

## ACIPET

# Estrategia de completamiento garantizando HSE, eficiencia de costos, tiempo y reducción de CO<sub>2</sub>.

E. Mora, Ecopetrol. R. Romero, Ecopetrol. G. Acosta, Ecopetrol. C. Hernandez, Ecopetrol. K. Flórez, Ecopetrol

Categoría: Marque con una "X"

- Artículo Técnico
- Tesis Pregrado
- Tesis Posgrado

Derechos de Autor 2022, ACIPET

Este artículo técnico fue preparado para presentación en el XIX Congreso Regional Colombiano de Petróleo, Gas y Energía organizado por ACIPET en Cartagena, Colombia.  
Este artículo fue seleccionado para presentación por el comité técnico de ACIPET, basado en información contenida en un resumen enviado por el autor(es).

## Resumen

El proyecto DLP 1 para la perforación y completamiento de 70 pozos en el campo Llanito, fue planeado utilizando localizaciones existentes y construcción de nuevas localizaciones. En cada localización se perforaban de 3 a 12 pozos, obligando a buscar oportunidades de optimización del completamiento con diferentes equipos y tecnologías, con el objetivo de minimizar los tiempos entre la finalización de perforación e inicio del completamiento, así como de los tiempos de conexionado para inicio de producción, siempre bajo la estrategia corporativa de Ecopetrol: cero incidentes HSE, estricta disciplina de capital, protección de la caja y compromiso con reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>

Con el fin de suplir los retos anteriormente mencionados, se planearon trabajos simultáneos, donde sinergia entre las disciplinas de producción, construcción, perforación y completamiento fue fundamental, logrando la implementación de operaciones Rigless en la fase de completamiento, logrando realizar en pozos de la misma localización operaciones de limpieza del revestimiento con unidad de coiled tubing, toma de registros eléctricos y operaciones de cañoneo rigless, bajadas de sartas de inyección o producción con unidades RSU (Rapid Service Unit por sus siglas en inglés), mientras el equipo de workover completaba otro pozo.

Adicional a lo anterior se implementaron diferentes tecnologías y optimizaciones, tales como cañoneo en tándem, especial y/o selectivo lo cual disminuye el tiempo operativo y la toma de registros de caracterización del yacimientos, actividad inicialmente planeada durante la perforación en hueco abierto pero al ser realizada durante el completamiento en hueco revestido, se optimizaron los costos y tiempos del rig de perforación y disminución del riesgo de pega se sonda.

La ejecución de la estrategia generó la reducción del 22% en los tiempos entre la finalización de perforación e inicio del completamiento, la disminución del 3% en los costos de completamiento, y reducción en la huella de carbono en 926 Ton de CO<sub>2</sub>.

## Introducción

En línea con la estrategia corporativa de Ecopetrol: cero incidentes HSE, estricta disciplina de capital, protección de la caja y compromiso con reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, durante la planeación del proyecto DLP módulo 1, en la fase de completamiento se enfatizó en la optimización de tiempos y costos, buscando disminuir el inicio de producción de los pozos.

Históricamente en el campo se utilizó equipo de workover como equipo para el completamiento convencional, el cual limita las operaciones simultáneas en una misma localización de perforación y completamiento en la misma localización, generando dos retos importantes:

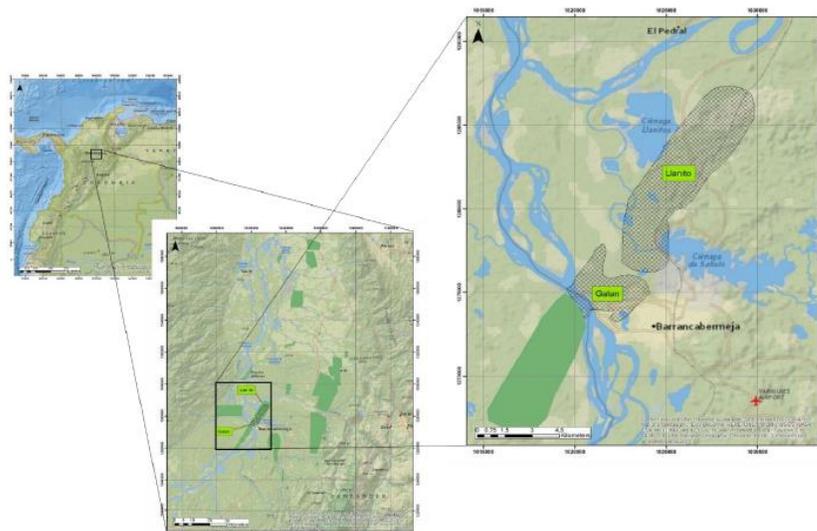
- ✓ Tiempos largos entre la finalización de perforación y el inicio del completamiento.
- ✓ Mayores tiempos en el conexionado para inicio de producción.

De acuerdo con lo anterior, se plantea la ejecución con operaciones simultáneas entre las disciplinas de producción, construcción, perforación, y completamiento, por medio de implementación de tecnologías, unidades Rigless y RSU's en esta última fase.

### Generalidades del campo Llanito.

El Activo Llanito se encuentra ubicado en la cuenca del Valle Medio del Magdalena, en el departamento de Santander, en jurisdicción del Municipio de Barrancabermeja, corregimiento El Llanito y contempla los campos Llanito, Gala, Galán, Cardales y San Silvestre, ver figura 1.

Este proyecto representa la oportunidad de incrementar producción en 5300 BOPD @ 2023 y producir un total de 22.2 Mbls de Petróleo (+ 2 % FR), con un grado API de 20 a 22.



**Figura 1.** Ubicación del campo Llanito.

**Fuente.** Requerimientos mínimos de subsuelo elaborado por el área de yacimientos.

En el proyecto Llanito se buscó establecer las oportunidades para optimizar tiempos entre la finalización de perforación y el inicio del completamiento y tiempos en el conexionado para inicio de producción, por lo que se evaluaron las actividades de completamiento con diferentes equipos y tecnologías.

### Actividades de completamiento.

Las actividades de completamiento realizadas se mencionan a continuación:

**Limpieza de revestimiento y cambio a fluido de completamiento.** Se realiza con el fin de proveer y validar la adecuada limpieza de la cara interna del pozo y del fluido de completamiento, ver figura 2 esquema 1, evitando que:

- Los empaques no sean sentados apropiadamente.
- Se presente obstrucción de herramientas y equipos que deban estar en el fondo de pozo, causando problemas y resultando en tiempo no productivo.
- Residuos que puedan evitar el correcto funcionamiento de válvulas, equipos de levantamiento artificial y bombas de fondo de pozo, causando daño a la formación del yacimiento.
- Residuos existentes dentro del pozo que puedan reducir efectivamente la producción / inyección de la zona de interés.





**Operaciones simultaneas.** Se hace referencia al desarrollo en las intervenciones con múltiples pozos, en las que se accede a más de un pozo, como sucede cuando un equipo de perforación, Work Over, una unidad de tubería flexible – Coiled tubing, unidad de wire line y/o RSU operan al mismo tiempo en una localización, ver figuras 4 y 5. Para obtener éxito en las operaciones simultáneas se enfatizó en las siguientes premisas:

- Adecuada planeación entre todas las áreas involucradas, tales como: perforación, unidades rig less de completamiento, construcción y producción.
- Trabajo en equipo.
- Comunicación efectiva.
- Sinergia entre las áreas involucradas.
- Disciplina operativa.
- Operación segura.



**Figura 4.** Unidad de wire line, Coiled tubing y equipo de workover.

**Fuente.** Operaciones simultaneas, Campo Llanito.



**Figura 5.** Equipo de Work Over y RSU.

**Fuente.** Operaciones simultaneas, Campo Llanito.

**Implementación de tecnologías.** Con el fin de optimizar y disminuir tiempos y costos durante las operaciones de completamiento, se buscó la implementación de las siguientes tecnologías:

**Cañoneo.** A continuación, se describen las tecnologías que permitieron optimizar tiempos de ejecución:

- Cañoneo en tándem: Unión de dos cañones, corridos al mismo tiempo, lo que permite optimizar una corrida de cañón independiente.
- Cañoneo especial: Cuando dos intervalos a cañonear se encuentran lo suficientemente cercanos y la suma entre los intervalos y el espaciamiento no supera la máxima longitud de carga (21 ft), se realiza el cañoneo de los dos intervalos en la misma corrida.
- Cañoneo selectivo con diodos: Por medio de diodos, ubicados en la mitad de dos pistolas (cada pistola representa un intervalo a cañonear no mayor a 21 pies), se realiza la corrida de los dos cañones y se detona primero el intervalo inferior evitando riesgos operativos.

**Registros en hueco revestido para caracterización del yacimiento “Espectroscopia”.** El registro de espectroscopia puede proveer respuesta a las necesidades e incertidumbres de la siguiente manera:

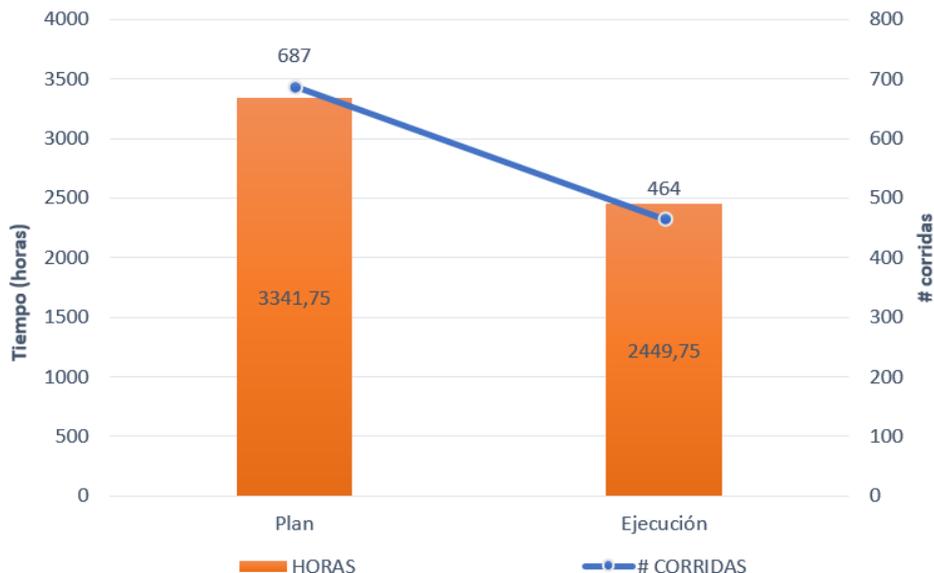
- Caracterización litológica con hasta 22 elementos (clara diferenciación de arenas y arcillas).
- Provee un modelo de saturación de aceite independiente de la resistividad y salinidad.

Con este registro se definen los intervalos a ser cañoneados, donde la estrategia es eliminar el registro en la fase de perforación en hueco abierto e incluirlo en las operaciones de completamiento en hueco revestido, teniendo como beneficio principal la reducción de riesgo por pega de sonda de registros en hueco abierto durante la perforación y la disminución del costo del equipo de perforación. Es importante mencionar que la definición de los intervalos objetivo se retrasa en comparación con la toma de registros en hueco abierto.

### Resultados de la estrategia implementada.

**Beneficios fase de completamiento.** Mediante la implementación de tecnologías de cañoneo y operaciones simultaneas, se obtuvieron los siguientes beneficios:

**Cañoneo.** Con la implementación de las tecnologías descritas anteriormente, se logra reducir en un 32% el número de corridas durante la operación de cañoneo, lo que corresponde a la disminución de 37 días operativos para el proyecto, de los cuales 14 días fueron con equipo de WO y 23 días Rigless, con un ahorro en costos de 201.100,42 USD. Ver figura 6.

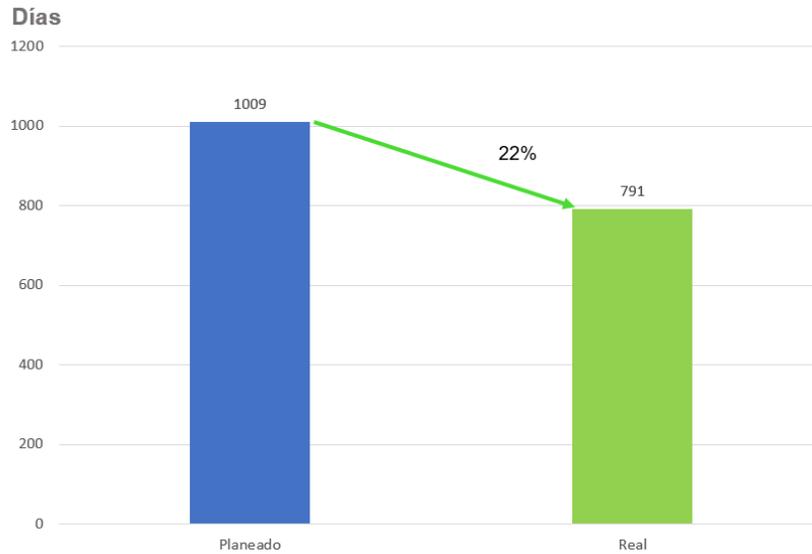


**Figura 6.** Beneficio implementación tecnologías de cañoneo

**Fuente.** Elaboración propia.

**Operaciones simultaneas.** Con la estrategia implementada, se tienen los siguientes logros, Ver figura 7:

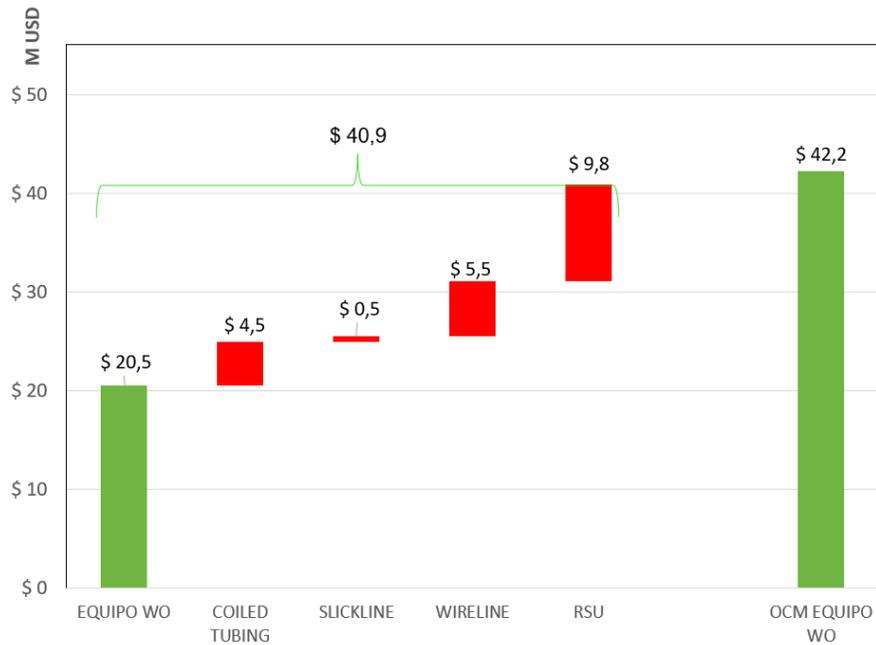
- Reducción de 22% en los tiempos de inicio de las operaciones de completamiento luego de finalizar la perforación en cluster con más de 4 pozos.
- Disminución en promedio de 3%, correspondiente a 1'010.000 \$USD en los costos de completamiento debido a operaciones rig less.



**Figura 7.** Beneficio implementación operaciones simultaneas

**Fuente.** Elaboración propia.

**Beneficio económico.** Por medio de la implementación de las estrategias de cañoneo y operaciones simultaneas se obtuvo una reducción en costo de campaña con estrategia en 1,26 MUSD, ver figura 8.



**Figura 8.** Beneficio económico con implementación operaciones simultaneas y tecnologías de cañoneo

**Fuente.** Elaboración propia.

Se realizó una comparación entre las diferentes formas que se tienen para completar un pozo, las cuales son:

- Completar el pozo con equipo de perforación posterior a la misma.
- Completar el pozo con equipo de completamiento, luego de la salida del equipo de perforación (en cluster con más de 5 pozos es posible realizar operaciones simultaneas).
- Completar el pozo con la estrategia de operaciones simultaneas y tecnologías implementadas de cañoneo.

De acuerdo con lo anterior, se encontró que, con la implementación de la estrategia descrita, se completan más pozos por año, 15% adicional en comparación con equipo de Work Over y solo un incremento en 2.6 millones de dólares por año en la campaña. Si lo comparamos con completar con el equipo de perforación, se completarían 11 pozos menos, con aproximadamente el mismo valor por año en la campaña. Ver tabla 1.

Nota: Para el ejercicio realizado de completar con el equipo de workover y perforación, se toma como base el tiempo real ejecutado y se realiza el calculo del costo de la tarifa adicional por cambio de equipo.

Completamiento con equipo de:	No. de pozos por año	Costo campaña por año (MUSD)
Perforación	33	25
Work Over	38	22
Estrategia implementada	44	24,6

**Tabla 1.** Comparación métodos de completamiento  
**Fuente.** Elaboración propia.

**Beneficio económico para el proyecto.**

**Registro de espectroscopia.** Con la toma de este registro en hueco revestido en 32 pozos, se obtiene una disminución para el proyecto, relacionada con el costo del rig de perforación, la cual se muestra a continuación:

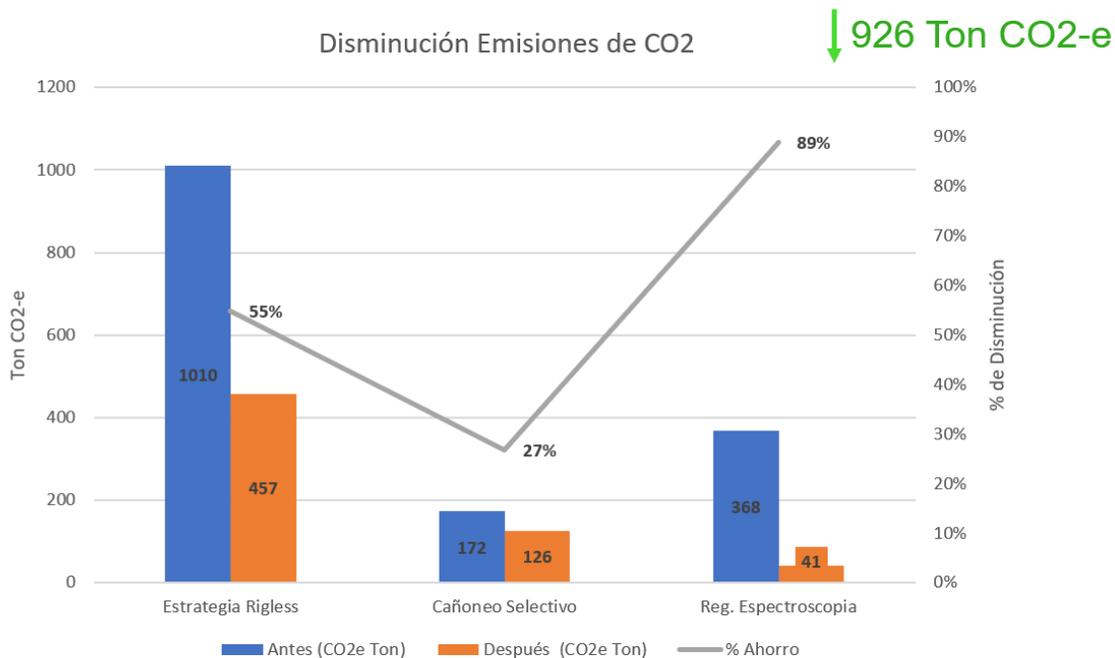


**Figura 9.** Beneficio económico con toma de registro para caracterización del yacimiento durante el completamiento.  
**Fuente.** Elaboración propia.

## Beneficio reducción de emisiones de huella de CO<sub>2</sub>.

**Descarbonización:** De acuerdo con la estrategia implementadas durante el completamiento, se obtuvo un total de disminución de la huella de carbono de 926 Ton CO<sub>2</sub>-e, correspondiente a un 60%, ver figura 10, las cuales se describen a continuación:

- Estrategia Rig less: La huella de carbono estimada con operaciones de Work Over es de 1010 Ton de CO<sub>2</sub>, en comparación con 457 Ton CO<sub>2</sub> con operaciones Rig Less, lo que corresponde a la reducción de 553 Ton CO<sub>2</sub>, debido a que las unidades RigLess tienen un menor consumo de combustible.
- Estrategia cañoneo: La huella de carbono estimada con operaciones de cañoneo convencional es de 172 Ton de CO<sub>2</sub>, en comparación con 126 Ton CO<sub>2</sub> con tecnologías de cañoneo implementadas, lo que corresponde a la reducción de 46 Ton CO<sub>2</sub>, debido a la disminución en tiempo operativos.
- Registro de espectroscopia: La huella de carbono estimada para la toma del registro con el equipo de perforación es de 368 Ton de CO<sub>2</sub>, en comparación con 41 Ton CO<sub>2</sub> tomado durante la fase de completamiento, lo que corresponde a la reducción de 327 Ton CO<sub>2</sub>, debido a que los equipos de completamiento tienen un menor consumo de combustible.



**Figura 10.** Disminución emisiones de CO<sub>2</sub> con estrategia implementada.

**Fuente.** Elaboración propia.

## Ciclo de vida de un pozo durante las operaciones de P&C.

En la figura 10, se puede visualizar la disminución en tiempos debido a la implementación de las diferentes estrategias en las operaciones de completamiento de 55 a 45 días en promedio por pozo, con las siguientes consideraciones:

- Reducción en aproximadamente un día en la fase de perforación debido a toma de registros de espectroscopia en hueco revestido durante el completamiento.
- El tiempo de espera entre finalización de perforación e inicio de completamiento se reduce de 35 a 27 días, por implementación de estrategia como operaciones simultaneas y rigless.
- La limpieza - WBCO con equipo de work over se planeó hacer con motor de fondo y tubing de producción. El WBCO rig less se realiza con unidad de Coiled tubing (de 1,75 y 2 in ID), lo que incrementa el tiempo de ejecución en un día.
- La toma de registros eléctricos se mantiene en tiempo, sin embargo, se ahorra el costo del equipo de WO al hacerlo rig less.
- Se reduce el tiempo del cañoneo, implementando operaciones de cañoneos selectivos, especial y tándem.

- La corrida del SLA es menor con equipo de WO, debido a que la tubería ya se encuentra parada, mientras que en rigless se debe mover el equipo de WO/ RSU y se debe parar tubo a tubo.

### Planeado con equipo de WO:



### Ejecutado con estrategia operaciones rigless y simultaneas:



\*Valores promedio.

**Figura 11.** Ciclo de vida de un pozo en las operaciones de P&C.  
**Fuente.** Elaboración propia.

### Logros obtenidos con la estrategia de completamiento.

La estrategia implementada de operaciones simultaneas y tecnologías de cañoneo permitió reducir el tiempo promedio de ejecución por pozo en 10 días. En donde los puntos clave son: operaciones simultaneas logrando optimizar los tiempos de inicio de las operaciones de completamiento luego de finalizar la perforación en cluster con más de 4 pozos en 218 días (22%) de ahorro para la campaña. Y tecnologías en cañoneo con reducción en 9.3 día (223 horas) para la campaña, aportando al cumplimiento corporativo relacionada con la entrega temprana de pozos a producción.

Se obtuvo una disminución en 1'260.000 \$USD, correspondiente al 3% en los costos de completamiento para la campaña, debido a operaciones rig less y a la implementación de tecnologías de cañoneo. Para el proyecto se generó un ahorro de 568.224 \$USD adicional con el traspaso de la toma de registros de caracterización del yacimiento de la fase de perforación a completamiento en 32 pozos. Con lo anterior, el total de beneficio económico para el proyecto es de 1'828.224 \$USD.

Aportó a la reducción en la huella de carbono en 926 Ton CO2-e, correspondiente a un 60% debido a la utilización de equipos con menor consumo de combustible y reducción en tiempos operativos.

Cero incidentes en las operaciones de completamiento, bajo un entorno seguro de HSE, sinergia entre área, disciplina operativa, adecuada planeación y seguimiento a las operaciones, trabajo en equipo y comunicación efectiva.

### Conclusiones

- El uso de tecnologías implementadas en otras operaciones y campos permitió visualizar la estrategia para cumplir con el reto de optimización de tiempos, costos y producción temprana de los pozos en la campaña de perforación y completamiento para 70 pozos.
- En campañas donde se cuente con clúster con más de 4 pozos, es posible realizar operaciones simultaneas entre las diferentes áreas, obteniendo eficiencias mediante la buena planeación de cada operación, aseguramiento en la logística de equipos y personal, que permitan apalancar la estrategia corporativa de la compañía relacionada con la protección de la caja.

- Con el aprendizaje adquirido por medio de la implementación de la estrategia en completamiento en el proyecto Llanito, se está implementando en otros campos.
- Ecopetrol dentro de su estrategia corporativa, tiene el compromiso de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, es por ello que en cada operación se busca diferentes alternativas que ayuden a apalancarlas dicho compromiso.

### Reconocimientos y agradecimientos

- A las compañías de servicios que por su cooperación a la sinergia de operaciones simultaneas.
- A las diferentes disciplinas de Ecopetrol, como lo son Perforación, proyectos, producción y completamiento, por el buen trabajo en equipo y sinergia durante las operaciones simultaneas.

### Bibliografía

**P&C:** Perforación y completamiento.

**FR:** Factor de recobro.

Cañoneo: proceso de crear abertura a través de la tubería de revestimiento y el cemento, para establecer comunicación entre el pozo y las formaciones seleccionadas. Las herramientas para hacer este trabajo se llaman cañones.

**RSU:** Rig Service Unit.

**Rigless:** Operaciones de intervención de pozo realizada con equipos y facilidades de soporte, que no requieren equipo de WorkOver o de perforación. Coiled Tubing, Wire Line y RSU.

**Unidad de coiled tubing:** es una unidad autónoma, fácilmente transportable e hidráulica, que inyecta y recupera una tubería flexible y continua dentro del pozo.

**Unidad de Wireline:** Esta tecnología consiste en usar un cable para bajar equipos o dispositivos de medición a un pozo a efectos de intervenciones en el mismo y de evaluación del yacimiento.

**SLA:** Sistema de levantamiento artificial.

**Bombeo mecánico:** Método de producción de pozo, el cual su principal característica es la de utilizar una unidad de bombeo para transmitir movimiento a la bomba de subsuelo a través de una sarta de varillas y mediante la energía suministrada por un motor.

**Bombeo electro sumergible:** Es del tipo multietapa y el número de éstas depende de cada aplicación específica. Cada etapa está compuesta por un impulsor rotario y un difusor estacionario. El impulsor da al fluido energía cinética. El difusor cambia la energía cinética en energía potencial. Su función es proveer la energía adicional para levantar la producción esperada a superficie.

**Cluster:** Localización en la que se encuentran los pozos.

**HSE:** por las siglas en inglés, Health, Safety & Environment. En español, medio ambiente y seguridad y salud, lo que representa las principales funciones que los sistemas de gestión han popularizado.

**Diodo:** Componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido.

**WBCO:** Por sus siglas en ingles wellbore clean out, lo que corresponde a la limpieza de revestimiento interna.

**ID:** Diámetro interno.