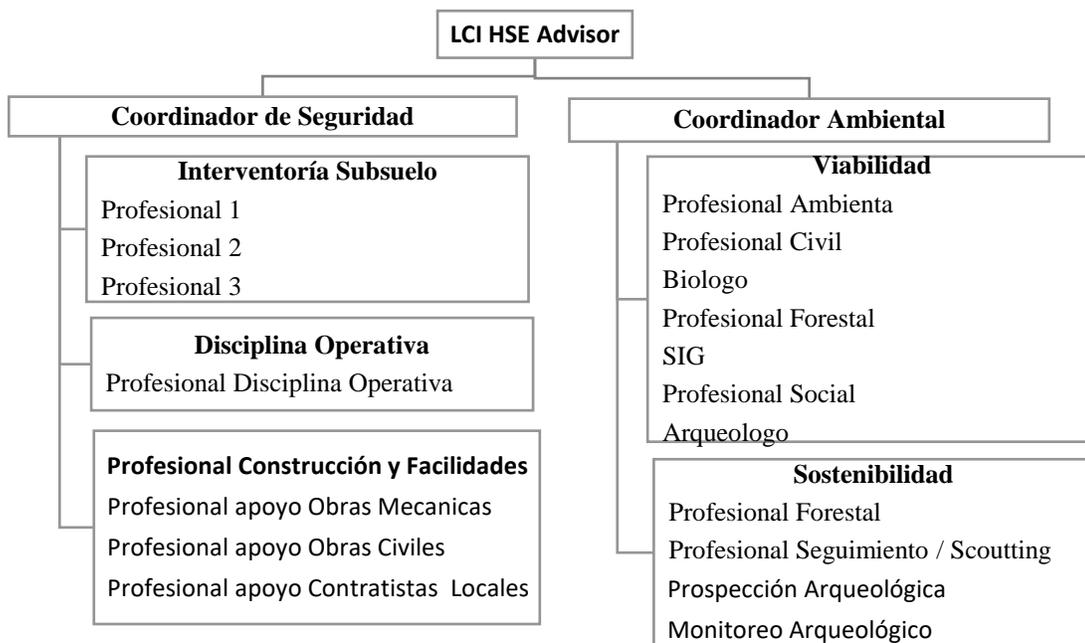
Mayor a 10% - Calificación 8%

#### 4.4 Criterios de HES

Conozcamos el organigrama en campo del equipo de HES por parte de OXY:

Tabla 6.

*Organigrama HES equipo OXY Campo La Cira - Infantas*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Establecer indicadores HES, forma parte de esta metodología para evaluar el desempeño de los equipos de Well Services / Workover mostrando la Eficiencia Operacional.

Está establecido en los contratos de “Servicios de reacondicionamiento, mantenimiento, abandono y completamiento de pozos ubicados en el campo La Cira Infantas en el departamento

de Santander”, previstos en los contratos OXY. Contrato CLCI-0565, OXY. Contrato CLCI-0480, OXY. Contrato CLCI-0567, OXY. Contrato CLCI-0548 OXY. Contrato CLCI-0564, OXY. Contrato CLCI-0549, se establece reportar todo Incidente: (OXY, y otros, 2017).

El Contratista, además, está obligado a suministrar a OXY:

Un informe preliminar de todo incidente, accidente, daño a la propiedad, contaminación ambiental, enfermedad profesional o cualquier otra alteración de salud que afecte a algún miembro de su Personal, a Subcontratistas, a terceros o integrantes de la comunidad vecina al proyecto que viene ejecutando, dentro de las veinticuatro (24) horas siguientes a su ocurrencia. Así mismo el contratista deberá realizar la investigación del evento, incluyendo el análisis correspondiente, indicando las causas y medidas correctivas adoptadas.

#### **4.4.1 Incidentes**

Se estableció un peso del 25%. De no presentarse incidente Ocupacional de alguno de los integrantes del equipo Máxima calificación. De presentarse un Incidente la calificación es cero (0%). Medición mensual.

#### **4.4.2 Disciplina Operativa**

Se estableció un peso del 15%. Calificación del avance, de acuerdo al Cronograma establecido por el Proyecto Oxy- Ecopetrol. Calificación máxima si avance 100% de acuerdo al cronograma. Calificación otorgada por el equipo HES del proyecto.

Contractualmente está incluido dentro de las Obligaciones del Contratista: Implementar el programa de Disciplina Operativa, de acuerdo a GHS-G-008 “Guía Requerimientos para la Implementación de Disciplina Operativa en Ecopetrol S. A”.

#### 4.4.3 Insonorización / Cámaras de Video

Se estableció un peso del 10%. Temas contractuales de equipos insonorizados, presente en estos contratos OXY. Contrato CLCI-0565, OXY. Contrato CLCI-0480, OXY. Contrato CLCI-0567. OXY. Contrato CLCI-0548, OXY. Contrato CLCI-0564, OXY. Contrato CLCI-0549, (OXY, y otros, 2017), el objetivo es promover nuevas ideas para reducir este impacto y dar 100% de cumplimiento con la regulación del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, **Resolución 0627** del 7 de abril de 2006, donde se establece la norma nacional de emisión de ruido. **Artículo 17.** Estándares Máximos Permisibles de Niveles de Ruido Ambiental: En la Tabla 2 de la presente resolución, se establecen los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles ponderados A (dB(A)). (Resolución, 0627, 2006)

Tabla 7.

*Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles (DB(A))*

ESTÁNDARES MÁXIMOS PERMISIBLES DE NIVELES DE EMISIÓN DE RUIDO EXPRESADOS EN DECIBELES DB(A).			
Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en dB(A)	
		Día	Noche
Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado	Residencial suburbana.	55	50
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria		
	Zonas de Recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

Fuente: (Resolución, 0627, 2006)

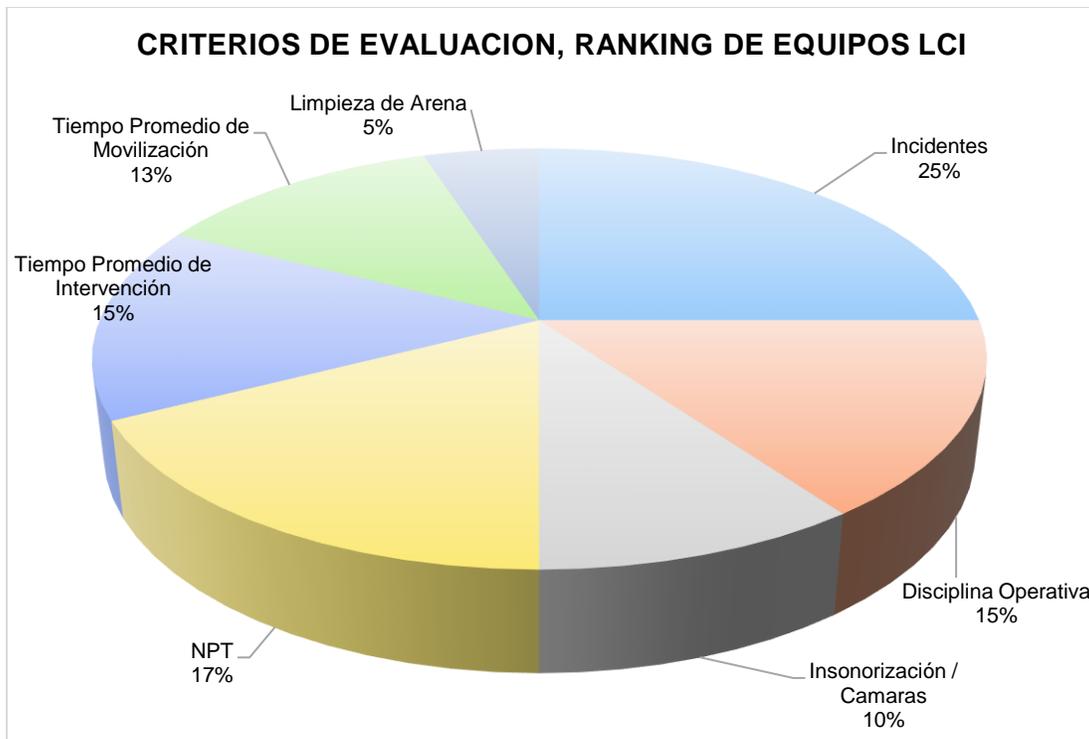
El crecimiento la población durante el desarrollo del Proyecto, ha ocasionado un auge de construcciones irregulares, muy cerca de los pozos. Es normal que las comunidades, solicitudes de no ingreso, no trabajos nocturnos o reubicación de residentes con costos a cargo del proyecto.

**4.5 Criterios de Evaluación Definidos – Caso de Aplicación LCI**

Identificadas, definidas e integradas las consideraciones a tener en cuenta para evaluar el rendimiento de los equipos en las operaciones de Well Services / Workover aplicadas para LCI, quedaron así:

Figura 13.

*Criterios de Evaluación Eficiencia Operativa equipos Well Services / Workover 2018 en LCI*



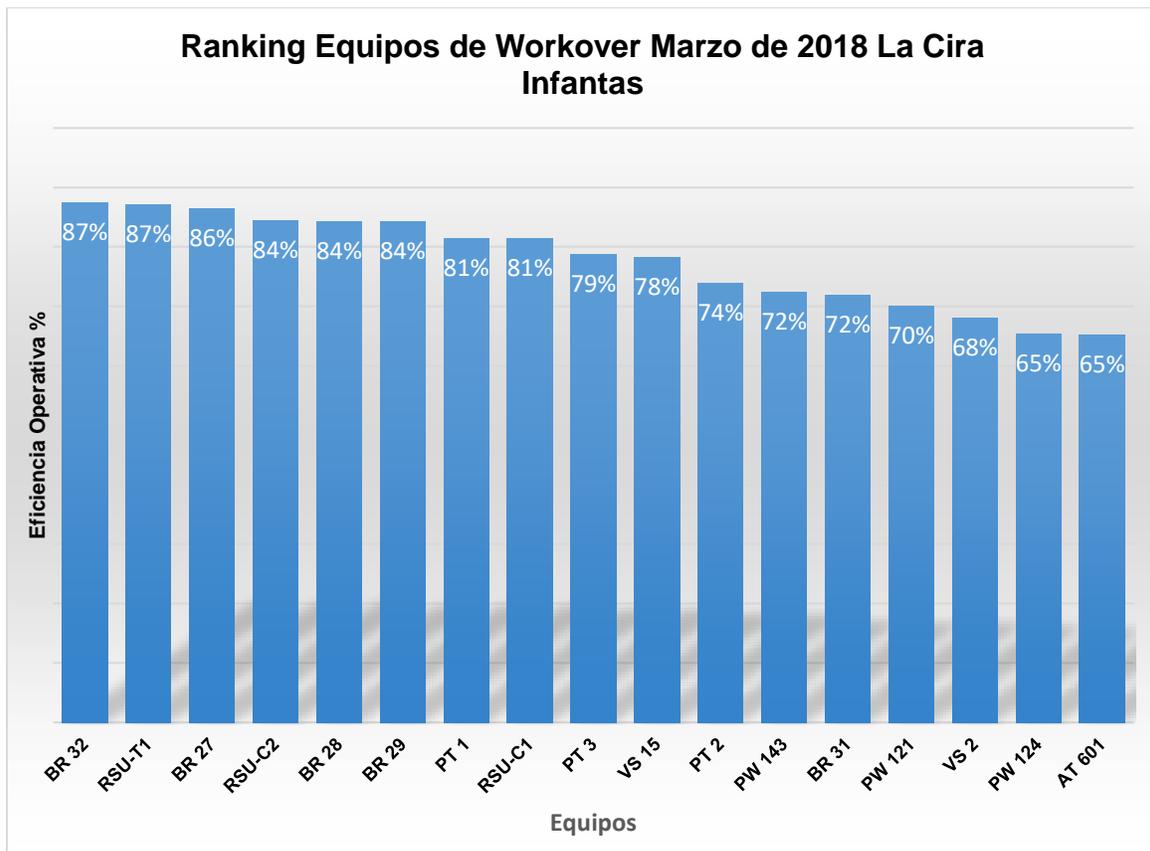
Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

#### 4.6 Primera Medición en el Campo la Cira Infantas

Identificadas, definidas e integradas las consideraciones para evaluar el rendimiento de los equipos en las operaciones de Well Services / Workover, aplicado a los equipos en operación en el Campo La Cira Infantas, se realiza la primera medición mostrando una Eficiencia Operativa del 78% para el mes de marzo de 2018. Muy por debajo del identificado del 98.9% de Factor de Servicio – Operaciones, el cual como se ha mencionado solo tenía en cuenta la disponibilidad de equipo (Figura 8. Factor de Servicio Equipos LCI marzo 2018, de acuerdo a medición realizada)

Figura 14.

*Ranking Equipos Workover / Well Services marzo de 2018 Campo La Cira Infantas*



Fuente: Occidental de Colombia

De aquí en adelante, inicia un trabajo de socialización con los Colaboradores, Empresas Contratistas y Operadoras, retando las compañías a mejorar dichas eficiencias y cerrar el año 2018 con una Eficiencia Operativa mayor a 90%. Se establecen reuniones mensuales con los Company Man, representantes de las Empresa Contratistas, Coordinación de Subsuelo Ecopetrol, Superintendencia de Operaciones y HES de OXY, para hacer seguimiento a los resultados de sus equipos, acordar compromisos y proponer cambios.

## 5. Variables Operativas de los Equipos de Well Services / Workover en LCI a Mejorar

### 5.1 Movilización de Equipos

Se identificaron los diferentes esquemas de movilización de las Empresas Aliadas, número de cargas, distribución de equipos, reducción de cargas, etc. Por parte de los Colaboradores se observó más compromiso de optimizar las cargas y de esta manera esforzarse menos. Por parte de las Empresas contratistas, evaluaron costo beneficio, al mejorar los tiempos de movilización, más facturación, de esta manera optimizaron equipos y se aseguraron el cumplimiento contractual y de Ley. Por parte de Oxy y Ecopetrol, asignando rutas con antelación, arreglando locaciones y vías.

En LCI se tiene el instructivo para movilización de equipos en operaciones de ECP, PCG-I -309, los cuales se encuentran ajustados a la Ley. Los equipos RSU, Rapid Services Unit, se pueden movilizar sin inconvenientes, pero los equipos de mayor capacidad, por la configuración de la torre que sobresale en la parte delantera, solo se puede movilizar de día.

Los equipos en el Campo La Cira Infantas, tienen las siguientes medidas: (ECP)

Tabla 8.

*Medidas equipos Workover / Well Services en LCI*

Empresa	Equipo	Largo	Ancho	Alto	Carga posterior (Chasis – Parrilla)	Carga delantera (Cabina – Corona)
RSU-C	01	12.5	2.6	4.35	<80 cms	0
RSU-C	02	13.65	2.6	3.3	<80 cms	0
RSU-C	03	13	2.6	4.3	<80 cms	0
RSU-C	04	13	2.6	4.3	<80 cms	0
RSU-C	05	13	2.6	4.3	<80 cms	0
RSU-T	01	13.3	2.6	3.65	<80 cms	0
BR	27-29-32	13.5	2.8	4.5	<80 cms	2.7
PT	02-03	18	3.2	4.35	<80 cms	4.5
VS	02	14	3.3	4.2	<80 cms	3.5

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Según (Resolución, 00459, 2006): Por la cual se fijan los requisitos y procedimientos para conceder los permisos para el transporte de cargas indivisibles extra pesadas y extra dimensionadas, y las especificaciones de los vehículos destinados a esta clase de transporte.

### Artículo 3. Definiciones:

**Carga Indivisible:** Carga que por sus características no puede ser fraccionada para su transporte.

**Carga Extra dimensionada:** Carga indivisible que excede las dimensiones de la carrocería de los vehículos convencionales homologados por el ministerio de transporte para las movilizaciones de carga en tránsito normal por las vías públicas.

Tabla 9.

*Cumplimiento de Ley de movilización de los equipos Workover / Well Services en La Cira Infantas*

	<b>Resolución 00459 de 2006</b>	<b>Instructivo para movilización de equipos en operaciones</b>	<b>Equipos en LCI</b>
<b>Longitud</b>	No se requerirá de registro ni de permiso para el transporte de carga extra dimensionada que sobresalga por la parte posterior del vehículo en una longitud <b>inferior a un (1) metro</b>  Para carga extra dimensionada, que <b>sobresalga cualquier longitud por la parte delantera del vehículo, no se autorizará permiso bajo ninguna circunstancia.</b>	La movilización de cargas indivisibles Extra dimensionadas y extra pesadas se rigen según la normatividad vigente. Las vías internas propias de Ecopetrol S.A. en las que no haya presencia de viviendas cercanas, peatones, flujo vehicular, centros educativos o aglomeración de personas se consideran que no son vías nacionales, urbanas ni rurales, por lo tanto se podrá realizar movilización de cargas indivisibles extra dimensionadas y/o extra pesadas en horario de las 18:00 a las 06:00 horas, asegurando que esta condición se mantenga desde el inicio hasta la finalización de la movilización.	Todos los equipos de LCI cumplen por la distancia entre en la parte posterior (<80 cm)  Colpetroleum y TTP Well Services, Cumplen por que no sobresalen en la parte delantera.  Braserv, Petrotech y Varisur No Cumplen las torres sobresalen en la parte delantera
<b>Anchura</b>	- Para el transporte de carga extra dimensionada con un	<b>Resolución 00459 de 2006</b> <b>Instructivo para movilización de equipos en operaciones</b>	<b>Equipos en LCI</b>  Todos los equipos de LCI cumplen

Resolución 00459 de 2006	Instructivo para movilización de equipos en operaciones	Equipos en LCI
<p><b>Altura</b> ancho superior a dos coma seis (2,6) metros e inferior o igual a tres (3,0) metros, se requerirá que el operador esté previamente inscrito en un registro de operadores de este tipo de transporte que llevará el Grupo de Seguridad Vial.</p> <p>Los permisos que autoricen el transporte de carga extra dimensionada cuya altura supere los <b>4.40 metros</b>, se expedirán siguiendo los procedimientos y requisitos fijados en los artículos 9° y 10 de la presente resolución</p>		<p>Los contratistas utilizan vehículo acompañante adelante y atrás, porque se asume vías de doble sentido y por la cantidad de viviendas (en algunos casos caseríos).</p> <p>Todos los equipos de LCI no superan los 4.40 metros de altura</p>

---

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

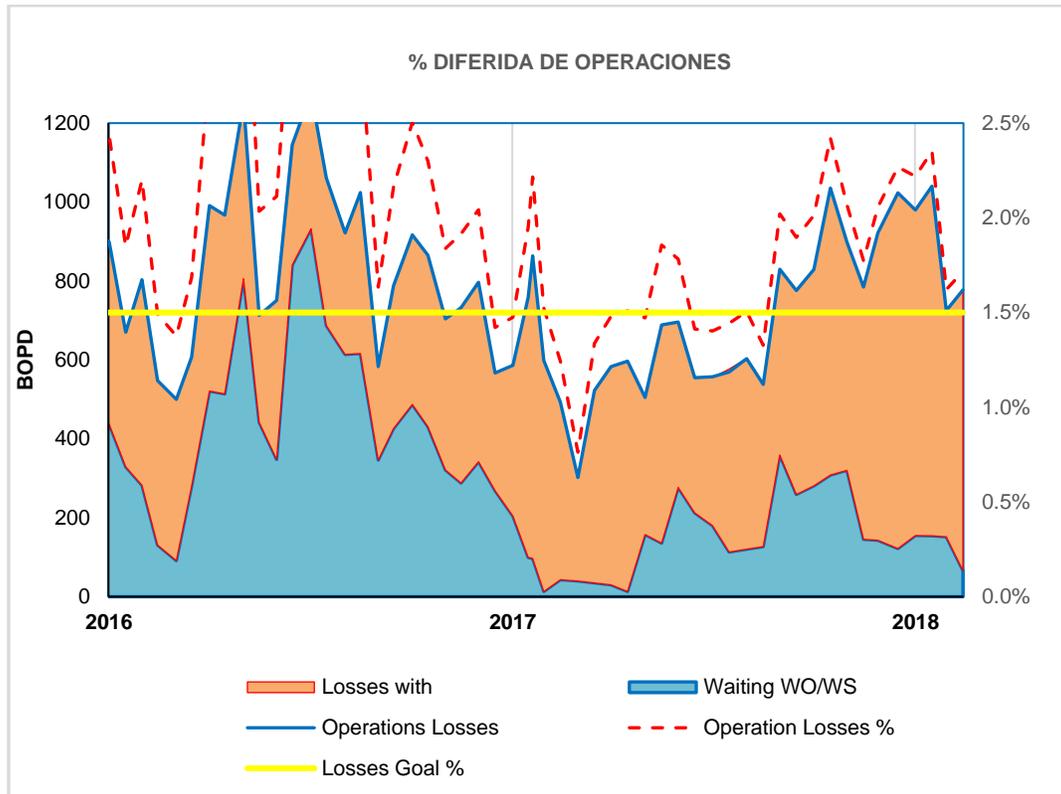
## 5.2 Tiempos Promedio De Intervención

### 5.2.1 Seguimiento diferida operaciones Campo la Cira Infantas.

La diferida a cargo de Operaciones de Subsuelo está asociada a: Pozo fallado, pozo intervenido y pozo en línea. En el año 2018, El Promedio de la Diferida de Operaciones LCI en lo Corrido del primer trimestre es de 909 BOPD, 2.8% de la producción, mayor al 1.5% establecido de meta. El seguimiento a la Eficiencia Operativa en las intervenciones de Well Services / Workover debe demostrar mejores trabajos en menos tiempo y redundar en mejores resultados.

Figura 15.

*Seguimiento a la producción diferida de operaciones de Well Services / Workover 2016- marzo 2018.*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### 5.2.2 Seguimiento Limpieza de Arena LCI.

Desde marzo de 2018 como parte de La medición de la Eficiencias operativas, se realiza medición de las limpiezas de arena en las intervenciones de Well Services / Workover de LCI, con los siguientes parámetros:

- Operaciones de limpieza, número de pozos.
- Sucio limpiado por pozo intervenido, pies (ft).

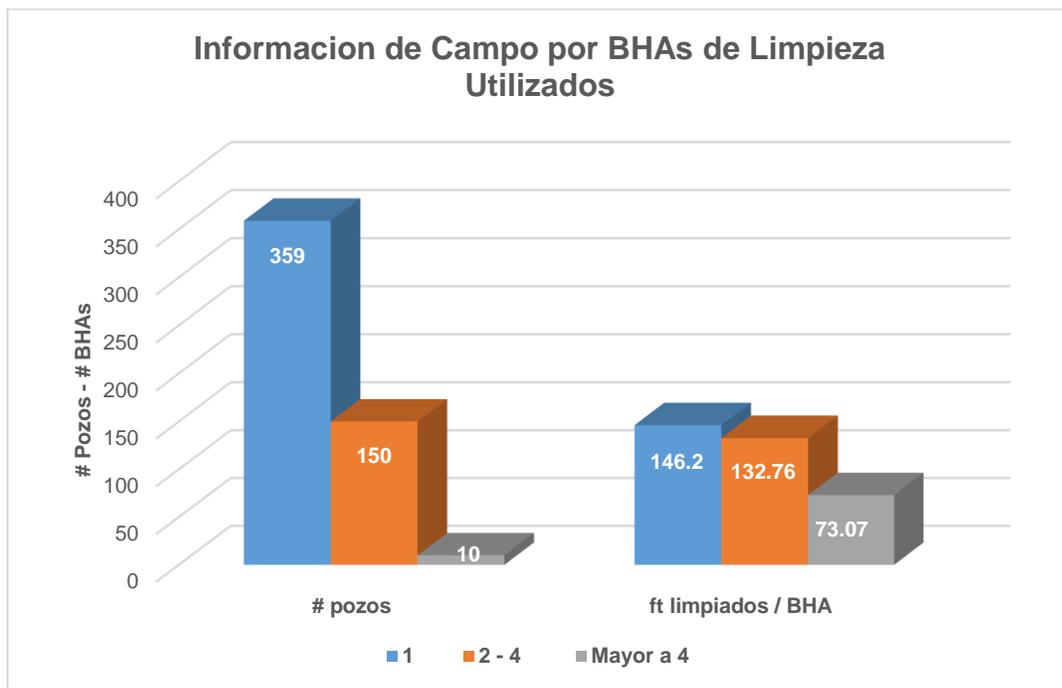
- Viajes realizados en pozo durante la limpieza, BHAs de limpieza/pozo.
- Eficiencia de limpieza, pies/hora (ft/hr)

Como resultado de este seguimiento, se obtuvo en 2018 lo siguiente:

- Área con Mayor Aporte de Sedimentos: CIRA NORTE.
- Área con Menor Aporte de Sedimentos: INFANTAS SUR.
- De 519 pozos intervenidos, se encontró 224 pies de sucio en promedio.
- El 69% de los pozos intervenidos solo requirió un viaje de limpieza.
- En 213 pozos se utilizó Bomba Desarenadora Dual de ECP, eficiencia 173 ft/BHA
- Eficiencia Bomba Desarenadora Convencional 136 ft/BHA.

Figura 16.

*Promedio de BHAs de limpieza utilizados 2018.*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

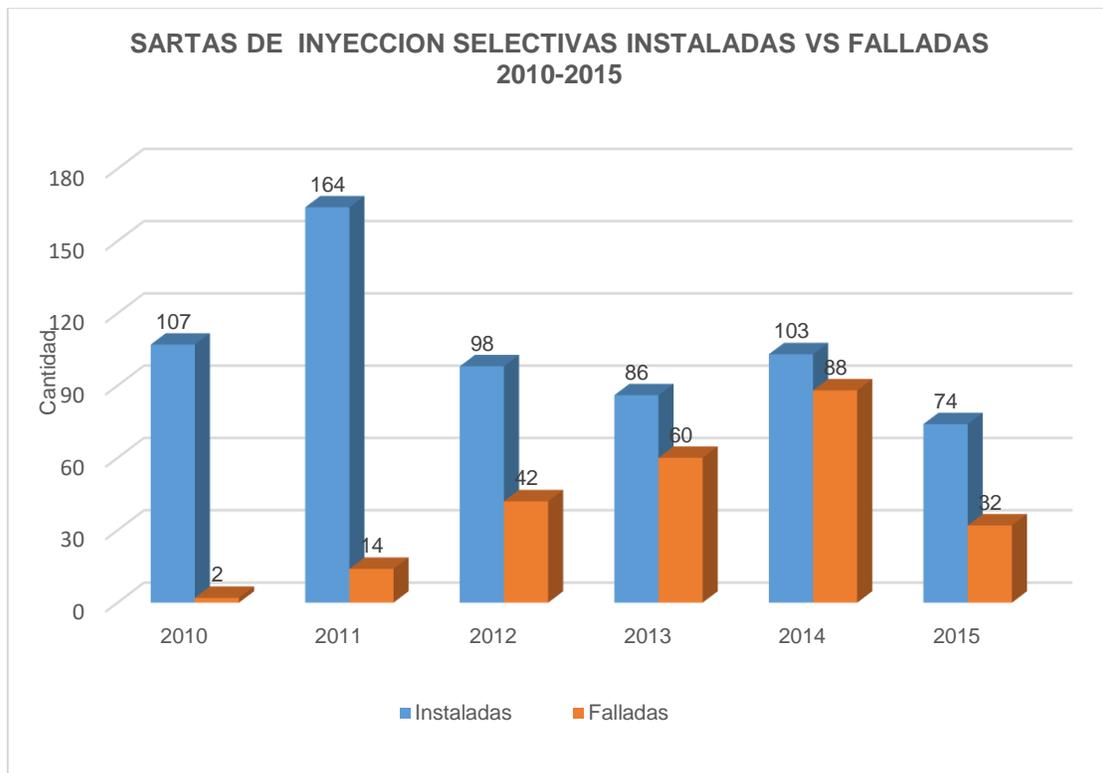
### 5.2.3 Seguimiento a Operaciones de Pesca.

Correr sarta de inyección hasta con 8 empaques y un trabajo de Well Services / Workover demanda muchas variables: número y tipo de empaques, Run Life o tiempo de instalación, Diámetro del Casing y Área del Campo.

Una de las operaciones más comunes en LCI son las operaciones de pesca, en especial en pozos inyectores, hay un análisis completo de fallas en estos sistemas, 2011-2015. Fallas y componentes más frecuentes: (Pinzón & Rúgeles, 2015, pág. 125)

Figura 17.

*Sartas de Inyección Selectivas instaladas vs falladas LCI 2010-2015.*



Fuente: (Pinzón & Rúgeles, 2015, pág. 57). Modificada por el autor

- En 2011: fallaron mandriles y las VRs, 33% cada uno.
- En 2012 fallaron los mandriles 64% y las VRFs 18%.
- En 2013 fallaron los pup joints 37% y los mandriles 35%.
- En 2014 fallaron los pup joints 42% y la tubería 40%.

Luego de todo el análisis se determinó que principalmente las fallas estaban asociadas a corrosión por CO<sub>2</sub> y sus bacterias. Las recomendaciones del equipo integrado es utilizar tubería de acero al carbón reforzada con fibra de vidrio junto con BHA con recubrimiento en níquel en los accesorios y recubrimiento interno y externo de epóxico tanto en los pup joints como en las juntas de tubería.

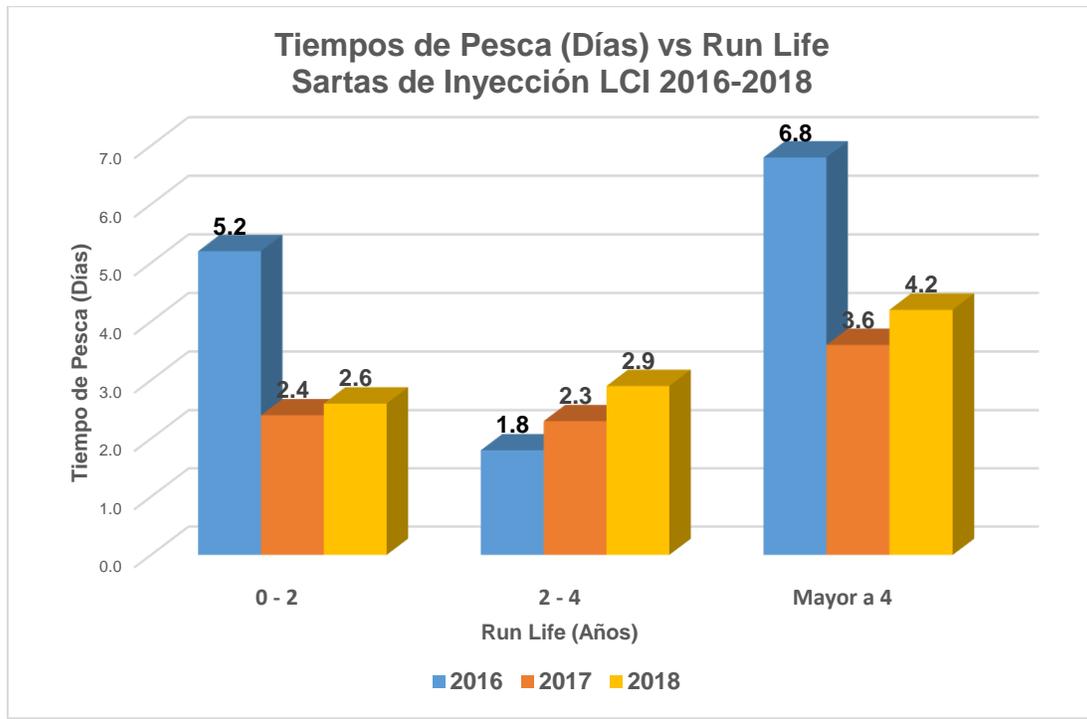
El uso de tecnologías ILT (Injection Logging Test), Trazadores Radioactivos y Microtoque, nos dan más información de posibles fallas en tubería, pup joints, empaques, válvulas reguladoras, etc.

En la siguiente gráfica podemos observar una reducción importante en los tiempos de pesca. Importante resaltar los análisis de fallas, la continuidad de equipos, actualización de Herramientas de pesca, experiencias de los Fishing Man, de Company Man y mejorando la toma de decisiones.

Lecciones aprendidas, mejorando procedimientos, uso de cortadores químicos y el trabajo en conjunto del equipo de Operaciones Oxy y ECP.

Figura 18.

*Tiempos operaciones de pesca de sartas de inyección en pozos LCI 2016-2018.*



Fuente: (Pinzón & Rúgeles, 2015, pág. 57) Modificada por el autor

En 2018, los trabajos de pesca se resumen:

- 57 Operaciones a pozos inyectoros.
- 2 pozos abandonados por operaciones complejas de pesca
- 21 de los 57 pozos requirieron trabajos de pesca.
- El tiempo promedio de pesca fue de 4.6 días/pozo

#### **5.2.4 Seguimiento a Operaciones de Abandono.**

Los equipos de Workover que ejecutan las operaciones de abandono, se ven frecuentemente afectados por los cambios como resultados del trabajo. Se deben correr registros de cementación

antes de balancear el tapón intermedio y de superficie. En caso de observarse mala calidad de cemento del casing, debemos realizar trabajos de cementaciones remedial que muy seguramente no se consideran en el Well Planning o programa de trabajo. Hacer el manejo del cambio en la herramienta de reporte de operaciones, Open Wells por la complejidad de Ecopetrol, muestran que, por lo general, los tiempos de ejecución superan fuertemente los de planeación, afectando la Eficiencia Operativa, en el caso de LCI.

Igual ocurre con los servicios asociados a las operaciones de abandono como lo son: cañoneo, cementación, registros, slick line, etc. De haber actividades simultaneas, un trabajo en un pozo activo siempre tendrá prioridad sobre un trabajo en un pozo de abandono.

Para el caso de LCI, se consideró cumplimiento del Tiempo de intervención, habiendo invertido hasta 130% del tiempo del plan de trabajo.

### **5.2.5 Seguimiento a Índices de Falla.**

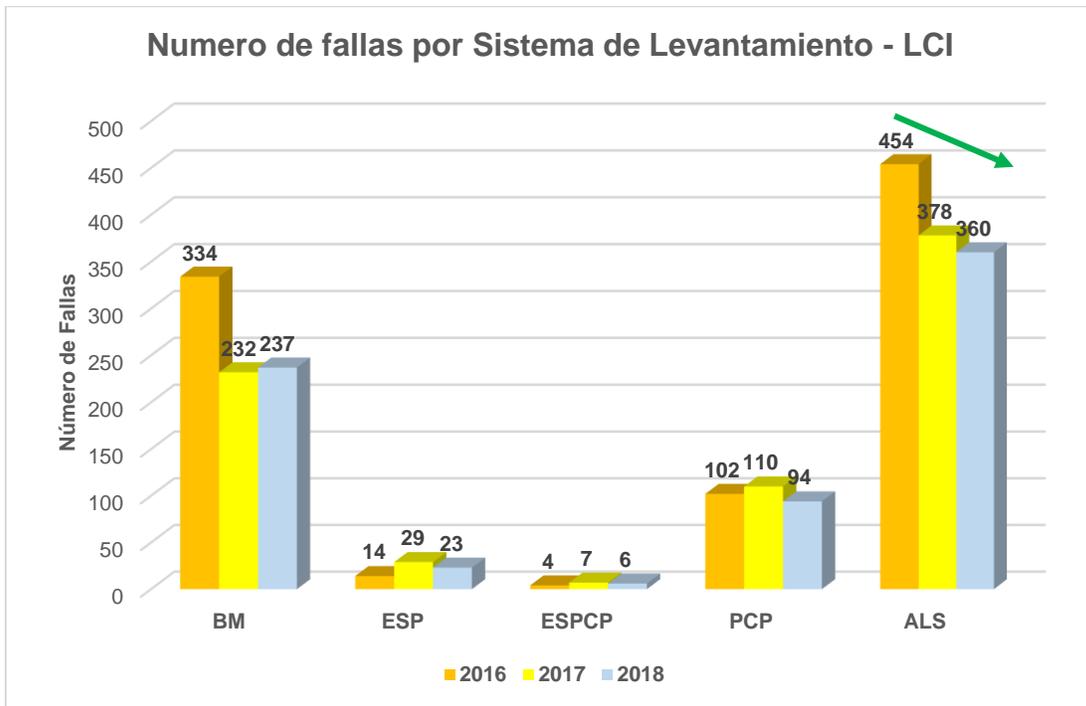
Junto con el equipo de Artificial Lift y Control de Producción, se efectúa riguroso seguimiento para identificación de las fallas, corregir malas prácticas, establecer controles y conocer mejor los sistemas. Prácticas de torque según tablas, correr tubería nueva o inspeccionada, pruebas de integridad de tubería documentadas, manipulación correcta con equipos según recomendación de fabricante y reportes completos. Correr sartas con recomendaciones debido a inclinación y desviación del pozo, control de profundidad y de zonas productoras. De esta manera en número de Fallas viene en descenso.

Para los reportes de falla es muy importantes conservar las muestras (varillas partidas, tubos rotos, etc.) y un buen registro fotográfico.

En la siguiente figura, podemos observar un descenso en el número de fallas en los Sistemas de Levantamiento instalados en La Cira Infantas, desde 2016.

Figura 19.

*Número de Fallas por Sistema de Levantamiento en LCI 2016-2018*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

## **6. Variables HES de Los Equipos de Well Services / Workover en LCI a Mejorar**

### **6.1 Reducción Accidentalidad Subsuelo LCI**

Eliminar los incidentes es posible y requiere un compromiso de todos. Palabras claves: Poder, querer y deber.

- El Colaborador puede, quiere y debe hacer bien su trabajo
- El Contratista puede, quiere y debe cuidar sus equipos, su empresa y a sus empleados
- Ecopetrol y OXY pueden, quieren y deben contratar a las mejores compañías de servicios para desarrollar sus planes de Operación y Producción.

### **6.2 Programa de Mejoramiento de Competencias Integrales en Subsuelo**

Como parte del trabajo en equipo de Ecopetrol y OXY, y una vez habiendo identificado el impacto del alto número de equipos, su alta ocupación y el riesgo, Se buscó reducir la accidentalidad en subsuelo e incrementar la eficiencia de las operaciones.

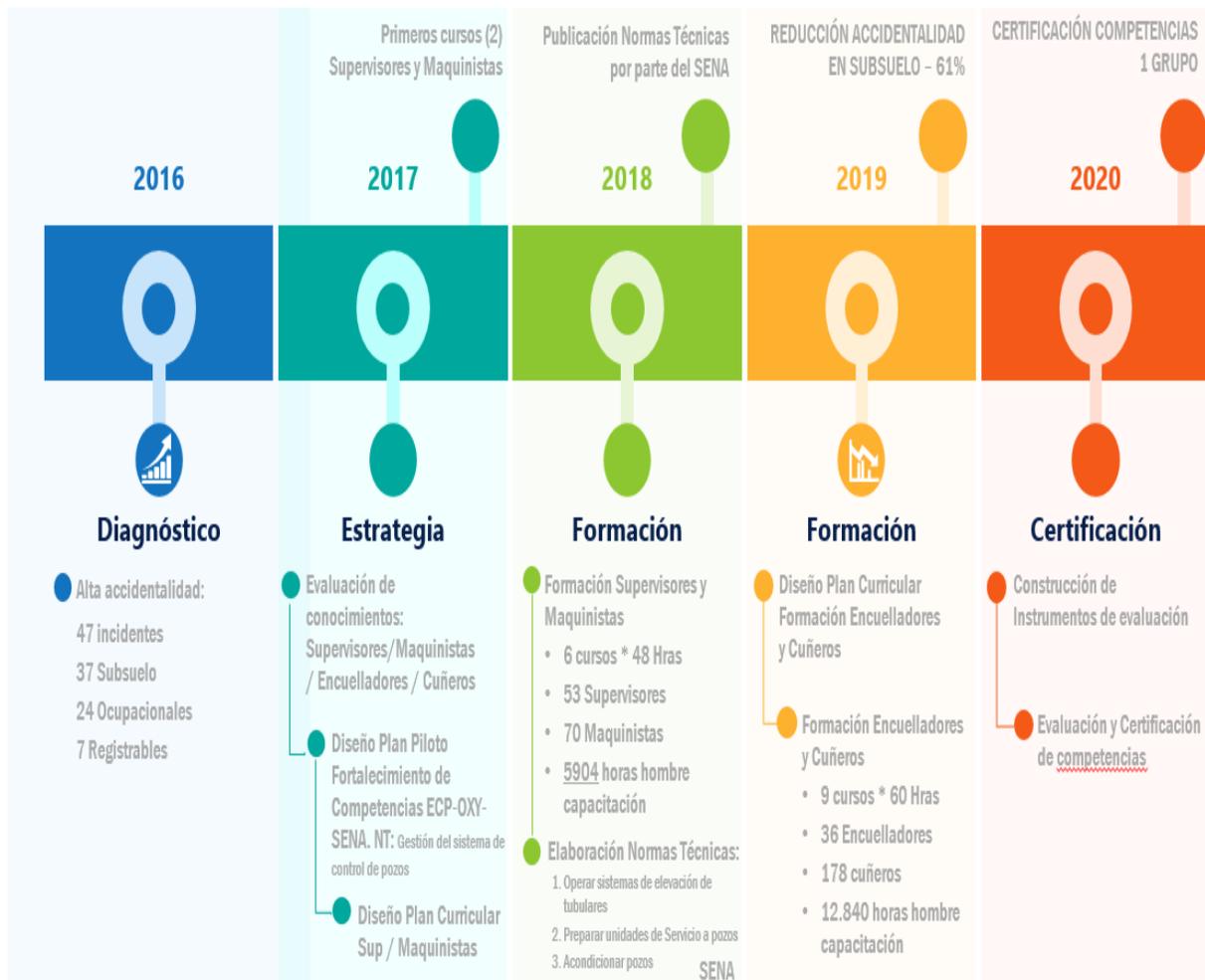
Capacitación fue la clave: Formación y mejoramiento de competencias técnicas y de HES para actividades de subsuelo.

Realizó evaluación de conocimientos, junto con el Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, y los profesionales de Subsuelo, Ingenieros y Company Man se diseñó Plan de Formación para Supervisores, Maquinistas, Encuelladores y Cuneros.

En 2018 se inició con la Formación de Supervisores y Maquinistas, junto con el Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, con el apoyo de los profesionales de Subsuelo, Ingenieros y Company Man. El Plan 2019 es incluir en el Programa de Mejoramiento de Competencias Integrales en Subsuelo a cuneros y encuelladores. La meta en 2020, Certificación de Competencias.

Figura 20.

*Plan Mejoramiento de competencias 2016 -2020*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### **6.3 Disciplina Operativa**

De acuerdo a GHS-G-008 “Guía Requerimientos para la Implementación de Disciplina Operativa en Ecopetrol S. A.”, Disciplina Operativa es:

- Planear la tarea
- Saber y entender, como realizarla con calidad y seguridad
- Comprometerse a seguir los procedimientos paso a paso
- Tener plena consciencia de los riesgos y estar atentos

El Propósito:

- Contar con personal competente y motivado
- Con líderes que irradian su compromiso, realimentan oportunamente en campo a sus colaboradores, promueven el análisis de riesgo como herramientas de planeación y hacen seguimiento al plan de disciplina operativa de su área.

Desde mayo de 2018, la Superintendencia y la Coordinación Senior de Operaciones por parte de OXY estableció reunión mensual con los Gerentes de las empresas contratistas y sus representantes administrativos y operativos que laboraban en el campo, para la divulgación de los resultados de los equipos y su referencia con respecto a las otras compañías que prestaban servicios al proyecto.

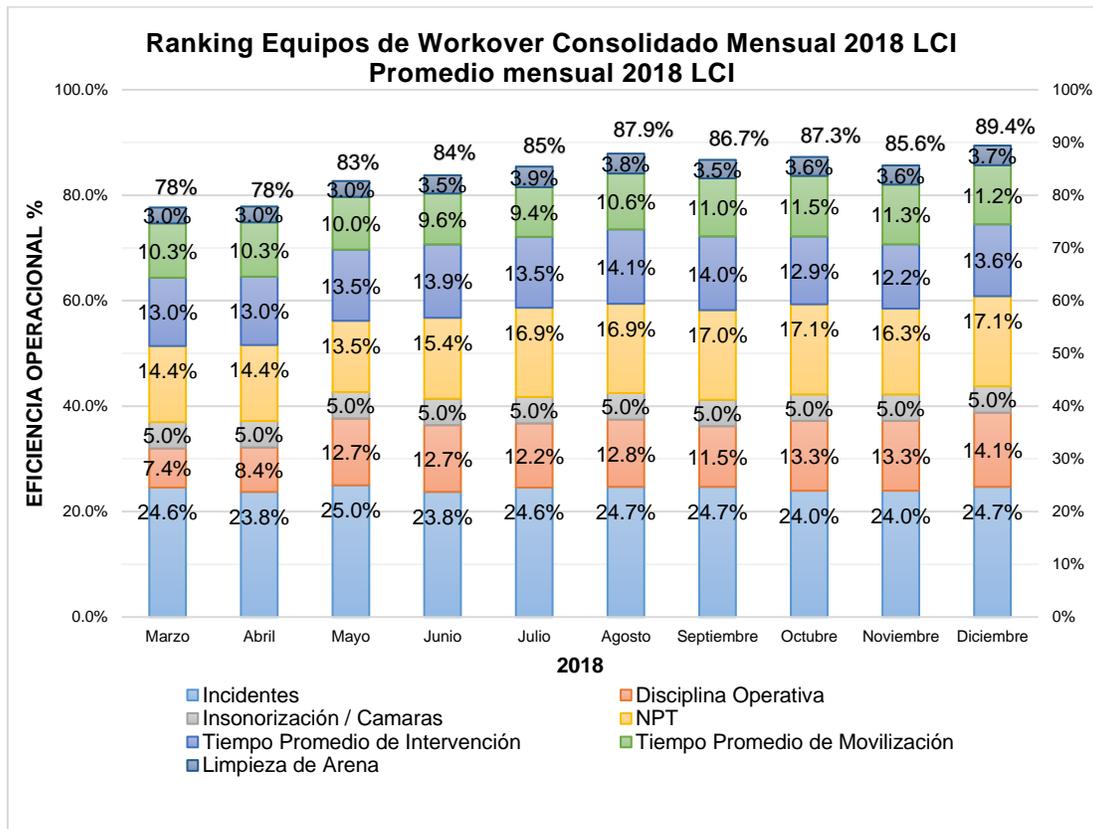
## 7. Resultados

### 7.1 Resultados 2018

La meta de eficiencia operativa en la cual se involucró el componente operativo y la parte HES que se propuso Superintendencia y la Coordinación Senior de Operaciones por parte de Oxy en 2018, estuvo muy cerca de ser alcanzada.

Figura 21.

*Ranking Equipos Workover / Well Services en LCI 2018*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

## 7.2 Cambios en Criterios de Evaluación Para 2019

En 2018 no se documentó medición de línea base y el impacto de las operaciones Workover / Well Services por tema de ruido. Para establecer la línea base y definir el plan de seguimiento de 2019. El primer trimestre, la Coordinación de Operaciones de Oxy en apoyo del equipo de HES realizó las siguientes mediciones:

Tabla 10.

### *Resultados de medición de Ruido en Operaciones Diurnas de Workover / Well*

Distancia de 100 Metros a Cabeza de Pozo Diurno										
RIG	Pozo	Descripción de Trabajo	Fecha	Hora	Resultados línea base			Resultados actividad		
					P1	P2	P3	P1	P2	P3
BR 28	I-3671	Línea base	11-Mar-19	9:58-10:30	47.3	48				
BR 28	I-3671	Suabo	11-Mar-19	10:48-11:30				47.7	53.3	
BR 27	Cira0948	Línea base	12-Mar-19	16:41-16:56	44.6	39.3				
BR 27	Cira0948	Fraguado	12-Mar-19	15:33-16:11				46.2	50	
VS 02	Cira2139	Línea base	11-Mar-19	13:08-14:23	38.1	47.4	42			
VS 02	Cira2139	Moliendo empaque con Power Swivel	11-Mar-19	14:30-16:25				54.2	53.5	56.4
PT 03	Cira7000	Sacando Tubería/ circulación pozo	11-Mar-19	16:41-17:16				50.1	40.6	
RSUT 01	Cira0928	Línea base	12-Mar-19	11:07-11:43	102.3	98.9				
RSUT 01	Cira0928	Sacando Tubería / Well Service	12-Mar-19	10:06-10:43				102.9	102.7	

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Se pudo concluir que los equipos de Workover / Well Services cumplen con la **Resolución 0627** del 7 de abril de 2006, establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Solo se presentó un incumplimiento puntual en las Operaciones de Molienda con Power Swivel. Se recomienda para futuras actividades ubicar las cargas perimetrales, de manera que bloquee el ruido hacia los sectores poblados y/o uso de mamparas.

Tabla 11.

*Resultados de medición de Ruido en Operaciones Nocturnas de Workover / Well Services*

Distancia de 100 Metros a Cabeza de Pozo Nocturno										
RIG	POZO	DESCRIPCIÓN DE TRABAJO	Fecha	Hora	RESULTADOS LINEA BASE			RESULTADOS ACTIVIDAD		
					P1	P2	P3	P1	P2	P3
BR 28	I-3671	Línea base	12-Mar-19	02:37- 02:52	49.1					
BR 28	I-3671	Armando superficie tapón	12-Mar-19	02:13 - 02:28				50.4		
BR 27	LC-0948	Línea base	12-Mar-19	22:48 - 23:20	59.2	53.9				
BR 27	LC-0948	Bajada de tubería	12-Mar-19	21:12- 21:45				53.1	53.1	
VS 02	LC-2139	Línea base	11-Mar-19	22:34 -23:30	52.5	53.5	49.5			
VS 02	LC-2139	Sacando tubería	11-Mar-19	21:29- 22:30				58.5	54.4	53.5
PT 03	LC-7000	Línea base	12-Mar-19	01:04 - 01:40	50.5	45.1				
PT 03	LC-7000	Sacando Tubería	12-Mar-19	00:20 - 00:57				51.8	47.2	
RSU T01	LC-0928	Línea base	12-Mar-19	23:57- 00:29	46.2	47.6				
RSU T01	LC-0928	Bajada de tubería	13-Mar-19	00:38 - 01:08				49.3	49.5	

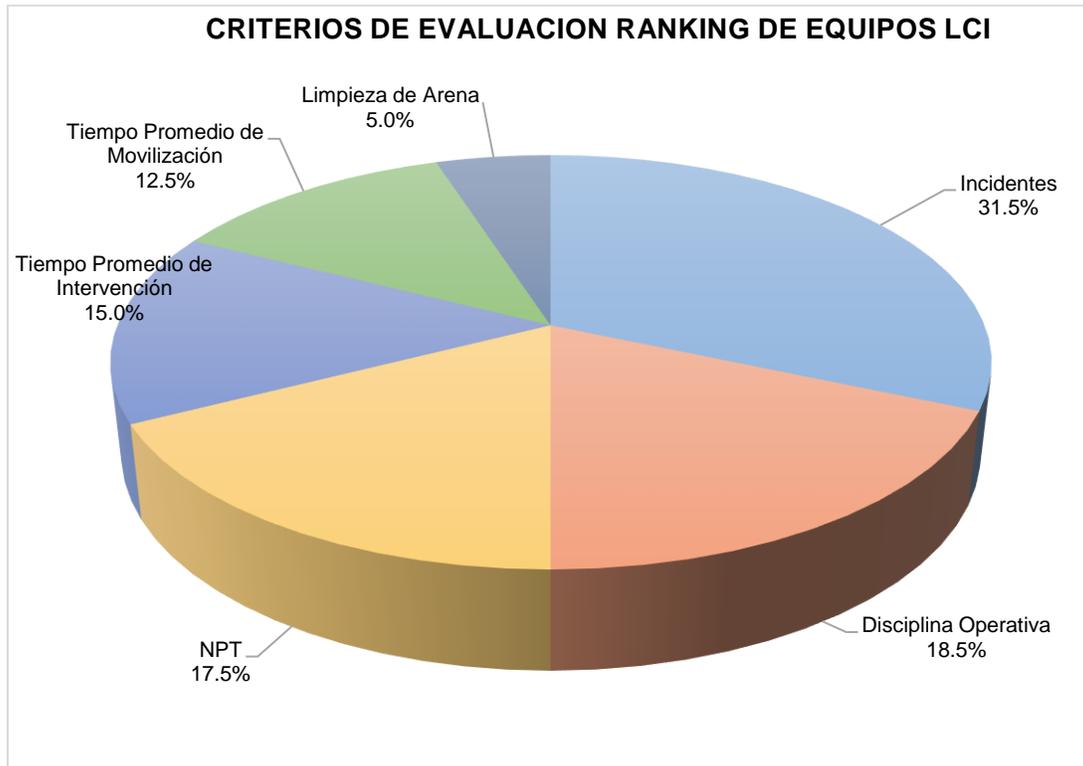
**Fuente:** Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Se pudo concluir que en las Plataformas del Proyecto LCI debido al alto número de viviendas, pobladores, vías y tránsito vehicular, en la toma de línea base presentaban valores superiores a los máximos permisibles que son 45 decibeles. Con sorpresa se pudo observar, el caso del equipo BR-27, estando en una zona apartada de pobladores, que el equipo mientras está en operación, es más silencioso que la línea base, algo así como que la naturaleza se silencia cuando el equipo opera y hace más ruido cuando no hay equipo en la zona.

En mayo de 2019, conceptos como cámaras de video e insonorización, siendo temas contractuales y conceptos ya superados, se eliminan de las variables HES y se les da más peso a accidentalidad y Disciplina Operativa:

Figura 22.

*Criterios de Evaluación Eficiencia Operativa equipos Well Services / Workover 2019 en LCI*

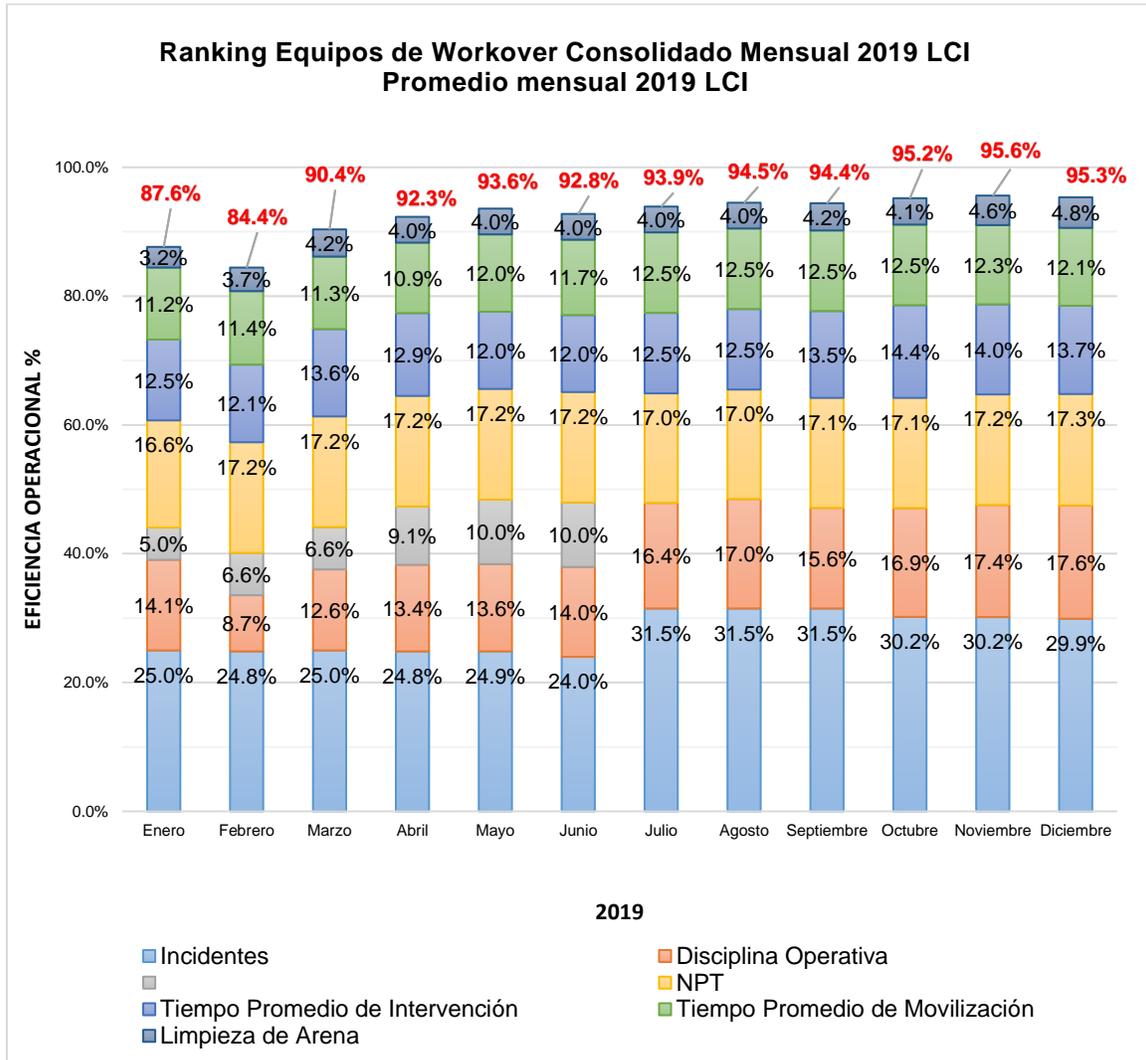


Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### 7.3 Resultados 2019

En línea, los colaboradores, Las Empresas Aliadas, Equipo HES, Oxy y Ecopetrol, en marzo de 2019 se alcanza y se mantiene hasta ahora, todos los equipos de Well Services / Workover en LCI con Eficiencia Operativa mayor a 90%. Cerrando 2019 con Eficiencias Operativas mayores a 95%

Figura 23. Ranking Equipos Workover / Well Services en LCI 2019



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### 7.3.1 Tiempo promedio de movilización de equipos.

En 2019 Se presentó una reducción de tiempos promedio en movilizaciones: en Equipos de Workover, 15% y 9.7% en Unidades RSU.

Tabla 12.

*Mejora en tiempos promedio en movilizaciones equipos de WO y Unidades RSU 2019*

Indicadores de Movilizaciones	2018			2019			Conclusión
	Total	Kms Prom.	Hrs Prom.	Total	Kms Prom.	Hrs Prom.	
<b>Equipos WO</b>	580	9.3	10.2	340	9.2	8.6	Movilizaciones más rápidas 15%
<b>Equipos RSU</b>	603	7.9	4.1	649	7.6	3.7	Movilizaciones más rápidas 9.7%
<b>Total</b>	1183			989			

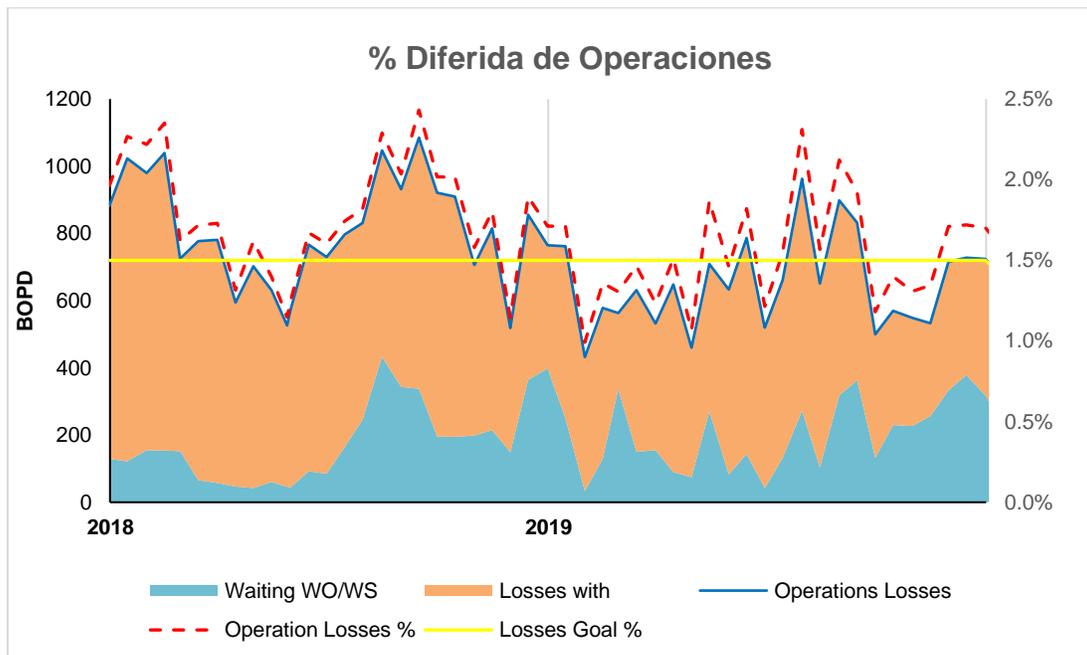
**Fuente:** Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### 7.3.2 Tiempos Promedios de Intervención.

**Producción Diferida:** En 2019 la diferida a cargo del equipo de Operaciones de Subsuelo bajó a 551 BOPD, 1.304% de la producción, menor al 1.5% establecido de meta.

Figura 24.

*Seguimiento a la producción diferida de operaciones de Well Services / Workover 2018-2019.*



**Fuente:** Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

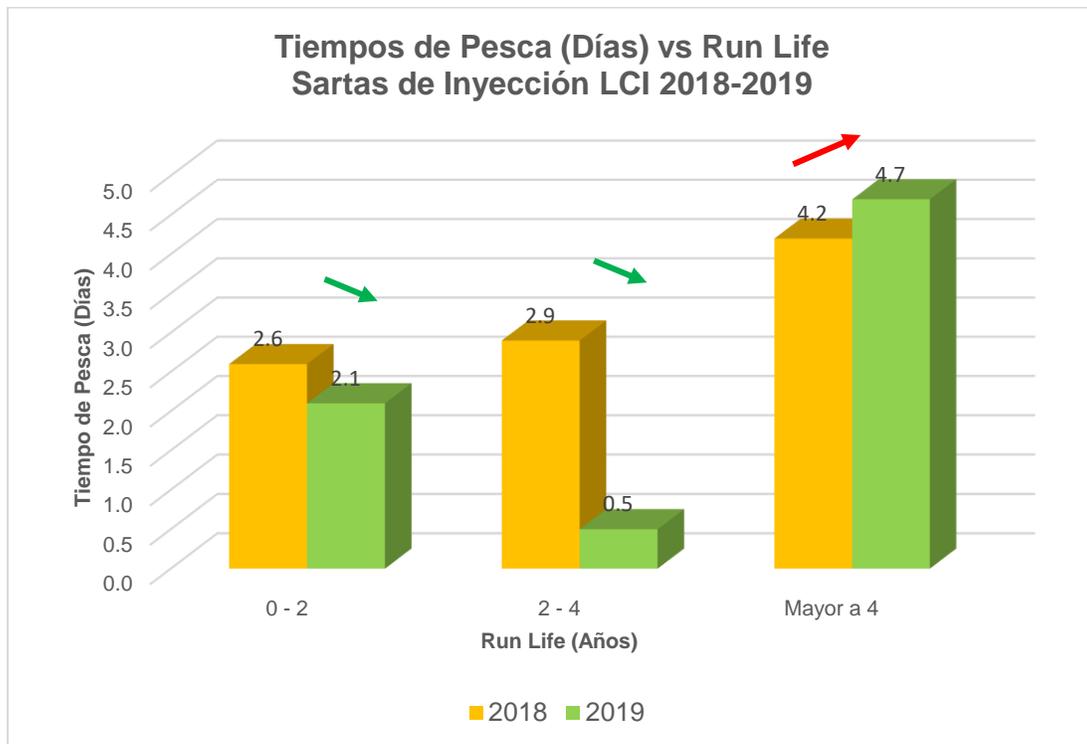
**Operaciones de pesca:** Menos tiempo en días promedio por pozo en 2019. Se incrementaron los trabajos de pesca, mostrando un ahorro efectivo de 17 días de equipo y más de \$350 millones de ahorros. Por herramientas de pesca y Fishing Man se podría estimar ahorros de \$50 millones.

En 2019, los trabajos de pesca se resumen:

- 59 Operaciones a pozos inyectoros.
- 30 de los 59 pozos requirieron trabajos de pesca.
- 2 pozos abandonados por operaciones complejas de pesca
- El tiempo promedio de pesca fue de 4.01 días/pozo

Figura 25.

*Tiempos operaciones de pesca de sartas de inyección vs Diámetros de Casing LCI 2018-2019.*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Tabla 13.

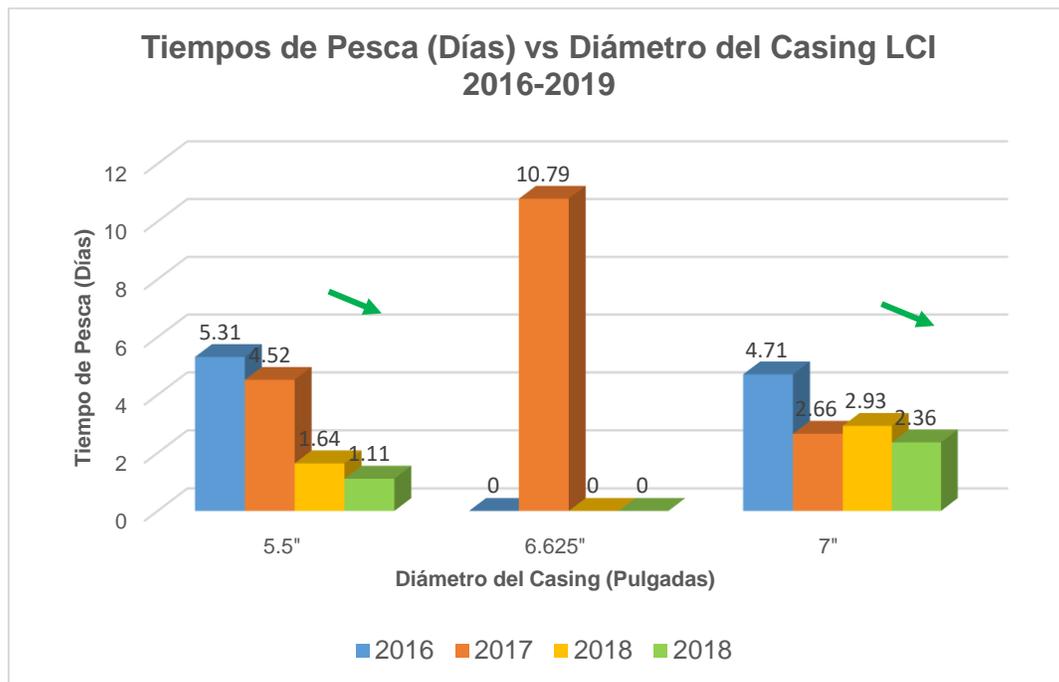
*Mejora en Operaciones de Pesca LCI 2019*

Indicador operaciones de Pesca	2018	2019	Conclusión
Operaciones en pozos inyectores	57	59	
Requirieron trabajos de pesca	21	30	Más trabajos de pesca
Pozos abandonados pescas complejas	2	2	Más trabajos de pesca efectivos
Tiempo promedio pesca (días / pozo)	4.6	4.01	Mejores tiempos de pesca 17 días efectivos de ahorros

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

En 2018, con los cambios en la campaña de perforación, una nueva variable ingresa a tener en cuenta: pozos nuevos completados en *Casing* de 5-1/2”.

Figura 26.

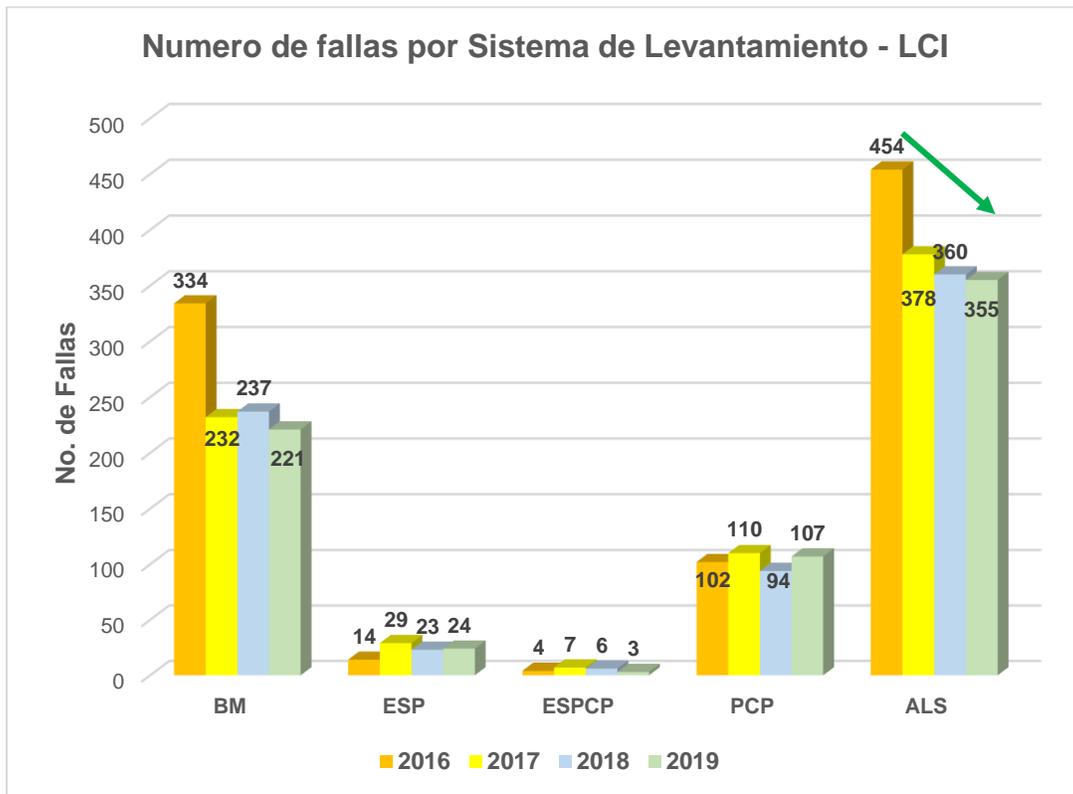
*Tiempos operaciones de pesca de sartas de inyección vs Diámetros de Casing LCI 2016-2019.*

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

**Índice de fallas y Run Life:** En 2019 se tuvo el mejor desempeño de los últimos 4 años, observándose un cambio importante de 2018 a 2019, en Run Life ó tiempo funcionamiento antes de falla del equipo, un indicador importante en los Sistemas de Levantamiento Artificial.

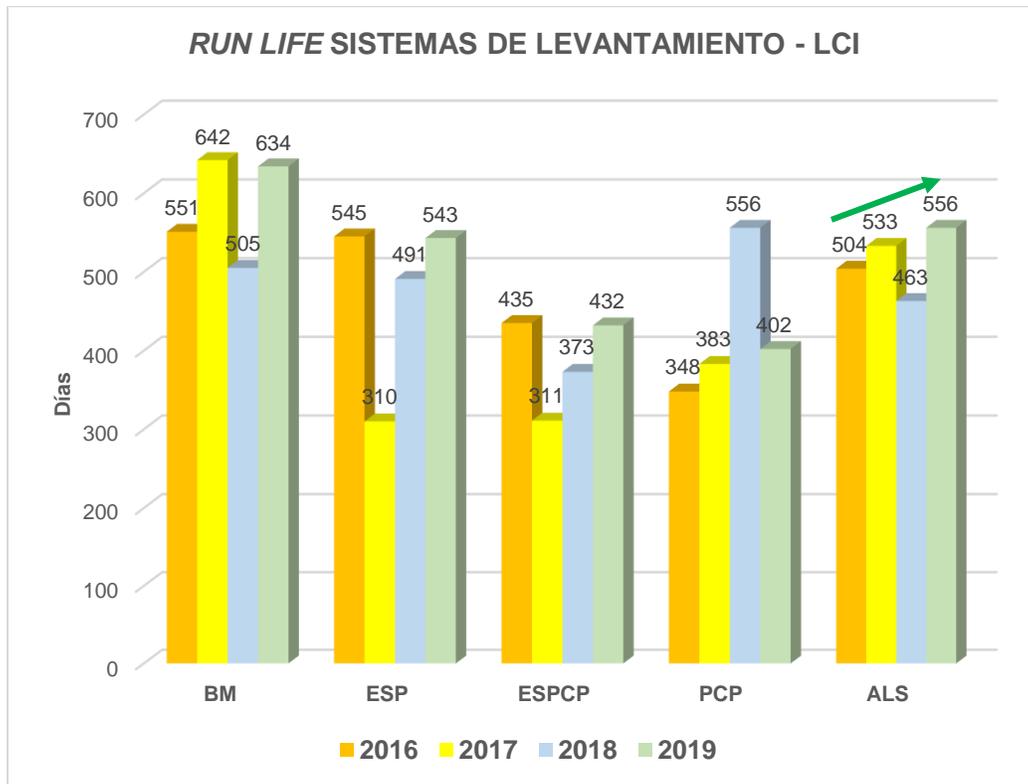
Figura 27.

*Número de Fallas equipos en LCI 2016 - 2019*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Figura 28.

*Run Life equipos en LCI 2016 - 2019*

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

**Mejora en Tiempos promedio por tipos de intervención:** La implementación de la Metodología de Eficiencia Operacional, ha permitido optimizar los tiempos de las intervenciones en el Campo LCI. Comparando tiempos de intervención 2019 y 2018 nos evidencia ahorros de 7 meses de equipo, es decir ahorros mayores a 4 mil millones de pesos en 2019.

Tabla 14.

*Mejora en tiempos promedio Trabajos de Completamiento Inicial / Workover LCI 2019*

Trabajos	Tiempo Promedio (días)		# Trabajos	Variación tiempos promedio	Ahorro de Equipos / Año
	2018	2019			
<b>Cambios de Sistema de Levantamiento</b>	6.00	6.23	28	0.23	0.02
<b>Conversión a Inyector</b>	7.80	5.52	5	-2.28	-0.03
<b>Completamiento Inicial de B</b>	3.50	4.23	3	0.73	0.01
<b>Aislamiento</b>	18.30	17.83	34	-0.47	-0.04
<b>Canoneo Adicional</b>	6.00	5.08	40	-0.92	-0.10
<b>Rediseño Inyector</b>	10.80	8.49	76	-2.31	-0.48
<b>Completamiento Inicial BM</b>	1.20	1.30	21	0.10	0.01
<b>Completamiento Inicial PCP</b>	1.20	1.20	25	0.00	0.00
<b>Completamiento Inicial ESP</b>	2.70	2.70	12	0.00	0.00
<b>Completamiento Inicial INY</b>	2.20	2.20	37	0.00	0.00
<b>Well Services Productor</b>	4.31	4.34	704	0.03	0.06
					<b>-0.57</b>

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### 7.3.3 Limpiezas de Arena.

Mayor eficiencia de Limpieza de arena como resultados del seguimiento, acompañamiento por parte del Taller de Bombas, más conocimiento y aplicación de la Bomba Desarenadora Dual patentada por Ecopetrol.

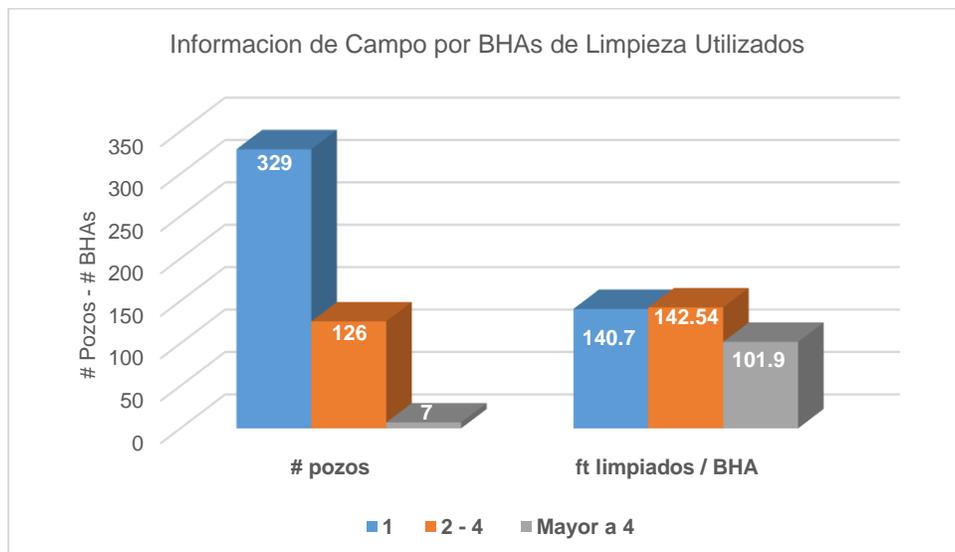
En 2019:

- Área con Mayor Aporte de Sedimentos: CIRA NORTE
- Área con Menor Aporte de Sedimentos: INFANTAS SUR
- De 462 pozos intervenidos, se encontró 243 pies de sucio en promedio
- El 71% de los pozos intervenidos solo requirió un viaje de limpieza.

- Eficiencia Bomba Desarenadora Convencional 111 ft/BHA.
- En 178 pozos se utilizó Bomba Desarenadora Dual de ECP. Eficiencia de 167 ft/BHA.
- Operaciones evitó corrida de 146 BHA de limpieza con Bomba Convencional.
- Ahorros mayores a 200 millones.

Figura 29.

*Promedio de BHAs de limpieza utilizados 2019.*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

Tabla 15.

*Eficiencia de Limpieza de Arena 2019.*

Indicadores de Limpieza de Arena	2018	2019	Conclusión
Pozos intervenidos	519	462	
Sucio encontrado en promedio (ft)	224	243	Más arena por limpiar
pozos intervenidos solo requirió un viaje de limpieza	69%	71%	Viajes más efectivos
Bomba Desarenadora DUAL vs Convencional (ft/BHA)	+37	+56	Mayor eficiencia

Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### 7.3.4 NPT – Tiempos no productivos

En la mayoría de equipos se presentó reducción en Tiempos no Productivos a cargo del Equipo (NPT) en los trabajos en pozo.

Tabla 16.

*Reducción en Tiempos No Productivos Operaciones de Well Services / Workover 2019.*

Tiempos No Productivos NPT	2018	2019	Conclusiones
Equipo	NPT en pozo Promedio /Mes	NPT en pozo Promedio /Mes	
AT 601	5.1	3	Finalizó Orden de Servicio 27/enero/2019
BR 27	3.9	2.7	Menos NPT en pozo
BR 28	3.2	2.5	Finalizó Orden de Servicio 28/octubre/2019
BR 29	7.1	3.1	Menos NPT en pozo
BR 31	4.9	2.7	Finalizó Orden de Servicio 31/julio/2019
BR 32	4	4.2	Más NPT en pozo
PT 01	5.8	3.4	Finalizó Orden de Servicio 31/agosto/2019
PT 02	2.7	2.5	Menos NPT en pozo
PT 03	5.5	3.4	Menos NPT en pozo
VS 02	4.7	4.2	Menos NPT en pozo
VS 15	4.8	3.3	Finalizó Orden de Servicio 03/septiembre/2019
RSU-T1	7.25	8.9	Más NPT en pozo
RSU-C1	8.3	6.9	Menos NPT en pozo
RSU-C2	13	9.5	Menos NPT en pozo
RSU-C4	7.7	11.1	Inició 12/julio/2018 - Equipo nuevo presentó falla en Garantía
RSU-C3	7.5	14.6	Inició 11 de julio 2018 - Equipo nuevo presentó falla en Garantía
RSU-C5	7.2	8.0	Inició 18 de julio 2018 - Equipo nuevo presentó falla en Garantía
<b>Grand Total</b>	<b>6.0</b>	<b>5.5</b>	Menos NPT en pozo. Más meses de equipos analizados

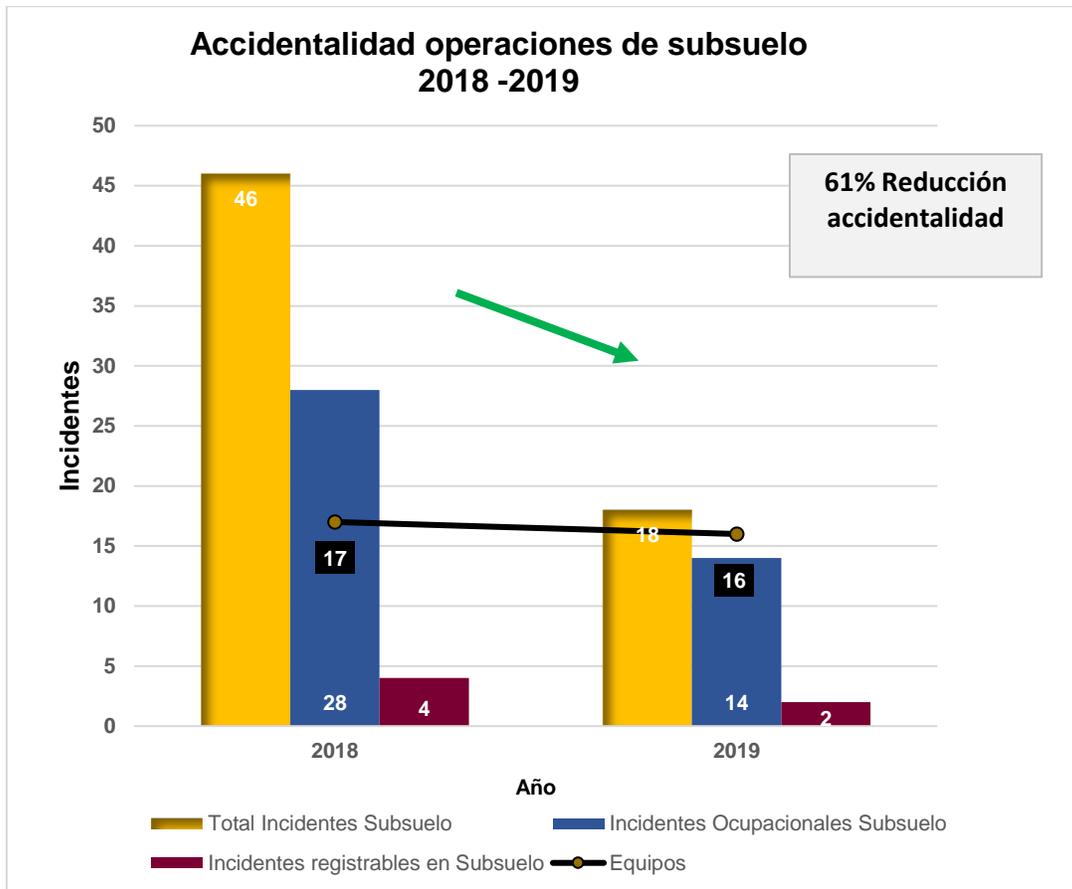
Fuente: Occidental de Colombia

### 7.3.5 Incidentes

61% Reducción accidentalidad en los últimos 2 años, como resultado del trabajo Entrenamiento, Capacitación, Compromiso y Liderazgo de los colaboradores, Contratistas y el Proyecto Oxy – Ecopetrol.

Figura 30.

*Impacto de la accidentalidad en Operaciones Subsuelo 2018 -2019*



Fuente: Superintendencia de Operaciones LCI - Occidental de Colombia LLC

### 7.3.6 Disciplina Operativa

El programa de Disciplina Operativa se mantiene con un fuerte compromiso Gerencial de las empresas contratistas, de los trabajadores y del equipo integral OXY – Ecopetrol.

Tabla 17.

*Cumplimiento Programa de Disciplina Operativa*

<b>Equipo</b>	<b>Diciembre 2018</b>	<b>Diciembre 2019</b>
Atina 601	94%	94%
BR 27	95%	93%
BR 28	95%	93%
BR 29	95%	93%
BR 31	95%	93%
BR 32	95%	93%
PT 01	98%	93%
PT 02	98%	93%
PT 03	98%	93%
VR 02	95%	98%
VR 15	95%	98%
RSU-T01	96%	96%
RSU-C 01	89%	96%
RSU-C 02	89%	96%
RSU- C 04	89%	96%
RSU-C 03	89%	96%
RSU- C 05	89%	98%

Esto nos demuestra, que Identificar las actividades que impactan el rendimiento de los equipos en las operaciones de Well Services / Workover, establecer parámetros de medición e integrarlos de acuerdo al conocimiento y frecuencia de las mismas, es la forma correcta de evaluar la Eficiencia Operacional de los equipos en las operaciones de Well Services / Workover.

## 8. Conclusiones

Las Operaciones de Well Services / Workover siempre estarán presentes en todo Campo Petrolero. Desde el completamiento inicial, haciendo servicios de Well Services / Workover durante su etapa de producción y finalizando con el abandono definitivo. Impactando en todo momento el costo del barril producido.

La dinámica del mercado, los precios internacionales y la disponibilidad de equipos de Well Services / Workover también impactan las tarifas de los mismos, y por ende el costo del barril producido.

Las labores de Well Services / Workover por ser de alto riesgo y con alto número de equipos se incrementa la posibilidad de incidentes lo cual puede impactar el desempeño HES con afectación en la reputación de las compañías operadoras y de servicios.

Evaluar el desempeño de los equipos Workover / Well Services bajo el concepto de la relación de Tiempo equipo Activo/Tiempo total, nos refleja solo la Disponibilidad de Equipos por parte de la Empresa Contratista.

Identificar las actividades más frecuentes en las Operaciones de Well Services / Workover, establecer parámetros de medición, medir el desempeño, evaluar y buscar nuevas formas de hacer los trabajos, forma parte del gerenciamiento que se espera del equipo de Operaciones de Subsuelo.

Involucrar a todos los colaboradores de los equipos Workover / Well Services, a los Contratistas, a los ingenieros a cargo de la Operaciones, al equipo de HES y a los Líderes de la Operadora en la metodología de evaluación del Desempeño de los equipos es la mejor forma de alcanzar la mayor Eficiencia Operativa y mantenerla.

Contratar a las mejores empresas y los mejores equipos de Workover / Well Services es importante, pero debemos asegurar que tengan a los Colaboradores más competentes, lo cual se facilita al promover su capacitación, actualización y entrenamiento con los mejores estándares.

El Programa de Mejoramiento de Competencias Integrales en Subsuelo construido junto con el SENA, es algo de mostrar y compartir con la Industria Petrolera en Colombia.

Al tener Operaciones seguras y personal competente en equipos realizando Operaciones de Well Services / Workover con alta Eficiencia Operativa, y trabajando de la mano con las áreas de Control de Producción e Ingeniería, generara la ejecución de más trabajos en menor tiempo, menor producción diferida y por lo tanto la reducción del costo del barril producido.

El desarrollo de una herramienta Dual de Limpieza de Arena por parte de ECP con el seguimiento y medición de eficiencias han permitido alcanzar altos niveles de eficiencia operacional en la ejecución de las limpiezas de arena en LCI.

Las Operaciones de Pesca de Sartas de Inyección Selectivas, por el seguimiento, la revisión de procedimientos, la continuidad de Ingenieros y Operadores de Pesca, así como los usos de tecnologías disponibles han permitido recuperar pozos que por costos y complejidad de los trabajos estaban a punto de ser abandonados.

La implementación de la Metodología de Eficiencia Operacional, ha permitido optimizar los tiempos de las intervenciones en el Campo LCI, representando ahorros superiores a 4 mil millones de pesos en 2019.

Los trabajos de abandono para el caso de equipos de Workover, como re abandonos, abandonos con pescas complejas, abandonos con cementaciones correctivas, etc., siempre se deben considerar factores adicionales a la hora de calificar la Eficiencia Operativa.

## 9. Recomendaciones

Continuar con la Medición de la Eficiencia Operativa en LCI, con la metodología aplicada de identificación de las actividades más frecuentes en las Operaciones de Well Services / Workover.

Alcanzar la Certificación de Competencias de colaboradores en equipos Well Services / Workover con el Programa de Mejoramiento de Competencias Integrales en Subsuelo construido junto con el SENA.

Seguir con el reconocimiento a los mejores equipos por semestre, lo cual genera una competencia sana que lleva a toda la operación a altos niveles de eficiencia operativa.

Establecer mejores tiempos de planeación de trabajos complejos, como re abandonos, pescas críticas y en los casos que se requiera generar el control de cambios para tener tiempos ajustados a la realidad de la operación desarrollada, sin afectar el resultado de Eficiencia Operativa del equipo.

Una de las mayores actividades en LCI son las operaciones de slick line, en algunos momentos se han contado con 7 de ellas en operación. Implementar esta metodología para mejorar la Eficiencia Operativa en Operaciones de Slick Line y, cuando se tenga disminución de actividad asegurar las de mejor desempeño.

### Referencias Bibliográficas

- Acevedo, M. O. (2018). Aplicación de fluido Thixsal en re completamiento de pozos del Campo Provincia de Ecopetrol para disminuir pérdidas de fluido hacia la formación. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. .
- Carvajal, A. L., & Jaimes, S. D. (2019). Propuesta Metodológica para la Selección de Accesorios para Manejo de Arena en pozos del Campo La Cira Infantas. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander.
- Clavijo Salazar Victor Alejandro. Diseño de Programa de Workover y Well Services para el Campo Payoa operado por la Empresa Petrosantander. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander. 2017, 167p.
- Fajardo Lorena. Romero Patricia. Herramienta multimedia para el aprendizaje de las operaciones de Workover. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2016, 98p.
- ECP, P.-I. -3. (s.f.). Los equipos RSU, Rapid Services Unit.
- López, H., E.A, & Bonilla, P. A. (2010). Aplicación de entubado-perforación en el agotado campo maduro La Cira Infantas, Colombia. Sociedad de Ingenieros Petroleros. doi: 10.2118 / SPE 139020-MS.
- OXY, C. C.-0., Contrato, O., CLCI-0480, O. C., CLCI-0567, Contrato, O., Contrato, C.-0. O., . . . CLCI-0549. (2017). Servicios de reacondicionamiento, mantenimiento, completamiento y abandono de pozos ubicados en el campo La Cira Infantas en el departamento de Santander. Occidental de Colombia LLC. Atina Energy Services Corp, Sucursal Colombia. Bogotá, .

- OXY. Contrato CLCI-0565 Servicios de reacondicionamiento, mantenimiento, completamiento y abandono de pozos ubicados en el campo La Cira Infantas en el departamento de Santander. Occidental de Colombia LLC. Atina Energy Services Corp, Sucursal Colombia. Bogotá, 2017. 96P.
- OXY. Contrato CLCI-0480 Servicios de reacondicionamiento, mantenimiento, completamiento y abandono de pozos ubicados en el campo La Cira Infantas en el departamento de Santander. Occidental de Colombia LLC. Sucursal Colombiana. Bogotá. 2017, 106P.
- OXY. Contrato CLCI-0567. Servicios de reacondicionamiento, mantenimiento, completamiento y abandono de pozos ubicados en el campo La Cira Infantas en el departamento de Santander. Occidental de Colombia LLC. Bogotá 2017. 94P.
- OXY. Contrato CLCI-0548 Servicios de reacondicionamiento, mantenimiento, completamiento y abandono de pozos ubicados en el campo La Cira Infantas en el departamento de Santander. Bogotá 2017, 98P.
- OXY. Contrato CLCI-0564 Servicios de reacondicionamiento, mantenimiento, completamiento y abandono de pozos ubicados en el Campo La Cira Infantas en el departamento de Santander con unidades RSU – Rapid Service Unit, Occidental de Colombia LLC. Bogotá 2017, 43P.
- OXY. Contrato CLCI-0549 Servicios de reacondicionamiento, mantenimiento, completamiento y abandono de pozos ubicados en el campo La Cira Infantas en el departamento de Santander, Occidental de Colombia LLC. Varisur SAS. Bogotá 2017, 100P.
- Pinzón, A. P., & Rúgeles, R. E. (2015). Evaluación de los Componentes de las Sartas Selectivas como una Oportunidad de Mejora del Sistema de Inyección en el campo La Cira Infantas. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander.

Lara Ocampo Andrés Mauricio, Torres Torres Edgar. Optimización de los costos en las operaciones de subsuelo de un Campo Petrolero de la Compañía Oil Ltda. Bucaramanga. Universidad de Santander. 2016, 125p

Muñoz, Andrés. Pérez, Gabriel. Metodología para la selección de sartas de tubería para la optimización del desempeño de los sistemas de levantamiento artificial de bombeo por cavidades progresivas en el campo la Cira Infantas. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2018, 88p.

Resolución, 00459. (2006). Art. 3. Por la cual se fijan los requisitos y procedimientos para conceder los permisos para el transporte de cargas indivisibles extra pesadas y extra dimensionadas, y las especificaciones de los vehículos destinados a esta clase de transporte.

Resolución, 0627. (2006). Artículo 17. Estándares Máximos Permisibles de Niveles de Ruido Ambiental:.

Resolución, 6. (2016). Inventores: Alba, Rojas David; Ortega, Lastre Juan Antonio, por un periodo de 20 años (15 de diciembre de 2016 – 15 de diciembre de 2036).