Propuesta de un plan de mejora Lean para la reducción de los tiempos no productivos mediante la implementación de la tecnología Digital Slickline en los servicios de intervención de pozos de la empresa Halliburton

Entrega Final

Presentado por

Julián Sánchez Torres

Presentado a

Nicolás Eduardo Navarrete Echeverría

Docente

Juan Mantilla Jiménez

Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano

Ingeniería Industrial – Trabajo de grado

Junio 30 de 2026

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 8

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 10

3. OBJETIVOS 12

3.2. Objetivos específicos 12

4. JUSTIFICACIÓN 13

5.1. Metodología Lean aplicada al sector de hidrocarburos 15

5.2. Los tiempos improductivos y su relación con la metodología Lean 16

5.3. Herramientas de diagnóstico Lean 17

5.4. La tecnología Digital Slickline en contraste con métodos convencionales 18

5.5. Impacto operacional de la aplicación de tecnologías digitales en intervenciones en pozos 20

5.6. Indicadores de eficiencia en los Tiempos Improductivos (NPT) 21

7. ESTADO DEL ARTE 24

8. METODOLOGÍA 27

8.1. Alcance de la investigación 28

8.2. Diseño de investigación 28

8.3. Técnicas de recolección de información 28

8.4. Variables de estudio 30

8.5. Fases del proyecto 31

9. RESULTADOS 33

9.1. Hallazgos para la Fase 1 – Diagnóstico del proceso actual 33

9.1.1. Diagrama de flujo del servicio convencional de Slickline y Wireline 33

9.1.2. Análisis de Pareto de las características que afectan el tiempo productivo.... 35

9.1.3. Análisis del diagrama de Ishikawa de las principales causas de tiempos no productivos en el servicio convencional 36

9.1.4. Mapa de flujo de valor del servicio convencional 39

9.2. Hallazgos para la Fase 2 - Diseño del plan de mejora Lean integrando la tecnología Digital Slickline (DSL) 41

9.2.1. Matriz de acciones de mejora Lean 42

9.3. Hallazgos para la Fase 3 - Diseño de mejora 45

9.3.1. Matriz comparativa 45

9.3.2. Indicadores de control de la propuesta 48

10. DISCUSIÓN 50

CONCLUSIONES 53

RECOMENDACIONES 54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Fases del proyecto investigativo alineadas con los objetivos específicos*.....31

Tabla 2. *Diagrama SIPOC del servicio convencional de Slickline y Wireline* 33

Tabla 3. *Matriz de acciones de mejora para el fortalecimiento del plan de mejora Lean*..42

Tabla 4. *Comparativo con los factores causales y su mejora esperada*.....45

Tabla 5. *Indicadores orientados al control de la propuesta como plan de mejora Lean* ...48

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. *Análisis de Pareto de las características que afectan el tiempo productivo* 35

Figura 2. *Diagrama de Ishikawa de las causas del tiempo no productivo* 36

Figura 3. *Mapa de Flujo de Valor del servicio convencional Wireline y Slickline*..... 40

Figura 4. *Mapa de flujo de valor del proceso propuesto tecnología Digital Slickline* 41

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar un plan de mejora operacional basado en la metodología Lean para reducir los tiempos no productivos en los servicios de intervención de pozos de la empresa Halliburton, mediante la integración de la tecnología Digital Slickline. El estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto, con alcance descriptivo, explicativo y propositivo, a través de un diseño no experimental, bajo una estructura de tres fases: diagnóstico del proceso actual, diseño del plan de mejora Lean y evaluación comparativa de la propuesta. Para el diagnóstico se analizaron los registros históricos correspondientes a 243 eventos de intervención ejecutados durante el año 2025, equivalentes a un censo operacional de nueve clientes de la compañía. Se emplearon herramientas Lean como el diagrama SIPOC, el análisis de Pareto, el diagrama de Ishikawa y el Mapa de Flujo de Valor, complementadas con la revisión documental especializada en metodologías Lean y tecnologías de intervención de pozos. Los resultados evidenciaron un total de 761 horas de tiempos no productivos, identificándose que el 82 % de las ineficiencias se concentró en seis causas principales: cambios de unidad entre Wireline y Slickline, pruebas operativas, actividades de control de presión, fallas logísticas, demoras de montaje y procesos de verificación y calibración. De esta manera, el análisis del flujo de valor que el servicio convencional presenta. Como propuesta de mejora, la integración de la tecnología Digital Slickline permitió proyectar una reducción del tiempo total del proceso a 13 horas, equivalente a una disminución aproximada del 61 %, además de optimizar el recurso humano en el sector de hidrocarburos.

Palabras clave: Lean, Digital Slickline, tiempos no productivos, mapa de flujo de valor intervención de pozos, optimización del servicio.

ABSTRACT

The main objective of this research was to design an operational improvement plan based on the Lean methodology to reduce non-productive time in well intervention services provided by Halliburton through the integration of Digital Slickline technology. The study was conducted under a mixed-method approach with a descriptive, explanatory, and propositional scope, using a non-experimental research design structured into three phases: diagnosis of the current process, design of the Lean improvement plan, and comparative evaluation of the proposed solution. For the diagnostic phase, historical records corresponding to 243 intervention events carried out during 2025 were analyzed, representing an operational census of nine company clients. Lean tools such as the SIPOC diagram, Pareto analysis, Ishikawa diagram, and Value Stream Mapping, were employed, complemented by a documentary review focused on Lean methodologies and well intervention technologies. The results revealed a total of 761 hours of non-productive time, identifying that 82% of the inefficiencies were concentrated in six main causes: unit changes between Wireline and Slickline, operational tests, pressure control activities, logistical failures, equipment installation delays, and verification and calibration processes. Furthermore, the value stream analysis showed that the conventional service presents significant inefficiencies throughout the operational cycle. As an improvement proposal, the integration of Digital Slickline technology projected a reduction in the total process time to 13 hours, representing an approximate decrease of 61%, while also optimizing human resources and improving operational efficiency within the hydrocarbon sector.

Keywords: Lean, Digital Slickline, non-productive time, value stream mapping, well intervention, service optimization.

1. INTRODUCCIÓN

La industria petrolera se caracteriza por operar en entornos altamente competitivos, donde la eficiencia de los servicios y la reducción en los recursos se constituyen como factores claves en la selección de una empresa para llevar a cabo un proyecto en pozo. Las actividades de perforación y también las conocidas como intervenciones en pozos, generan tiempos no productivos por diversos factores y características en su proceso, lo cual representa un sobrecosto operacional para los clientes, de allí que se requiera la selección del servicio basado en términos de rentabilidad económica y minimización de tiempos de intervención improductivos (Huertas y Puerto, 2025).

En este contexto, las empresas del sector de hidrocarburos especializadas en la intervención en pozos orientan sus esfuerzos en la exploración de herramientas tecnologías que permitan ofrecer mejores tiempos de producción al menor costo. Integrar nuevas estrategias para la reducción de tiempos, requiere de un plan de optimización de operación continuo, que abarque la aplicación de tecnologías asociadas al menor tiempo improductivo en un ciclo de operación de un pozo (Santamaría y Vizcaíno, 2021).

En este sentido, la empresa Halliburton, no desconoce la necesidad de mantener una continua tecnificación y mejora de sus servicios, según el reporte anual de Halliburton, en la actualidad se viene observando un nuevo tipo tecnología Digital Slickline, la cual optimiza el servicio, cobrando una mayor relevancia en las operaciones de intervención de pozos, donde actividades como el montaje, desmontaje, pruebas y logística de corridas en verificación de del equipo, generan un ahorro del 50% especialmente en la capacidad de recursos ocupados, incidiendo de manera directa en la selección de los clientes, en el compromiso de realizar sus servicios petroleros (Halliburton, 2025).

Bajo este contexto, la presente investigación busca proponer un plan de mejora, incorporando a su portafolio de servicios la tecnología Digital Slickline, orientado en la reducción de los tiempos no productivos mediante la aplicación de herramientas implícitas en la metodología Lean. Contribuyendo en el desarrollo de soluciones que faciliten la adquisición y transmisión de datos en tiempo real, optimizando los tiempos productivos durante las operaciones de intervención en pozo.

Para ello, se estructuran su desarrollo en tres fases, iniciando con la revisión de la literatura y el análisis diagnóstico, a partir de la identificación de las principales causas de los tiempos no productivos del servicio convencional de Slickline y Wireline que ofrece la empresa actualmente, a partir de los reportes históricos de intervención de pozos ofrecidos por Halliburton durante el año 2025, sirviendo como base de información cuantitativa.

Para la segunda fase, se propone el diseño de un plan de mejora con la integración de la tecnología Digital Slickline, como un mecanismo estratégico de reducción de recursos operativos y la posibilidad de ofrecer a los clientes un servicio que ofrezca mejores tiempos productivos y un aprovechamiento significativo en la utilización de los recursos de la operación.

Finalmente, se busca comparar el desempeño del servicio convencional de Slickline y Wireline, evaluando la capacidad de mejora de la propuesta de implementación de la tecnología Digital Slickline, en términos de reducción de tiempos no productivos, optimización de recursos operativos y rentabilidad económica. De esta manera, contribuir en la mejora en servicios, impactando en la industria de hidrocarburos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Le empresa Halliburton es una multinacional líder en la prestación de servicios y soluciones para la industria energética, se fundó en 1919 y es reconocida como una de las principales compañías de servicios petroleros a nivel mundial. La organización viene explorando el desarrollo de nuevas tecnologías, ofreciendo servicios especializados orientados a maximizar el valor de los activos de sus clientes durante todo el ciclo de vida de la intervención en los campos petroleros. Actualmente, Halliburton está en Colombia, ofreciendo servicios convencionales de Wireline y Slickline, respaldada por una amplia infraestructura técnica y operativa para atender las necesidades de la industria de hidrocarburos en los distintos clientes del territorio nacional (Halliburton, 2025).

Dentro de su portafolio de servicios, la compañía dispone de equipos que actualmente cuentan con una tecnología sofisticada para las actividades de perforación, desarrollo y producción de pozos, hablando de intervenciones con cable su operación se caracteriza por el uso de equipos de control de presión tipo Wireline y Slickline, el cual es un sistema fundamental para el desarrollo de la operación (Halliburton, 2025). No obstante, la empresa enfrenta el reto de ampliar su catálogo de servicios de intervención de pozos, mediante nuevos mecanismos de optimización de recursos, donde su principal punto a mejorar es la reducción de los tiempos no productivos, evaluando la incorporación de la nueva tecnología Digital Slickline.

La industria petrolera en Colombia viene creciendo, generando una oportunidad incursión con un nuevo servicio, para la empresa Halliburton, lo que ha impulsado la necesidad de mejorar la eficiencia operacional de su servicio actual. Según el reporte de las operaciones de los clientes correspondientes al año 2025, de nueve clientes analizados, se reportaron 761 horas de tiempos no productivos acumulados en 243 eventos de servicios en

pozos, donde la mayor incidencia se concentra en tres clientes; Carbopetrol S.A. con 108 horas, Carrao Energy con 106 horas y Fenix Oil & Gas con 98 horas, los cuales en conjunto representan más del 40 % de los tiempos improductivos registrados, esto refleja la oportunidad de incluir en el portafolio de servicios, un mecanismo tecnológico como el Digital Slickline, esta tecnología puede llegar a reducir en un 50% dichos tiempos (Halliburton, 2025).

Las principales causas asociadas a los tiempos no productivos corresponden a los cambios de unidad de Wireline a Slickline (49 reportes) y a las pruebas operativas (48 reportes), las cuales representan aproximadamente el 45 % de las incidencias registradas. Asimismo, se identificaron otras fuentes de improductividad relacionadas con la gestión de la información histórica de los pozos y la ejecución de las operaciones, entre las que se encuentran la espera por la confirmación de datos históricos requeridos para la intervención, las demoras en la ubicación de los equipos, los mantenimientos no planificados y las interrupciones operacionales derivadas de la fatiga de materiales (Halliburton, 2025).

A partir de las condiciones descritas anteriormente, se evidencia la necesidad de implementar un plan orientado en la reducción de los tiempos improductivos de intervención de pozos, integrando la nueva tecnología Digital Slickline, lo que lleva a generar la siguiente pregunta de investigación; *¿Cómo la propuesta de un plan de mejora Lean, puede contribuir en la reducción de los tiempos no productivos mediante la implementación de la tecnología Digital Slickline en los servicios de intervención de pozos de la empresa Halliburton durante el cuarto trimestre de 2026.?*

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Proponer un plan de mejora Lean para la reducción de los tiempos no productivos mediante la implementación de la tecnología Digital Slickline en los servicios de intervención de pozos de la empresa Halliburton durante el cuarto trimestre de 2025.

3.2. Objetivos específicos

1) Identificar las principales causas de los tiempos no productivos mediante la revisión de la literatura y la aplicación de herramientas Lean, a partir de los registros históricos de los servicios convencionales de intervención de pozos ofrecidos por Halliburton durante el año 2025.
2) Diseñar un plan de mejora Lean para la integración de la tecnología Digital Slickline a los servicios convencionales de Slickline y Wireline ofrecidos por Halliburton como estrategia para la reducción de los tiempos no productivos.
3) Comparar el desempeño de los servicios convencionales de Slickline y Wireline mediante la evaluación de las ventajas y beneficios de la propuesta de implementación de la tecnología Digital Slickline (DSL), en términos de reducción de tiempos no productivos y eficiencia operativa.

4. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto surge como respuesta a la necesidad de aplicar Lean, evaluando las alternativas tecnológicas que contribuyan a la optimización de los servicios de intervención de pozos ofrecidos por Halliburton. En este contexto, la tecnología Digital Slickline representa una oportunidad para mejorar en esta industria, en factores como, la eficiencia operativa, reducción de los tiempos no productivos, optimización del uso de recursos en campo y la generación de valor para los clientes. Estudios recientes destaca que, en la intervención en pozo ha demostrado un ahorro del tiempo, menor capacidad de personal requerido en campo y una mayor agilidad en la adquisición y transmisión de los datos operacionales en tiempo real (Heaney et al, 2023).

De manera complementaria, otros estudios analizaron la aplicación de herramientas electromecánicas y de la tecnología Digital Slickline en operaciones de intervención de pozos, evidenciando beneficios asociados a la reducción de los tiempos de ejecución frente a los métodos convencionales, al permitir la realización de actividades complejas con menores requerimientos logísticos, monitoreo en tiempo real y una mayor precisión en la adquisición y transmisión de datos operacionales. Un estudio comparativo realizado sobre 50 intervenciones demostró que la implementación de Digital Slickline permite reducir entre un 25 % y un 35 % el tiempo total de intervención, disminuir en un 20 % la operación, un 40 % el tiempo no productivo y un 20 % en la extracción y transmisión de datos gracias al monitoreo continuo de profundidad y condiciones de fondo. Estos resultados evidencian el potencial de esta tecnología para incrementar la eficiencia operacional de las intervenciones en pozo (Kumar et al., 2025).

Por ello, aplicar herramientas metodológicas como Lean y analizar las causas que generan tiempos no productivos en los servicios de intervención de pozos favorecen las diferentes etapas del proceso, que incluyen la solicitud del servicio, la planificación de la intervención, el montaje de equipos, la ejecución de las actividades en pozo, el desmontaje de equipos y la elaboración de reportes finales (Halliburton, 2025).

A nivel organizacional y estratégico, el proyecto contribuye al fortalecimiento de sus objetivos corporativos, relacionados con la innovación tecnológica y generación de valor para sus clientes. Ofreciendo una alternativa tecnológica con mejores tiempos de ejecución en el ciclo del servicio de intervención de pozos, minimizando costos en recursos y colocando a la empresa en una posición competitiva dentro del sector de hidrocarburos en Colombia (Halliburton, 2025).

Así mismo, el proyecto promueve el aprovechamiento de los registros históricos generados durante la ejecución de los servicios, utilizándolos como fuente de información para el análisis de desempeño y la toma de decisiones. El uso de datos operacionales permite identificar patrones asociados a los tiempos no productivos, evaluar el comportamiento de las actividades críticas del proceso y establecer oportunidades de mejora sustentadas en evidencia cuantitativa y cualitativa.

La investigación adquiere relevancia académica y profesional al integrar conceptos de gestión Lean en un contexto propio de la industria petrolera, aportando conocimiento aplicado sobre la incorporación de tecnologías digitales en los servicios de intervención de pozos. Los resultados obtenidos podrán servir como referente para futuras investigaciones orientadas al mejoramiento de la eficiencia operativa, la reducción de tiempos no productivos y la transformación digital del servicio en el sector de hidrocarburos.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Metodología Lean aplicada al sector de hidrocarburos

El origen del enfoque metodológico Lean se remonta a 1950 con el desarrollo del sistema de producción de la marca Toyota, donde empieza a ser utilizada como respuesta a la necesidad de optimización de los recursos operativos, la reducción en desperdicios y posibilidad de mejorar la productividad en un entorno industrial. Posteriormente, en los años 1980, se expande hacia diferentes sectores de la industria, incursionando en el sector energético y de hidrocarburos. Mencionando que el fundamento de este tipo de metodología cobra relevancia para el sector de hidrocarburos, en la capacidad sistemática de reducir aquellas actividades que no generan valor agregado dentro de una intervención en pozo (Quijada, 2019).

En este mismo sentido, aplicar una metodología Lean, contribuye en la reducción de tiempos no productivos, su evolución comenzó a evidenciarse con mayor fuerza en los sectores de servicios industriales durante las últimas décadas, donde diversos estudios demostraron que la identificación y eliminación de desperdicios permite mejorar significativamente el desempeño operativo (Socconini, 2019). De igual manera, la filosofía Lean se constituye un sistema de gestión orientado a la reducción de variabilidad del servicio, su eje central busca la eliminación de actividades innecesarias que afectan la productividad. En esta misma línea, coinciden en que la metodología Lean se ha consolidado como una de las herramientas de mayor uso industrial para reducción de recursos en las operaciones y servicios (Sarria Yépez et al, 2017),

En la industria de hidrocarburos, implementar algún tipo de herramientas Lean y según las necesidades de las operaciones de perforación, ha demostrado que puede

contribuir en la eficiencia y el mantenimiento de equipos que intervienen en pozos, donde la integración de herramientas Lean reducen los reprocesos, el desperdicio presente en las operaciones petroleras, lo que se traduce en manos tiempos de espera. En este sentido, la metodología Lean contribuye directamente con la problemática identificada en Halliburton y su meta de optimizar los tiempos no productivos, asociados al actual servicio convencional y sus actividades operativas en pozo. De esta manera, integrar Lean al proceso asociados a la incorporación de la tecnología Digital Slickline, permite minimizar las causas que han venido generando pérdidas de recursos y tiempos productivos en el servicio convencional, impulsando progresivamente la su adaptación al flujo del proceso.

5.2. Los tiempos improductivos y su relación con la metodología Lean

Los tiempos improductivos representan una de las principales causas de ineficiencia dentro de los procesos industriales, generando incrementos en los costos operacionales y disminuyendo la competitividad de las organizaciones. En el sector de hidrocarburos, los tiempos no productivos, corresponden a las demoras identificadas, que afectan el desarrollo de las operaciones de intervención de pozos. En este sentido, los tiempos improductivos constituyen una de las variables de mayor impacto económico en la industria petrolera, puesto que representan recursos económicos consumidos, que no le generan un valor agregado en la operación (Ayala y Torres, 2016),

En esta misma línea, lograr la reducción de dichos tiempos, se convierte en un desafío para muchas empresas del sector, muchas de ellas han incluido mecanismo y metodólogas que permite incrementar la productividad, reducir costos y optimizar la utilización de recursos. En este sentido, la aplicación de herramientas de mejora continua, como las de Lean, favorece la estandarización de procesos y contribuye en la eliminación

sistemática de actividades que acumulan tiempos no productivos, generando pérdidas tanto operativas como financieras (Valencia et al. (2025).

En este sentido, la problemática identificada en las operaciones, se relaciona directamente con los tiempos no productivos, las anteriores teorías respaldan la investigación en cuanto a los enfoques metodológicos que sirven como sustento documental de factores adicionales que afectan la rentabilidad y eficiencia de las intervenciones de pozos.

5.3. Herramientas de diagnóstico Lean

Las herramientas de diagnóstico Lean con mayor utilización es el Diagrama de Ishikawa, el cual facilita la identificación de posibles causas que originan un problema central, su clasificación requiere un previo análisis de los factores o efectos que vienen generando problemáticas con relación a los componentes de métodos, materiales, maquinaria, mano de obra, medición y medio ambiente (Catalán y Aparisi, 2019).

Esta herramienta ha contribuido en la industria, por su adaptabilidad en el análisis de causa raíz en diversos sectores, puesto que permite visualizar de manera organizada las relaciones entre los factores que afectan un proceso. Según, afirman que aplicar el diagrama de Ishikawa como un instrumento diagnóstico, permita la segmentación y delimitación de la estrategia encaminada como mejora continua, ya que facilita la identificación de oportunidades de intervención sobre las causas principales del problema (Sarria Yépez et al, 2017).

Por otra parte, el diagrama de Pareto permite realizar un análisis cuantitativo de los problemas mediante la clasificación de las causas según su frecuencia o impacto. Su fundamento se basa en el principio 80/20, según el cual una pequeña cantidad de causas suele generar la mayor proporción de los efectos observados. Esta herramienta facilita la

priorización de acciones de mejora y la asignación eficiente de recursos para atacar las causas más relevantes (Gallach, Molina y Bernabeu, 2020).

Por otra parte, el diagrama SIPOC, constituye una herramienta de alto nivel utilizada en la gestión del servicio y en la metodología Lean para representar de manera estructurada los elementos fundamentales de un sistema operativo. Este tipo de diagrama permite identificar de forma general los proveedores, entradas, actividades, salidas y clientes de un proceso, facilitando la comprensión global del flujo de valor antes de realizar análisis más detallados. En este sentido, el SIPOC se utiliza como punto de partida para la caracterización de procesos, contribuyendo a la identificación de oportunidades de mejora y a la alineación de las actividades con los requerimientos del cliente (George et al, 2005).

Otra herramienta de análisis diagnóstico que combina factores cuantitativos y cualitativos, es el mapa de flujo de valor, constituida como una herramienta Lean, que se utiliza para representar gráficamente el flujo de los recursos en un proceso. Su aplicación en operaciones petroleras permite visualizar el estado actual de los procesos, identificar actividades que no agregan valor y diseñar estados futuros optimizados. En el caso de Halliburton, esta herramienta permitirá comparar el flujo de los recursos operativos del servicio convencional de Slickline y Wireline frente a un escenario, como propuesta en la incorporación de la tecnología Digital Slicklize, facilitando la identificación de oportunidades de mejora en la reducción de tiempos no productivos de un ciclo del proceso de intervención en pozo (Morales y Castañeda, 2023).

5.4. La tecnología Digital Slickline en contraste con métodos convencionales

En una nueva era de tecnificación y desarrollo tecnológico, el sistema Digital Slickline, responde a la necesidad de evolucionar en un sistema tradicional de intervención

de pozos, el fundamento de esta alternativa de servicio se basa en la operación mediante cable mecánico, integrando la capacidad de adquisición y transmisión de datos en tiempo real durante la intervención en pozo. Este sistema permite obtener información de fondo de pozo de manera más rápida y precisa, reduciendo la necesidad de múltiples corridas y mejorando la toma de decisiones operativas. La incorporación de tecnologías digitales dentro de los servicios de intervención busca aumentar la eficiencia operacional, optimizar recursos y reducir los tiempos asociados a las operaciones en campo (Halliburton, 2025).

Por otra parte, el Slickline convencional consiste en la utilización de un cable de acero sin capacidad de transmisión eléctrica, empleado principalmente para instalar, recuperar o manipular herramientas mecánicas dentro del pozo. Aunque este método presenta ventajas relacionadas con simplicidad operativa y menores costos iniciales, sus limitaciones se evidencian cuando se requiere adquisición de información en tiempo real o validación inmediata de condiciones de fondo de pozo, generando tiempos adicionales de operación (Garzón, 2017).

Finalmente, el sistema Wireline utiliza cables eléctricos capaces de transmitir energía y datos entre superficie y fondo de pozo. sistema permite ejecutar operaciones más complejas relacionadas con registro de información, monitoreo y evaluación de condiciones del pozo. Sin embargo, sus requerimientos de infraestructura, equipos especializados y tiempos de preparación pueden representar mayores costos operativos en determinadas aplicaciones (Rojas Murcia, 2014).

Por consiguiente, las ventajas en tecnología que ofrecen estas herramientas y permite identificar una oportunidad de optimización dentro de los servicios de Halliburton, de allí que se proponga la alternativa del Digital Slickline, como mecanismo de reducir

tiempos improductivos y mejorar la eficiencia operativa, al integrarlo dentro del portafolio de servicios de intervenciones de pozos.

5.5. Impacto operacional de la aplicación de tecnologías digitales en intervenciones en pozos

La transformación digital en la industria petrolera integra tecnologías de información, automatización y análisis de datos orientadas a garantizar que las operaciones se desarrollen de manera eficiente, segura y confiable. Estas tecnologías permiten optimizar la gestión de activos, mejorar la toma de decisiones y reducir los riesgos operacionales mediante el monitoreo continuo de variables críticas y el análisis del comportamiento de los equipos y procesos. La incorporación de nuevas tecnologías en la exploración y producción de hidrocarburos ha contribuido significativamente a mejorar el desempeño operativo y la competitividad de las empresas del sector (Salinas, 2014).

La implementación de tecnologías digitales en intervenciones en pozos, permite mejorar la disponibilidad del recurso, como equipos y operarios, así mismo la logística, donde incurren diversos tipos de fallas repetitivas, es por ello que digitaliza los servicios energéticos contribuye en la obtención de información en tiempo real, mejorando la capacidad de respuesta ante eventos operacionales adversos, reduciendo los tiempos asociados a la ejecución de actividades críticas. La eficiencia operativa y la productividad en servicios petroleros permite incrementar la confiabilidad operacional, fortalecer la calidad del servicio y generar mayor confianza en los clientes mediante la reducción de costos y la mejora en los resultados de los servicios de intervención en pozos (Rodríguez-Palma et al, 2026).

De allí que el presente proyecto busque mejorar la eficiencia de los servicios de intervención de pozos mediante la estrategia de un plan de integración de tecnología Digital Slickline, proyectando una disminución en fallas recurrentes, al mismo tiempo que fortalece la continuidad operativa de los servicios que presta la empresa Halliburton.

5.6. Indicadores de eficiencia en los Tiempos Improductivos (NPT)

El uso de indicadores de gestión permite monitorear el desempeño del servicio, analizar tendencias y apoyar la toma de decisiones orientadas a la mejora continua (Tabares Rodríguez, 2022). En el presente proyecto, los indicadores permitirán evaluar el impacto de la incorporación de la tecnología Digital Slickline sobre los tiempos no productivos registrados en las operaciones de intervención de pozos, por medio de la siguiente formulación:

$$\%\ \textbf{disminución tiempos improductivos} = \frac{t.método\ convencional - t.método\ propuesto}{t.método\ convencional}\ x\ 100$$

Con este indicador se logra cuantificar el porcentaje de reducción de los tiempos improductivos obtenidos mediante la implementación de la propuesta de mejora en comparación con el método convencional. Su análisis facilita la evaluación del impacto en la tecnología Digital Slickline.

6. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presentan los conceptos y definiciones fundamentales que sustentan el desarrollo de la presente investigación, los cuales permiten una mayor comprensión de los elementos teóricos, tecnológicos y operativos relacionados con la reducción de los tiempos no productivos, en los servicios de intervención de pozos.

- **La metodología Lean:** se define como la creación de valor para el cliente mediante la eliminación sistemática de actividades que no generan valor dentro de los procesos o servicio (Quijada, 2019).
- **El ~~concepto de~~ tiempo improductivo**: se encuentra relacionado las actividades que consume tiempo sin generar un valor para un proceso u operación, en particular la invención en pozos (Socconini, 2019).
- **Diagrama de Ishikawa o de causa efecto:** es una herramienta diagnostica que permite identificar, analizar y comprender la causa central de varios factores dentro de un proceso organizacional (Catalán y Aparisi, 2019).
- **Diagrama de Pareto:** es una herramienta cuantitativa que se basa en el principio 80/20, facilita la identificación de la problemática, generando acciones de mejora para atacar las causas más relevantes (Gallach, Molina y Bernabeu, 2020).
- **Slickline:** es un sistema convencional, empleado principalmente para instalar, recuperar o manipular herramientas mecánicas dentro del pozo, sin capacidad de transmisión eléctrica, lo que requiere de un complemento tecnología para transmitir energía y datos entre superficie y fondo de pozo (Garzón Cano, 2017).
- **Wireline:** es el complemento en tecnología del Slickline, puesto que transmite datos y energía, entre la superficie y fondo de pozo (Rojas Murcia, 2014).

- **Tecnología Digital Slickline:** es la alternativa de servicio que viene incursionado con fuerza en la industria de los hidrocarburos, específicamente en la intervención en pozo, de manera más precisa, reduciendo la necesidad de múltiples equipos, ya que integra, tanto la herramienta mecánica dentro del pozo, en paralelo a la transmisión de datos en tiempo real (Halliburton, 2025).
- **Gestión del servicio en intervención de pozos:** se dividen en etapas que incluyen la solicitud de servicio y planeación, movilización de equipos, montaje (rig-up), ejecución de operaciones, monitoreo, desmontaje (rig-down) y generación de reportes finales como cierre del servicio (Santamaría y Vizcaíno (2021).

7. ESTADO DEL ARTE

El estado del arte se fundamenta en una revisión sistemática de la literatura orientada a identificar y analizar investigaciones relacionadas con la reducción de tiempos no productivos, la aplicación de la metodología Lean en la industria de hidrocarburos y el uso de tecnologías para la intervención de pozos. Esta revisión permite establecer los principales avances, enfoques metodológicos y oportunidades de mejora reportados en la literatura, proporcionando una base conceptual y técnica para el desarrollo de la presente investigación.

En la evolución de las tecnologías de intervención y monitoreo en pozos mediante sistemas con el Digital Slickline, constituye un avance respecto a los sistemas convencionales, al combinar las ventajas operativas del Slickline tradicional con capacidades de adquisición y transmisión de información en tiempo real. Esta integración favorece una toma de decisiones durante las operaciones y amplía las posibilidades de control y monitoreo en campo (Alghamdi et al, 2018).

La literatura más reciente ha profundizado en la cuantificación de los beneficios operacionales asociados a esta tecnología. En una compararon de cincuenta intervenciones de pozos ejecutadas mediante métodos convencionales y mediante Digital Slickline bajo condiciones operativas similares, se evidenciaron reducciones significativas en los tiempos no productivos, los costos operativos y las actividades asociadas al montaje y desmontaje de equipos, lo que confirma el potencial de la digitalización para mejorar el desempeño de las operaciones de intervención de pozos (Kumar et al, 2025).

Otro estudio, empleo el modelo predictivo basados en aprendizaje automático Random Forest para identificar factores asociados a la ocurrencia de eventos en

operaciones de perforación, donde evaluaron los indicadores de desempeño asociados a las etapas de perforación de pozos horizontales e identificaron actividades críticas que afectan los tiempos de ejecución, los hallazgos demuestran que el análisis predictivo permite anticipar condiciones de riesgo operacional y respaldar la toma de decisiones mediante información cuantificable, contribuyendo a la reducción de la incertidumbre y a la optimización de las actividades desarrolladas en campo (Huertas y Puerto, 2025).

Por su parte, existen características con los tiempos improductivos en operaciones de perforación en factores relacionados con los reprocesos durante el montaje de equipos, las fallas operativas. Los resultados muestran las deficiencias en la planificación previa constituyen algunas de las principales causas de sobrecostos y pérdidas de productividad para esta industria, dichos hallazgos resaltan la importancia de fortalecer las actividades de planeación y control como mecanismos para minimizar desperdicios operacionales (Ayala y Torres, 2016).

En este sentido, los tiempos no productivos asociados a la movilización e intercambio de equipos ha generado pérdidas de recursos, donde la perforación de pozos direccionales utilizando unidades independientes para actividades mecánicas y de adquisición de datos, se limitan en la capacidad adquisitiva de información. De esta manera, surge el Digital Slickline permite integrar ambas funciones en una única unidad operativa, reduciendo los requerimientos logísticos, la cantidad de recursos desplegados y los tiempos asociados a la intervención (Boza Carriel, 2024).

En conjunto, la revisión de los antecedentes evidencia que, incorporar nueva tecnología, en especial la Digital Slickline, mejora los tiempos de productividad, la capacidad de ahorro en recursos, convirtiéndose en un mecanismo de servicio en intervención en pozo, a esto se suma la disminución de costos en la contratación de este

tipo de servicios digitales. Sin embargo, se evidencio un limitado uso de investigaciones que integren alguna herramienta de tipo Lean, en servicios de intervención de pozos, convirtiéndose en una oportunidad para desarrollar la investigación en la empresa Halliburton mediante la integración de dicha tecnología digital, en búsqueda de lograr la reducción de los tiempos improductivos que se vienen presentando con el servicio convencional de extracción en pozo.

8. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque metodológico mixto, integrando componentes cualitativos y cuantitativos con un alcance descriptivo y propositivo. Desde el ámbito cualitativo, se busca comprender el funcionamiento actual de los servicios convencionales de intervención de pozos ofrecidos por Halliburton, mediante la observación y análisis del servicio asociado a las actividades de Slickline y Wireline (Hernández Sampieri et al, 2021).

Por otra parte, el componente cuantitativo analiza los registros históricos correspondientes al año 2025, relacionados con los tiempos improductivos reportados en las operaciones de intervención de pozos. Para ello, se estudian variables como frecuencia de ocurrencia de fallas, tiempos de espera, cambios entre unidades operativas, pruebas operativas, disponibilidad de recursos y demás factores asociados a la generación de los tiempos no productivos.

Adicionalmente, la investigación posee un carácter propositivo, debido a que plantea el diseño de un plan de mejora basado en los principios y herramientas de la metodología Lean, el cual permite aplicar conocimientos teóricos y herramientas de ingeniería industrial para dar respuesta a una problemática real del sector de hidrocarburos, proponiendo alternativas que contribuyan al incremento de la eficiencia operativa, la optimización de recursos y la estandarización del servicio desarrollados en Halliburton

La información es procesada mediante herramientas estadísticas y de análisis Lean, tales como el diagrama de Pareto y el mapa de valor, con el propósito de identificar las causas de mayor impacto y visualizar oportunidades de mejora dentro del flujo operacional.

8.1. Alcance de la investigación

La investigación presenta un alcance descriptivo y explicativo, ya que busca analizar los registros de los servicios correspondientes al año 2025, con el fin de conocer la situación actual del servicio y determinar las oportunidades de mejora existentes, identificando los tiempos de ciclo productivos y recursos. Así mismo, es explicativo puesto que pretende determinar las causas que están generando dichos tiempos improductivos, a partir de la propuesta como un plan como solución que permitan mejorar el desempeño de las intervenciones en pozo.

En este mismo sentido, es importante aclarar que el proyecto no contempla la implementación práctica de la propuesta dentro del entorno real practico del servicio de la empresa, ni busca ejecutar un análisis de los costos, limitado su análisis únicamente al manejo de la información suministrada por Halliburton, con el propósito de aportar al diseño conceptual del plan de mejora Lean como alternativa para la reducción de los tiempos no productivos.

8.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es de tipo no experimental, debido a que las variables no serán manipuladas directamente, sino que se analizarán en su contexto natural a partir de datos operativos y estudios previos. Este enfoque permite comprender el comportamiento real de las intervenciones con Slickline y evaluar oportunidades de mejora sin intervenir directamente en las operaciones.

8.3. Técnicas de recolección de información

Para la recolección de información y desarrollo de la investigación, se emplean fuentes de información primarias, que están conformadas por los registros históricos

suministrados por la empresa, correspondientes a los servicios convencionales de intervención de pozos realizados durante el año 2025, los cuales incluyen información relacionada con tiempos no productivo, causas de ocurrencia, costos operativos, tiempos de ciclo de ejecución y características de espera en las operaciones de Slickline y Wireline (Halliburton, 2025).

Por otra parte, se utilizaron fuentes de información secundarias constituidas por artículos científicos, tesis de grado y documentos especializados relacionados con la metodología Lean, la tecnología Digital Slickline, gestión de procesos e indicadores de desempeño, consultados en bases de datos y repositorios académicos como Google Scholar, ScienceDirect, Scopus, Redalyc y SciELO. Las fuentes secundarias proporcionan información previamente analizada y publicada que sirve como fundamento para la construcción del conocimiento, la contextualización del problema de investigación y el soporte de la discusión de los resultados (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2023).

La búsqueda de fuentes y autores como referentes de la revisión de la literatura, se efectuó a partir de las siguientes palabras clave, como: *Metodología Lean, Digital Slickline, Slickline, Wireline, tiempos no productivos, intervención de pozos, industria de hidrocarburos*, *mapa de flujo de valor*, sirviendo como fundamento teórico en la investigación.

La población objeto de estudio está conformada por nueve clientes tomados a conveniencia, puesto que son el total de clientes atendidos en el año 2025 por Halliburton mediante servicios convencionales de intervención de pozos, de tipo Slickline y Wireline, que se registraron como eventos asociados a tiempos no productivos, dentro de la base de datos suministrada por la empresa.

La muestra corresponde al total de registros históricos de servicios e incidencias operativas asociados a 243 eventos de servicios en pozos durante el año 2025, por tal motivo, la investigación se desarrolla bajo un censo de los registros operacionales disponibles para el período de análisis.

8.4. Variables de estudio

Clasificadas en:

Variable independiente

- Integración de la tecnología Digital Slickline, como propuesta de mejora Lean en los servicios de intervención de pozos.

Variables dependientes

- Tiempos no productivos registrados en los servicios.
- Tiempo total de ciclo en la intervención del pozo.
- Costos operativos asociados al servicio convencional.
- Costos operativos asociados a la implementación de Digital Slickline

De esta manera, el análisis no solo evalúa los tiempos no productivos, sino que también incorpora la comparación económica entre el método convencional de Wireline y Slickline y la alternativa propuesta con Digital Slickline, permitiendo determinar los beneficios en términos de reducción de costos y recursos.

Como fuentes secundarias, se consultaron artículos científicos, trabajos de grado, libros especializados, informes técnicos y documentos institucionales obtenidos de bases de datos académicas indexadas y repositorios universitarios. Esta revisión documental permitió fundamentar teóricamente la investigación y conocer experiencias relacionadas

con la aplicación de metodologías Lean, reducción de tiempos no productivos, optimización de operaciones petroleras y utilización de tecnologías como Digital Slickline.

8.5. Fases del proyecto

Para el desarrollo del proyecto de investigación, se definieron tres fases metodológicas alineadas con los objetivos específicos planteados, cada fase comprende un conjunto de actividades, como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. *Fases del proyecto investigativo alineadas con los objetivos específicos planteados*

Fase	Objetivos específicos	Descripción de las actividades	Entregable y herramienta
Fase 1. Diagnóstico del proceso actual	Identificar las principales causas de los tiempos no productivos, mediante la revisión de la literatura, aplicación de herramientas Lean, a partir de los registros históricos de los servicios convencionales ofrecidos por Halliburton durante el año 2025.	Revisión de la literatura, análisis de registros históricos 2025, aplicación de los diagramas de flujo, Pareto e Ishikawa, para determinar factores críticos. Finalizando con la elaboración del Mapa de flujo de valor actual.	- Revisión de la literatura. - Diagrama de flujo del servicio SIPOC. - Diagramas Pareto. - Diagrama de Ishikawa. - Mapa de flujo de valor actual.
Fase 2. Diseño del plan de mejora Lean	Diseñar un plan de mejora Lean para la integración de la tecnología Digital Slickline a los servicios convencionales de Slickline y Wireline ofrecidos por Halliburton.	Elaboración del Mapa de flujo de valor propuesto, identificación de desperdicios, diseño de acciones de mejora y estandarización de procesos.	- Plan de mejora Lean integrando al mapa de flujo de valor propuesto. - Matriz de acciones de mejora.
Fase 3. Contraste y evaluación de la propuesta	Comparar el desempeño del servicio convencional de Slickline y Wireline, evaluando la propuesta de implementación de la tecnología Digital Slickline, en términos de reducción de tiempos no productivos, eficiencia operativa y optimización de recursos.	Análisis comparativo, proyección de beneficios, evaluación de indicadores y análisis de costos operativos.	- Matriz comparativa. - Indicadores de control de la propuesta. - Discusión de resultados y evaluación de beneficios.

Fuente: Elaboración propia.

9. RESULTADOS

9.1. Hallazgos para la Fase 1 – Diagnóstico del proceso actual

En el desarrollo de la primera fase, permite identificar las principales causas de los tiempos no productivos, la aplicación de herramientas de diagnóstico Lean, iniciando con la descripción del diagrama de flujo del servicio, análisis Pareto y el diagrama de Ishikawa, a partir de los registros históricos, como fuente de revisión de la literatura, de los servicios convencionales ofrecidos por Halliburton durante el año 2025.

9.1.1. Diagrama de flujo del servicio convencional de Slickline y Wireline

Para identificar, organizar y analizar las etapas que conforman el proceso de intervención en pozo, desde la recepción de la solicitud del servicio hasta la entrega del informe final al cliente, se empleó la herramienta de mapeo de procesos SIPOC, la cual facilita la caracterización de los proveedores, las entradas, las actividades del proceso, las salidas generadas y los clientes internos y externos involucrados en cada etapa.

De esta manera, establecer una visión integral del proceso operativo, identificar la interacción entre las diferentes áreas participantes y reconocer los recursos necesarios para la prestación del servicio, como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. *Diagrama SIPOC del servicio convencional de Slickline y Wireline*

S (Suppliers – Proveedores)	I (Inputs – Entradas)	P (Process – Proceso)	O (Outputs – Salidas)	C (Customers – Clientes)
Cliente	Solicitud del servicio	1. Recepción de la solicitud y planificación del servicio	Plan de intervención aprobado	Área de planificación

Área de operaciones Halliburton	Personal técnico, herramientas y permisos operacionales	2. Instalación de equipos en pozo (Rig-Up)	Equipos instalados y listos para operar	Gerencia de operaciones
Área de logística	Equipos Slickline/Wireline, unidades de servicio y materiales	3. Ejecución de la intervención en pozo	Intervención ejecutada y datos operacionales registrados	Área técnica
Área de mantenimiento	Equipos inspeccionados y disponibles	4. Desinstalación de equipos (Rig-Down)	Equipos retirados del pozo	Área de mantenimiento
Área de transporte	Recursos logísticos de transporte	5. Desmovilización de unidades	Equipos trasladados a la base operativa	Área logística
Sistemas de información	Registros operacionales y datos de campo	6. Elaboración y entrega del reporte final	Informe técnico y datos cargados en la nube del cliente	Cliente final

Fuente: Elaboración propia.

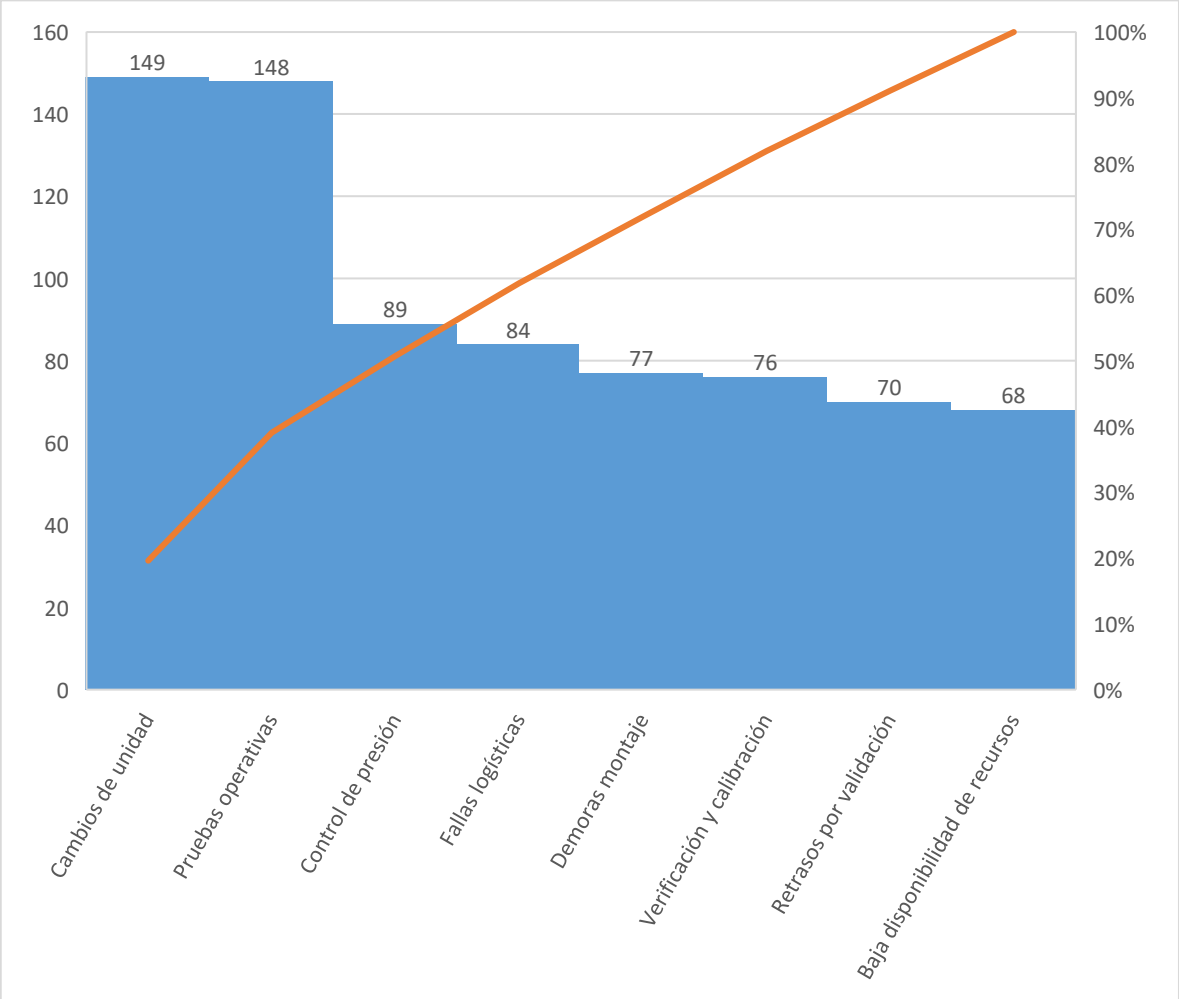
Como análisis del mapeo mediante la metodología SIPOC se identifica que el servicio convencional de Slickline y Wireline está conformado por una secuencia de actividades interdependientes que involucran la participación de múltiples áreas operativas, logísticas y técnicas. También de los principales proveedores, las entradas requeridas, las etapas críticas del proceso y los productos generados para cada cliente interno y externo, proporcionando una visión integral del flujo operativo.

Estos hallazgos constituyen la base para identificar oportunidades de mejora e implementar estrategias orientadas a la optimización del proceso mediante la incorporación

de tecnologías como Digital Slickline y el diseño de indicadores de gestión que permitan monitorear y controlar el desempeño operativo.

9.1.2. Análisis de Pareto de las características que afectan el tiempo productivo

Figura 1. *Análisis de Pareto de las características que afectan el tiempo productivo*



Fuente: Elaboración propia.

Se realiza un análisis de Pareto, de la figura 1, sobre las características reportadas como causantes de los tiempos no productivos, identificando los factores operacionales que presentan la mayor incidencia dentro de los servicios convencionales. Como resultado del diagrama se evidencia que, de un total de 761 horas de tiempos no productivos registrados

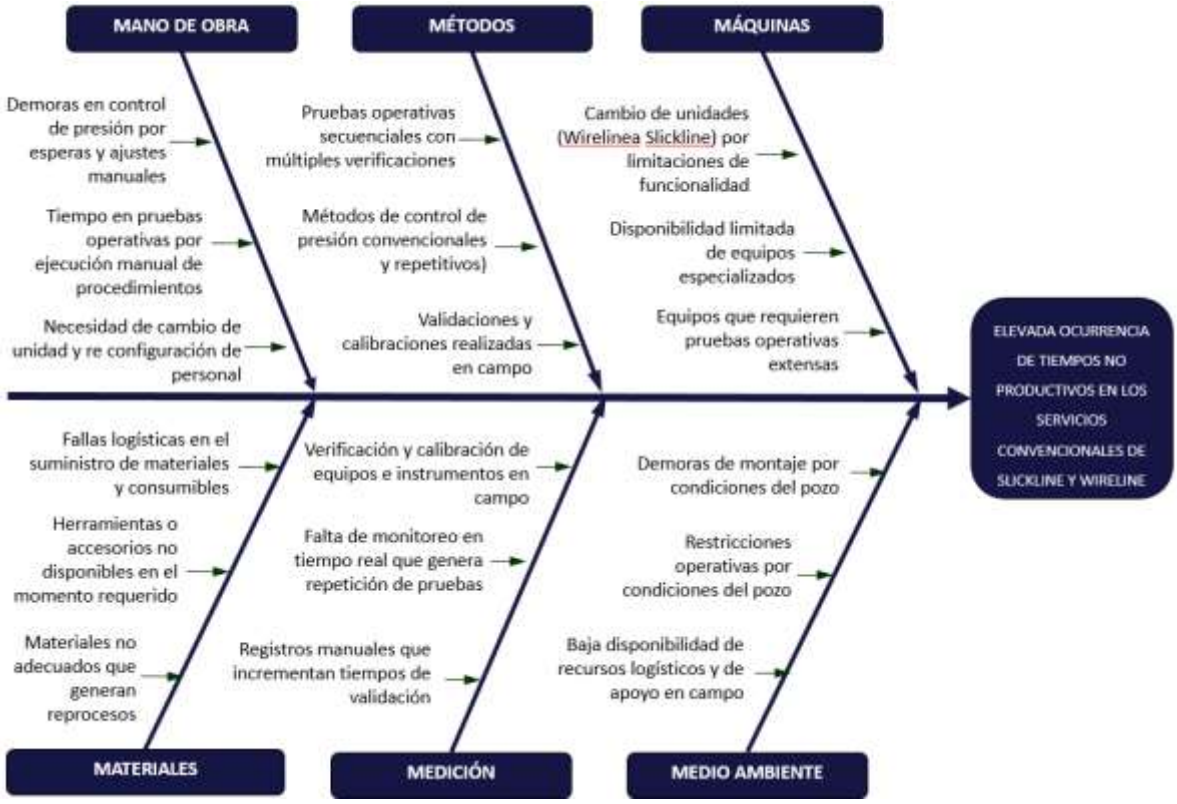
en 9 clientes atendidos durante el año 2025, las principales causas se concentran en un número reducido de factores. En primer lugar, se destacan los cambios de unidad de Wireline a Slickline con 149 horas, seguidos de las pruebas operativas con 148 horas. Posteriormente, se identifican el control de presión con 89 horas, las fallas logísticas de coordinación con 84 horas, las demoras de montaje con 77 horas y la verificación y calibración con 76 horas. En conjunto, estas seis causas acumulan aproximadamente 623 horas de tiempos no productivos, lo que representa cerca del 82 % del total registrado.

En este sentido, la incorporación de la tecnología Digital Slickline (DSL) surge como una alternativa de mejora que puede integrar funciones mecánicas y de adquisición de datos en una sola unidad operativa, reduciendo la necesidad de cambios de equipos, disminuyendo los tiempos de pruebas operativas, control de presión y las fallas logísticas en las intervenciones de pozos. Por tanto, las causas identificadas mediante el análisis de Pareto constituyen la base para el diseño del plan de mejora Lean propuesto en la presente investigación.

9.1.3. Análisis del diagrama de Ishikawa de las principales causas de tiempos no productivos en el servicio convencional

Se realiza un análisis de causa raíz mediante herramientas del diagrama de Ishikawa, el cual busca identificar las causas en el servicio convencional que generan tiempos no productivos, así como los factores que vienen afectando la eficiencia del proceso de intervención de pozos, tomando como punto de partida los resultados obtenidos en el análisis de Pareto de las características que afectan el tiempo productivo.

Figura 2. *Diagrama de Ishikawa de las causas del tiempo no productivo en operaciones Slickline y Wireline*



Fuente: Elaboración propia.

Como análisis obtenido de la figura 2, evidencian como causa central la elevada ocurrencia de tiempos no productivos durante la ejecución de los servicios convencionales de Slickline y Wireline, originada por la interacción de factores humanos, operacionales, tecnológicos, logísticos y ambientales que incrementan los tiempos de preparación, ejecución y cierre de las intervenciones. El análisis permitió establecer que las principales causas identificadas mediante el Pareto no corresponden a eventos aislados, sino al resultado de deficiencias presentes en diferentes etapas del proceso operativo, las cuales afectan directamente la productividad, la utilización de los recursos y el nivel de servicio al cliente, para ello se analizan los seis factores, como son:

- **Mano de Obra**: De este análisis se observa que una parte importante de los tiempos no productivos se encuentra asociada a la intervención del personal operativo

durante las actividades de cambio de unidades, pruebas funcionales y ajustes en campo.

- **Métodos:** El análisis de estas causas, evidencia que los procedimientos convencionales requieren una secuencia de actividades independientes, incluyendo cambios entre unidades de Slickline y Wireline, múltiples pruebas operativas, verificaciones de seguridad y controles de presión antes de iniciar la intervención.
- **Máquinas:** En esta categoría se identifica que, las limitaciones tecnológicas de los equipos convencionales constituyen una de las principales fuentes de tiempo no productivo. La necesidad de utilizar diferentes unidades para operaciones mecánicas y eléctricas obliga a realizar cambios de equipos durante una misma intervención, generando las mayores pérdidas de tiempo registradas en el análisis de Pareto.
- **Materiales:** Los resultados muestran que la disponibilidad oportuna de herramientas, accesorios y repuestos, influye directamente sobre la duración de las intervenciones. Las fallas en el suministro logístico, las ausencias de elementos requeridos generan retrasos en la ejecución de las actividades, incrementando los tiempos de espera y afectando la programación operativa.
- **Medición:** Para este análisis se identifica que, las actividades de verificación, calibración y validación de herramientas representan un aporte al tiempo no productivo. Los procedimientos convencionales exigen realizar pruebas de funcionamiento, calibraciones previas y posteriores a la intervención, además de la validación manual de los registros operacionales, lo que incrementa el tiempo destinado a actividades que no agregan valor directo al servicio.
- **Medio ambiente:** Se evidenciaron factores externos relacionados con las condiciones del pozo, restricciones de acceso, disponibilidad de espacio para la

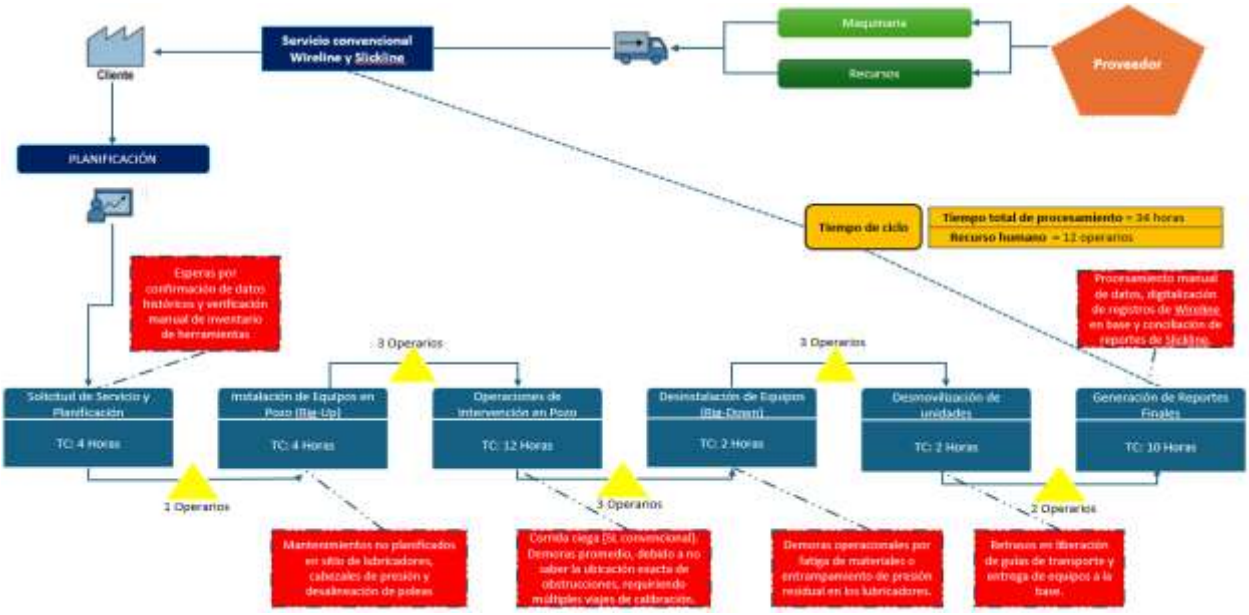
instalación de equipos y coordinación logística entre las diferentes áreas involucradas. Así mismo, las actividades de control de presión, las restricciones operacionales del sitio y la disponibilidad de recursos de apoyo representan variables que prolongan los tiempos de ejecución y disminuyen la productividad del servicio.

En conjunto, el análisis del Diagrama de Ishikawa evidencia como resultado que las mayores oportunidades de mejora se concentran en la eliminación de cambios de unidades, la reducción de pruebas operativas repetitivas, la optimización de las actividades de control de presión y la mejora de la coordinación logística. De esta manera, se sustentan la implementación de la tecnología *Digital Slickline* como alternativa para integrar funciones mecánicas y de adquisición de datos en una única unidad operativa, disminuir las actividades que no agregan valor y reducir los tiempos no productivos del proceso de intervención de pozos.

9.1.4. Mapa de flujo de valor del servicio convencional

Se realiza el mapa de flujo de valor del servicio convencional Wireline y Slickline, con los tiempos promedio de cada operación, por medio de esta herramienta Lean, se busca identificar los tiempos promedio de cada etapa del proceso, el flujo secuencial de las operaciones, los recursos humanos y técnicos. Su construcción permite generar oportunidades de mejora del proceso, sirviendo como base objetiva para la propuesta del plan de mejora operacional con la tecnología Digital Slickline.

Figura 3. *Mapa de Flujo de Valor del servicio convencional Wireline y Slickline*



Fuente: Elaboración propia.

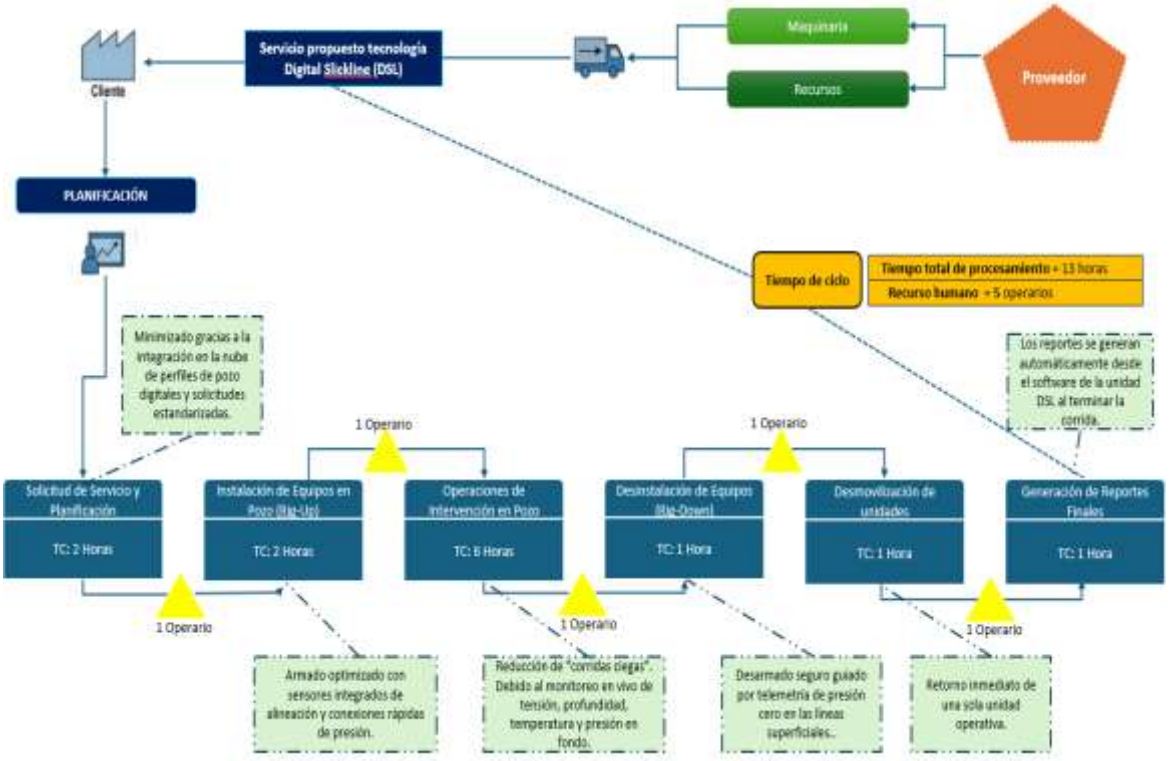
Los resultados obtenidos en el mapa de flujo de valor del servicio convencional, de la figura 3, evidencian que el proceso presenta un tiempo total de ciclo de 34 horas promedio, desde que se realiza la orden hasta que se genera el reporta final, con una asignación de 12 operarios distribuidos a lo largo del flujo del servicio.

Además, se evidencian ineficiencias relacionadas con la acumulación de novedades reportadas en esperas innecesarias y actividades que no agregan valor, tales como la espera y verificación de la orden, tiempos de espera debido a los mantenimientos no programados y el procesamiento tardío de datos en la base, afectando el flujo continuo del tiempo total del servicio. De esta manera, surge la oportunidad de mejora asociada con la disminución de tiempos muertos mediante tecnología en tiempo real, al automatizar de forma inmediata la entrega de los reportes digitales al cliente.

9.2. Hallazgos para la Fase 2 - Diseño del plan de mejora Lean integrando la tecnología Digital Slickline (DSL)

Para esta fase se realiza el diseño de un Plan de mejora Lean, integrando la tecnología Digital Slickline, a partir del rediseño del mapa de flujo de valor proyectado con la mejora del servicio de intervención de pozos, como se presenta en la figura 4.

Figura 4. *Mapa de flujo de valor del proceso propuesto tecnología Digital Slickline*



Fuente: Elaboración propia.

Esta segunda fase, se identifica que el diseñó del Plan de mejora propuesto como un mecanismo tecnológico, permite disminuir los tiempos improductivos en un 61%, pasando de 34 horas de proceso a 13 horas de procesamiento, con la nueva propuesta, también se evidencia una optimización del recurso humano al disminuir capacidad del personal en pozo a 5 operarios, requiriendo un solo operario calificado por etapa, de esta manera, la nueva tecnología combina las tareas de Slickline y Wireline en un solo proceso, logrando

minimizar los efectos que no agregan valor, reflejado en tiempos más bajos de operación del servicio.

9.2.1. Matriz de acciones de mejora Lean

A continuación, se presenta la estructura de la matriz de acciones correctivas y preventivas a partir de estrategias enfocadas en la minimización de los tiempos improductivos y la estandarización de actividades críticas, que permitan mejorar el flujo de un ciclo de servicio en intervención de pozo, tal como se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. *Matriz de acciones de mejora para el fortalecimiento del plan de mejora Lean*

Acción de mejora estratégica	Descripción	Responsable	Tiempo de ejecución	Actor interesado
Implementación de la Tecnología Digital Slickline	Sustituir las operaciones convencionales e independientes de Slickline y Wireline por una solución con la tecnología Digital Slickline, compuesta por un monocable de acero que permite realizar control mecánico y adquisición de datos en tiempo real simultáneamente.	Operarios especializados de Campo, previa aprobación de la gerencia de Operaciones	3 a 4 meses. Estimado con base en la experiencia de Halliburton en proyectos similares de implementación	- Halliburton. - Las empresas prestadoras de servicios como Halliburton
Estandarización del proceso de instalación y desmontaje de equipos	Crear un manual de procedimientos operativos estandarizados, asistidos por sensores superficiales para el armado seguro y rápido del nuevo equipo de presión.	Líder de intervención en pozo	2 meses. Según tiempos históricos de proyectos similares.	- Coordinadores de Campo y asesores técnicos - Ingeniería de campo
Automatización y Transmisión de Reportes en Tiempo Real	Integrar el software de telemetría de la nueva tecnología, dirigida a los servidores en la nube del cliente, eliminando la transcripción y digitalización manual al finalizar los trabajos en el pozo.	Ingeniero de Datos y soporte de personal de sistemas	5 días, Según tiempos históricos de proyectos similares.	- Cliente Final - Ingenieros de Yacimientos
Mantenimiento Preventivo y	Implementar un programa basado en los datos de fatiga y tensión capturados por el cable, para reemplazar	Departamento de Mantenimiento	Cada tres meses. Según tiempos históricos de proyectos similares.	- Personal de operación y logística

Predictivo de Herramientas	componentes antes de que generen fallas no planificadas o pescas en el pozo.

Fuente: Elaboración propia.

Como análisis del Plan de mejora Lean, se evidencia que la propuesta de integración del servicio propuesto con la tecnología Digital Slickline, genera beneficios y ventajas en el tiempo real, la reducción de doble movilización de equipos y la eliminación de tiempos no productivos al eliminar la verificación y calibración en el fondo del pozo, logrando una optimización en flujo de valor del servicio, contribuyendo a menores costos operacionales y a la minimización de las características que presentaba mayor criticidad para el proceso de ciclo de servicio.

9.3. Hallazgos para la Fase 3 - Diseño de mejora

A partir de los hallazgos obtenidos durante el diagnóstico del proceso y del diseño del plan de mejora Lean, se realiza una Matriz comparativa, con la cual se busca contrastar cuantitativa y cualitativamente las métricas operacionales del servicio convencional frente al impacto de la optimización de la nueva tecnología a integrar.

9.3.1. Matriz comparativa

A continuación, se presenta un análisis comparativo entre los factores causales identificados en el estado actual del servicio convencional de Wireline y Slickline y los resultados esperados con la aplicación del plan de mejora, de esta manera evidenciar el impacto potencial de la propuesta sobre los tiempos de espera, consolidando una línea de referencia la implementación y validación de la estrategia Lean, como se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. *Comparativo con los factores causales y su mejora esperada*

Etapa del flujo del proceso	Factores y características del servicio Convencional	Factores y características del servicio propuesto con la tecnología Digital Slickline	% Reducción estimada	Sustentación técnica
Solicitud de Servicio y Planificación	**Tiempo promedio de ciclo:** 4 horas **Recurso humano:** 1 operario • **Característica no productiva***:* Esperas por confirmación de datos históricos de pozos y verificación manual de inventario de herramientas.	**Tiempo promedio de ciclo:** 2 horas **Recurso humano:** 1 operario • **Característica productiva***:* Minimizado gracias a la integración en la nube de perfiles de pozo digitales y solicitudes estandarizadas.	**50%**	La tecnología digital permite que el cliente comparta telemetría previa directamente con la plataforma de Halliburton, acelerando la ingeniería del servicio.
Instalación de Equipos en Pozo (Rig-Up)	**Tiempo promedio de ciclo:** 4 horas **Recurso humano:** 3 operarios • **Característica no productiva***:* Mantenimientos no planificados en sitio de lubricadores, cabezales de presión y desalineación de poleas.	**Tiempo promedio de ciclo:** 2 horas **Recurso humano:** 1 operario • **Característica productiva:** Armado optimizado con sensores integrados de alineación y conexiones rápidas de presión.	**50%**	La instalación en campo se realiza una sola vez para el servicio. En contraste con el servicio convencional, si se requería cambio de Slickline a Wireline, con doble montaje.
Operaciones de Intervención en Pozo	**Tiempo promedio de ciclo:** 12 horas **Recurso humano:** 3 operarios • **Característica no productiva:** Demoras por no conocer la ubicación exacta de la herramienta dentro del pozo, requiere viajes de calibración.	**Tiempo promedio de ciclo:** 6 horas **Recurso humano:** 1 operario • **Característica productiva**: Reducción en la verificación de información en tiempo real del comportamiento de la herramienta dentro del pozo. Debido al monitoreo en vivo de tensión, profundidad, temperatura y presión en fondo.	**50%**	El operador ve en tiempo real el comportamiento de la herramienta de fondo. Se mitigan pruebas por sobretensión del cable y se combinan tareas de Slickline mecánico con registros eléctricos de Wireline en un solo viaje.

Desinstalación de Equipos (Rig-Down)	**Tiempo promedio de ciclo:** 2 horas **Recurso humano:** 3 operarios • **Característica no productiva*:*** Demoras operacionales por fatiga de materiales, generando una presión residual en los lubricadores.	**Tiempo promedio de ciclo:** 1 hora **Recurso humano:** 1 operario • **Característica productiva*:*** Desarmado seguro guiado por telemetría de presión con menos las líneas superficiales.	**60%**	Al operar una sola unidad combinada, el tiempo disminuye en comparación con la logística de dos líneas de servicio independientes.
Desmovilización de equipos y operarios	**Tiempo promedio de ciclo:** 2 horas **Recurso humano:** 3 operarios • **Característica no productiva*:*** Retrasos en liberación de guías de transporte y entrega de equipos y personal a la base.	**Tiempo promedio de ciclo:** 1 hora **Recurso humano:** 1 operario • **Característica productiva*:*** Retorno inmediato de una sola unidad operativa, tanto del equipo como del operario.	**50%**	Eficiencia asociada a la reducción de activos en las logística de desmovilización de equipos y operarios.
Generación de reporte final	**Tiempo promedio de ciclo:** 10 horas **Recurso humano:** 2 operarios • **Característica no productiva*:*** Demors en el procesamiento manual de datos, digitalización de registros de Wireline en base y conciliación de reportes de Slickline.	**Tiempo promedio de ciclo:** 1 hora **Recurso humano:** 1 operario • **Característica productiva*:*** Los reportes se generan automáticamente desde el software de la unidad tecnológica al terminar la corrida en el pozo.	**90%**	Los datos de fondo de pozo (*presión, temperatura, perfiles*) se transmiten en tiempo real vía satélite, dirigido a la nube del cliente. Al finalizar el trabajo físico, el cliente ya cuenta con la información validada.

Fuente: Elaboración propia.

La propuesta de una nueva tecnología se muestra como una oportunidad de mejora en la eficiencia del tiempo de ciclo del servicio del 50%, sumado al aprovechamiento en el recurso humano en un 50% además de otros factores causales identificados actualmente en la empresa, que representan una alta vulnerabilidad operativa y económica debido a la duplicidad de tareas e ineficiencias de transmisión de información.

Ahora, la propuesta del plan, evidencian que es posible disminuir el tiempo no productivo en el ciclo del flujo del proceso general, pasando de 34 horas 13 horas de procesamiento en pozo, lo que representa una mejora del 67%.

Así mismo, el optimizar la mano, con una ocupación de recurso operativo reducida al 50%, con un solo operario por cada etapa del proceso, de esta manera, la organización lograría ofrecer un servicio de intervención de pozos eficiente y con una menor capacidad operativa, incrementando la satisfacción del cliente y fortaleciendo su posición en el mercado de servicios de la industria de hidrocarburos en Colombia.

9.3.2. Indicadores de control de la propuesta

El control de la propuesta, permite medir y monitorear el comportamiento del proceso del servicio nuevo, con la finalidad evaluar el impacto potencial del plan de mejora propuesto en términos de reducción de tiempos productivos, a partir de indicadores clave de desempeño, en factores como se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. *Indicadores orientados al control de la propuesta como plan de mejora Lean*

Nombre del Indicador	Meta	Descripción	Formulación	Responsable

Porcentaje de reducción de tiempos no productivos	50 % de reducción	Mide la disminución de las horas no productivas tras la adopción de la tecnología DSL.	*Tiempos no productivos nueva tecnología / tiempos no productivos convencional * 100*	Supervisor de Operaciones
Eficiencia del tiempo de ciclo	60 % de Valor Agregado	Evalúa la proporción del tiempo total en locación que verdaderamente añade valor al cliente.	*Tiempo de Valor Agregado / Tiempo total del servicio * 100*	Ingeniero de procesos Lean
Cumplimiento de reportes Inmediatos	95 % de efectividad	Controla el retraso en la entrega de datos analíticos finales al cliente en menos de 1 hora.	*Reportes entregados en < 1 hora / Total de servicios ejecutados * 100*	Ingeniero de Telemetría y Datos
Índice de reducción de tiempos no productivos en montaje	50 % eficiencia en característica de falla mecánicas	Mide la efectividad del armado asistido por sensores.	*Montaje ejecutado sin novedades / Total de montaje realizado * 100*	Especialista de Campo de la nueva tecnología.

Fuente: Elaboración propia.

Los indicadores propuestos se establecen con el propósito de generar una estructura de control que garantice la sostenibilidad de la metodología Lean en el largo plazo, transformando los datos operativos y las causas de los tiempos no productivos en métricas cuantificables, objetivas y auditables que faciliten la mejora continua del proceso. De esta manera, servir como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones basada en datos, permitiendo evaluar el cumplimiento de las metas, detectar desviaciones oportunamente y definir acciones correctivas que contribuyan al incremento de la eficiencia operativa, la productividad del servicio de intervención en pozo.

10. DISCUSIÓN

El análisis integral de los resultados obtenidos demuestra que la problemática de los tiempos no productivos en los servicios de la empresa Halliburton, puede ser abordada desde la integración de nueva tecnología. Por medio de las herramientas Lean como el SIPOC, el Mapa de Flujo de Valor, diagrama de Pareto y diagrama de Ishikawa, permitieron identificar, caracterizar y analizar las principales fuentes de desperdicio presentes en el proceso convencional de Slickline y Wireline. Los resultados evidenciaron que aproximadamente el 82 % de las ineficiencias se concentran principalmente en factores operativos como los cambios de unidad y las pruebas extensas. Este tipo de características que no agregan valor al servicio de intervención en pozo, es validado por quienes argumentan que las ineficiencias en sectores industriales generan sobrecostos severos que solo pueden ser contrarrestados mediante la estandarización y la eliminación sistemática de actividades que no añaden valor (Valencia et al, 2025).

Por otra parte, el contraste del flujo convencional representado en el mapa de flujo de valor, respecto a la propuesta de la integración del nuevo servicio, evidencia que las herramientas de diagnóstico Lean permiten identificar cuellos de botella presentes en el flujo del servicio. Logrando obtener un beneficio a partir de la aplicación de la metodología, la cual, coincide con lo planteado ya, que confirma la efectividad de este tipo de herramientas Lean para rediseñar flujos de trabajo e incrementar la productividad en los servicios (Sarria Yépez et al, 2017).

De igual manera, la aplicación de la metodología Lean en el sector de hidrocarburos proporciona herramientas de optimización que se ven reflejadas en el flujo de trabajo y reducción de los tiempos no productivos asociados a las intervenciones en pozo. Sin

embargo, persisten restricciones físicas y tecnológicas inherentes a los métodos convencionales de Slickline, tales como la necesidad de utilizar múltiples unidades de intervención, realizar cambios de equipos, ejecutar pruebas operativas repetitivas y efectuar actividades de instalación y desmontaje, las cuales limitan el potencial de mejora alcanzable únicamente mediante herramientas de gestión. En este contexto, la integración de tecnologías como Digital Slickline permite superar parte de estas limitaciones, reduciendo los tiempos de preparación, minimizando las movilizaciones de equipos y mejorando la eficiencia del proceso de intervención (Boza, 2024).

De esta manera, se puede evidenciar que la metodología Lean se aplicada bajo el marco de gestión para estructurar el despliegue de la tecnología Digital Slickline exige la adopción de tecnologías que disminuyan drásticamente los tiempos de espera logísticos y operativos, haciendo indispensable que la ingeniería industrial fusione la filosofía de mejora continua con la transformación digital de los activos en campo (Santamaría y Vizcaíno, 2021).

Finalmente, se observan ventajas operativas contundentes en beneficios como la unificación de funciones mecánicas y eléctricas en un solo monocable tipo combo, lo que elimina físicamente la necesidad de realizar dobles movilizaciones y cambios de unidad de Wireline a Slickline, reduciendo el tiempo de procesamiento general en un 61 %, este impacto positivo es respaldado por los hallazgos de estudios, como comparativo de cincuenta intervenciones demostraron que la tecnología Digital Slickline reduce los tiempos no productivos (Kumar et al, 2025).

Por lo tanto, la metodología propuesta se consolida como un modelo de referencia viable y de alto rigor técnico para guiar la inminente adopción de la tecnología Digital

Slickline en el cuarto trimestre de 2026, transformando la eficiencia de Halliburton en el mercado colombiano de hidrocarburos.

CONCLUSIONES

- Con el desarrollo del proyecto para la empresa Halliburton, se identifican las principales causas operacionales, asociadas a los tiempos no productivos en diferentes etapas del servicio, ocasionando demoras en las pruebas operativas, control de presión y las fallas logísticas de coordinación, estas cuatro características concentran aproximadamente 470 horas, representando cerca del 59 % del total acumulado, lo que las convierte en los factores de mayor impacto sobre la eficiencia operativa.
- La aplicación del mapa de flujo de valor del servicio actual evidenció que el servicio convencional refleja una operación con un tiempo total de procesamiento de 34 horas y requiriendo un despliegue de 12 operarios a lo largo de la cadena del servicio, encontrando en la propuesta del plan de mejora, se rediseño del mapa de flujo de valor, integrando la tecnología Digital Slickline, a como un mecanismo tecnológico que permite disminuir los tiempos improductivos en un 61%, pasando de 34 horas de proceso a 13 horas de procesamiento, con la nueva propuesta, también se evidencia una optimización del recurso humano al disminuir capacidad del personal en pozo a 5 operarios, requiriendo un solo operario calificado por etapa, de esta manera, la nueva tecnología combina las tareas de Slickline y Wireline en una solo proceso, logrando minimizar los efectos que no agregan valor, reflejado en tiempos más bajos de operación del servicio.
- Por medio de los indicadores de desempeño propuestos en el plan, se puede establecer mecanismos de control y seguimiento orientados en evaluar su comportamiento, a partir de métricas que le permitan a la empresa, asegurar la sostenibilidad operativa de la propuesta con la tecnología Digital Slickline.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la empresa Halliburton realizar un despliegue simulado de la capacidad de la tecnología propuesta Digital Slickline, lo cual, permite pasar de manera transitoria hacia la propuesta con el nuevo servicio de operaciones unificadas, logrando auditar en campo su reducción del tiempo total de procesamiento, antes de su formalización en el portafolio de servicios.
- Se sugiere ajustar de forma progresiva los procedimientos de la nueva tecnología propuesta Digital Slickline, identificando por medio de una curva de aprendizaje, los recursos y métodos necesarios para el personal técnico antes de su uso, conforme a los objetivos y necesidades particulares de la empresa.
- Se propone fortalecer la cultura de mejora continua mediante la realización periódica de capacitación del personal involucrado en las operaciones de fondo de pozo, con ello, sin dejar de realizar el análisis preventivo de fallas para la gestión eficiente de los nuevos requerimientos de trabajo para un operario por cada etapa.
- Se recomienda implementar mecanismos permanentes de seguimiento y control basados en indicadores de desempeño propuesto, así como de las herramientas tecnológicas, como el tablero de control propuesto en Power BI, lo cual, permite obtener un panorama amplio de los tiempos improductivos, para la toma de decisiones gerenciales, como mecanismo de mejora continua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference (ADIPEC). (2023). https://onepetro.org/SPEADIP/proceedings-abstract/25ADIP/25ADIP/D031S109R007/793226

Aceros García, S., & Sarmiento Moncaleano, J. C. (2017). *Diseño de un módulo de selección de conectividad para el manual general de completamiento de pozos de Ecopetrol S.A.* Fundación Universidad de América. https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/35a2f9ff-8667-47a9-b4c5-b30186bb74fb/content

Alghamdi, A., Yateem, R., Rajeh, R., & Kadem, M. (2018). Real-time slickline production logging: Technology review. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference (ADIPEC). https://onepetro.org/SPEADIP/proceedings-abstract/18ADIP/18ADIP/D032S190R001/213051

Ayala Trujillo, D. R., & Torres Quitiguiña, H. F. (2016). *Análisis técnico económico del tiempo no productivo (NPT) en las operaciones de perforación del campo Oso* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/14092/1/CD-6751.pdf

Boza Carriel, Á. M. (2024). *Estimación de tiempos no productivos en la perforación de pozos direccionales: Caso de estudio Campo Tiputini* (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral. https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/63181/1/T-114790%20INGE-2444%20%20%20%c3%81ngel%20Boza.pdf

Bringas Fernandez, B. J., & Carrion Reyes, M. P. (2023). *Modelo de mejora para aumentar la eficiencia en la producción de reguladores de baja presión domésticos mediante el uso conjunto de herramientas Lean en una PYME metalmecánica*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b8d3d1b9-d42f-5a71-b262-05ff8b57a364/content

Catalán, J. P., & Aparisi, M. G. (2019). Análisis de causa raíz: Técnicas y relación con los sistemas de gestión y las no conformidades. *3C Tecnología: Glosas de Innovación Aplicadas a la Pyme, 8*(2), 84–97.

García Nuncira, J. R. (2017). *Metodología de gestión de proyectos basada en los principios y herramientas de la filosofía Lean, para ser aplicada en proyectos del sector petrolero y de infraestructura industrial en general*. Universidad Externado de Colombia. https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/94528e62-8eff-4586-8e0a-8cda5565213e/content

Garzón Cano, J. S. (2017). *Plan de negocio para nueva línea de servicios de Slickline en System Integral Group S.A.S.*

Gallach, F. S., Soler, V. G., Molina, A. I. P., & Bernabeu, E. P. (2020). *Diagrama de pareto y lean manufacturing.* APLICADA 2020, 19.

George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). The lean six sigma pocket toolbook. McGraw-Hill.

Guerrero Villanueva, A. J., & Williams Belleza, A. G. (2024). *Implementación de Six Sigma y ECRS para reducir los tiempos elevados en la gestión del proceso de seguridad en empresas del sector hidrocarburos*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/server/api/core/bitstreams/18ceaf33-be2f-579a-9603-8c63c633761c/content

Halliburton. (2025). *About Halliburton: Leading energy services and solutions since 1919*. https://www.halliburton.com/en/about-us

Heaney, F., Powell, B. D., MacKay, G. S., & Mlcak, M. C. (2023). Electro-mechanical pipe cutting deployed on digital slickline. SPE/ICoTA Well Intervention Conference and Exhibition. https://onepetro.org/SPECTWI/proceedings-abstract/23CTWI/23CTWI/D021S006R001/517726

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2.ª ed.). McGraw-Hill.

Huertas Zambrano, C. E., & Puerto Méndez, S. (2025). *Evaluación de la reducción de los tiempos no productivos en operaciones de perforación en pozos profundos en un clúster ubicado en el Campo Castilla bajo el modelo predictivo Random Forest y XGBoost*. Fundación Universidad de América. https://repository.uamerica.edu.co/items/f060e577-a84c-472b-b874-6fc070bb0b42

Kumar, A., Bukahmseen, R., Ben Moussa, L., & Mamu, I. P. (2025). Enhanced well intervention efficiency using digital slickline: A comparative study between digital and conventional slickline operations.

Lara Huarcaya, J. V., & Reyna Espinoza, J. A. (2024). *Método Six Sigma en la determinación de tiempos improductivos durante el proceso de perforación de una empresa contratista minera Rio Chincha*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/server/api/core/bitstreams/fcf85cd1-e580-5b83-aace-0bde4d5d085e/content

Martínez Aumala, M. F., & Valdivieso Piguave, R. A. (2022). *Propuesta de reducción de reprocesos y tiempos improductivos para el incremento de la productividad de las líneas de pelado en una procesadora de camarones de la ciudad de Durán* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica Salesiana. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22570/1/UPS%20GT003727.pdf

Mescua, J. E. F. (2023). *Aplicación de Lean Six Sigma para aumentar la productividad del proceso de destilado al vacío en una empresa petrolera, 2023*. Universidad Privada del Norte. https://repositorio.upn.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/7da0a32c-1caa-4283-bd72-e0d8455f787d/content

Morales, N. V., & Castañeda, C. C. (2023). Metodología Value Stream Mapping (VSM) aplicada a procesos de perforación de pozos petroleros en México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7*(5), 8741–8753.

Moscol La Rosa, G. A., & Huaman Lorenzo, L. M. (2023). *Reducción del tiempo de elaboración de pedidos mediante la integración de Value Stream Mapping, Standardized Work y pronósticos en el restaurante Santa Vaca en el distrito de Huacho*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/entities/publication/84c68b28-4213-5d28-95c5-9810ee5515ab

Quijada, J. A. B. (2019). *Origen del Lean Manufacturing*. Editorial Elearning, S.L. https://books.google.com.co/books?id=vMflDwAAQBAJ

Reporte anual de Halliburton, 2025). *Form 10-K (NYSE: HAL)*. https://stocklight.com/stocks/us/nyse-hal/halliburton/annual-reports/nyse-hal-2025-10K-25614369.pdf

Rodríguez-Palma, L. Y., Petriz-Prieto, M. A., Castro-Baeza, J., & García, E. M. V. (2026). Optimización de procesos operativos mediante PERT para la mejora en eficiencia y reducción de costos en servicios petroleros. *Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad, 5*(1), 47–52. https://aldeser.org/journals/index.php/TERYS/article/view/628/525

Rojas Murcia, O. M. (2014). *Práctica empresarial mantenimiento electrónico (Wireline Operations) Halliburton Latin America S.A.* Universidad Pontificia Bolivariana. https://repository.upb.edu.co/server/api/core/bitstreams/c2cf4034-0474-4f9c-b81a-83fab5bc78a4/content

Salinas, I. L. (2014). *El petróleo en Colombia: Una nueva tecnología de exploración de hidrocarburos, Oil and Gas Finder Technology*. Universidad Jorge Tadeo Lozano. http://hdl.handle.net/11349/7101

Santamaría Franco, E. A., & Vizcaíno Rodríguez, D. A. (2021). *Evaluación de indicadores de desempeño en las etapas de perforación y completamiento de pozos horizontales en campo Quifa y la implementación de un plan de optimización en los tiempos de operación*. Fundación Universidad de América. https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/a346b649-1208-4737-8227-e3bac8591ac8/content

Sarria Yépez, M. P., Fonseca Villamarín, G. A., & Bocanegra-Herrera, C. C. (2017). Modelo metodológico de implementación de Lean Manufacturing. *Revista EAN*, (83), 51–71. http://www.scielo.org.co/pdf/ean/n83/0120-8160-ean-83-00051.pdf

Socconini, L. (2019). *Lean manufacturing: Paso a paso*. Marge Books.

Tabares Rodríguez, N. (2022). *Rediseño del sistema de operaciones para la optimización del mantenimiento de herramientas de perforación en una empresa de servicios*

petroleros. Fundación Universidad de América. https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/00936631-f667-4621-85b1-6e1cffd5d6fe/content

Trujillo Rivera, A., & Huerta Arellanos, J. F. (2023). *Propuesta de mejora en el control de inventario en el área de bodega en una empresa de hidrocarburos mediante la sinergia del uso de herramientas Lean*. Pontificia Universidad Católica del Perú. https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f0e3b805-92a7-4a0a-a658-0b4b92a1978c/content

Vacacela Galarza, M. A. (2024). *Aplicación de metodología Lean Six Sigma en los procesos de manufactura de partes de equipo petrolero en la empresa SERTECPET S.A. para la mejora productiva*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. https://dspace.espoch.edu.ec/items/f3e28531-ccbe-4271-a00a-a60bdefbc3c3

Valencia Jarama, J. L., Gutiérrez Canchasto, G. A., & Flores Marchán, V. M. (2025). Lean Manufacturing en el mejoramiento continuo de la productividad. *Revista InveCom, 5*(2). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2739-00632025000202105

Zapata, J. D. S., & Dassaev, J. (2020). *Aplicación de herramientas Lean y DMAIC para mejoras en el segmento Drilling and Measurements de Schlumberger del Perú S.A.* https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/d7ce80d0-4f5e-4240-9e19-5caa722ac649/content