

"OPTIMIZACIÓN EN LÍNEA DE LA OPERACIÓN: GENERACIÓN CONTINUA DE VALOR"

RESUMEN/ABSTRACT

El Oleoducto de Los Llanos Orientales (ODL) ha estado operativo durante 15 años sin interrupción, transportando crudo pesado desde el Campo Rubiales hasta las estaciones de recibo en Cusiana y Monterrey. Durante este período, se han desarrollado estrategias para optimizar la operación de manera segura, con el fin de minimizar el consumo energético y maximizar el cumplimiento de la nominación del transporte. Este estudio busca mostrar los antecedentes de ODL y la evolución de su operación, usando como herramientas, el análisis de datos y una revisión de su tecnología implementada, con el propósito de incrementar la eficiencia energética, mejorando la descarbonización de los procesos de las instalaciones, optimizar los costos operativos (OPEX) y maximizar el uso de los activos.

Keywords: Oleoductos; Transición energética; Eficiencia energética; Descarbonización; Optimización operaciones.

1. INTRODUCCIÓN

ODL inició sus operaciones en 2009, transportando crudo diluido desde el Campo Rubiales en el Meta hasta la estación de recepción en Monterrey, Casanare. Originalmente diseñado para bombear crudo diluido con una gravedad de 18°API o 300 centistokes (cSt) a 86°F, con una capacidad de transporte de 160,000 barriles por día (BPD), equivalente a aproximadamente 760 carrotanques, su éxito operativo impulsó la necesidad de aumentar la capacidad desde el Campo Rubiales. Para ello, se construyeron estaciones de rebombeo en Corocora y Jaguey, incrementando la capacidad a 340,000 BPD a 18°API, lo que representa el transporte del 25% de la producción nacional diaria (Oleoducto de los llanos orientales S.A., 2017). Actualmente ODL tiene una operación diferente a la diseñada, cuanta con más puntos de inyección, y una combinación de crudos de diferentes calidades, la cual hace que se opere a una viscosidad 4.5 veces mayor que en su diseño original, esto debido a la reducción del uso de diluyente del 17% al 4% del volumen, y la inclusión de crudos más pesados de diferentes clientes en la zona de influencia de ODL.

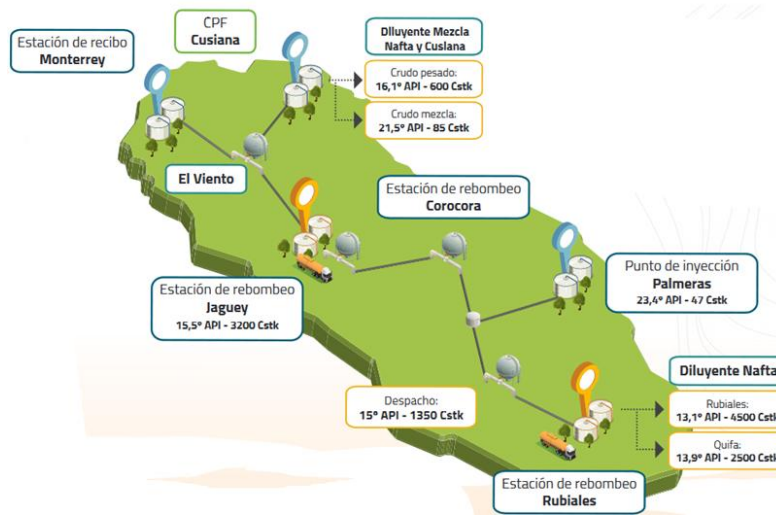


Figura 1. Esquema actual de ODL, donde se muestra la evolución en su operación pasando de 18°API a 15°API y el incremento de fuentes de recibo e inyección de crudos de diferentes calidades (Oleoducto de los llanos orientales S.A., 2020)

En respuesta a la evolución y optimización de sus operaciones, ODL ha implementado una serie de acciones para afrontar los cambios en el negocio, manteniendo un enfoque constante en la eficiencia energética, el aprovechamiento del uso de los activos y el impacto hacia la transición energética. Estas acciones han sido desplegadas en todos los niveles de la compañía, garantizando que toda la organización esté informada sobre la situación global y el compromiso nacional. Por ello, ODL ha realizado mejoras en sus procesos para reducir el consumo energético y, en consecuencia, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Acciones Estratégicas

- Diseño y construcción con equipos de alta eficiencia
- Transición de termo generación a SIN
- Planes estratégicos para la sostenibilidad

Acciones Tácticas

- Implementación y seguimiento de ISO 50001
- Optimización de escenarios operativos
- Planes de mantenimiento alineados a la estrategia energética

Acciones Operativas

- Implementación de controles operacionales y despliegues operativos
- Reducción de paradas y ajustes en rutas de flujo
- Rotación de equipos
- Rutina de herramientas de limpieza en el oleoducto
- Aprovechamiento térmico del oleoducto

Importancia estratégica

Desde el inicio como parte de los elementos de evaluación se encuentra que la construcción de un oleoducto es incrementar la seguridad ante derrames accidentales en el transporte de hidrocarburos, es 100 veces más seguro que transportar

hidrocarburos por carrotanques (Hopkins, 2007) y respecto a las emisiones de gases efecto invernadero puede llegar a ser 100 veces menor comparado con el transporte por carrotanque (Villegas Vallejo, 2016). El diseño del ODL se enfocó en lograr una alta eficiencia energética mediante el uso de equipos de alta eficiencia: motores eléctricos de ($\eta=0.96$), bombas centrifugas multietapa ($\eta=0.83$), y el uso de variadores de frecuencia para flexibilizar la velocidad de las bombas y por ende ajustar el caudal sin tener que controlar el flujo por manipulación de válvulas. Aunque la inversión inicial en estos equipos fue superior en comparación con tecnologías similares, los beneficios se manifestaron a largo plazo en términos ambientales.

Desafíos en etapas de ingeniería y operación

Durante los años de operación, el diseño, selección y configuración de equipos y sistemas, así como la dilución y dosificación de Agentes Reductores de Fricción (DRA) (Khlebnikova, Zlotnik, Sundar, Tasseff, & Bent, 2020), han permitido reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mejorar la eficiencia y mantener la sostenibilidad a pesar de los desafíos del mercado y las regulaciones nacionales. Se han identificado e implementado acciones que han favorecido la sostenibilidad a lo largo del tiempo, mejorando la eficiencia energética y permitiendo una transición energética responsable. Todo esto se alinea con el objetivo del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PAI-PROURE) con una proyección de reducir las emisiones en un 0.083% para 2030 para el sector hidrocarburos por las buenas prácticas, y cambio tecnológico (Unidad Planeación Minero Energética - UPME, 2022).

ODL ha desarrollado e implementado herramientas que garantizan la continuidad del negocio de manera responsable desde el punto de vista energético y ambiental. En este documento se presentarán las acciones implementadas y el estado actual de la operación del ODL en su camino hacia la transición energética.

Situación energética mundial y colombiana

Actualmente, se presenta el desafío de hacer una transición energética y descarbonizar los procesos industriales, el sector de transporte de hidrocarburos a nivel mundial tiene como reto el crecimiento del uso de energías renovables las cuales por la ubicación geográfica se destaca la energía eólica y la energía solar para lo cual se requieren hacer inversiones en infraestructura, y se suma al compromiso internacional del acuerdo de París y las regulaciones cada vez más estrictas sobre las emisiones de gases efecto invernadero.

Políticas y regulaciones y su impacto en la transición energética

Las regulaciones en Colombia para el sector de transporte están en proceso de actualización con miras en la inclusión de sistemas multifásicos, y por ende incrementar la operación de oleoductos con gas para mitigar los impactos de los gases efecto invernadero (GEI), por tal razón, y de acuerdo con el PAI-PROURE, para 2030 el objetivo es reducir el transporte de hidrocarburos por vías terrestres, y a su vez mejorar la eficiencia energética y la sustitución de las fuentes de energía por fuentes renovables. Por esta razón, ODL ha venido incorporando estrategias para cumplir con las regulaciones nacionales y a su vez siendo sostenibles a lo largo del tiempo.

2. METODOLOGÍA

A continuación, se presentan las acciones que ODL ha tomado a lo largo del tiempo y como se han superado los desafíos del mercado que han permitido realizar una

transición energética responsable y sostenible.

Etapa de Ingeniería y Construcción

Durante las etapas de ingeniería, se evaluaron diferentes configuraciones motor – bomba, buscando una alta eficiencia de los componentes, se seleccionaron motores eléctricos que pueden llegar a $\eta=0.98$ de eficiencia mientras que los motores de combustión lograrían eficiencias cercanas a $\eta=0.35$, con lo que se aseguró desde el diseño una eficiencia energética superior. De igual forma, la selección y bombas centrifugas multietapas que pueden lograr eficiencias hasta de $\eta=0.85$.

Comparados con los motores de combustión, los motores eléctricos son más costosos y el acceso a fuentes de energía (como la instalación de plantas de generación, el Sistema Interconectado Nacional u otras fuentes) no fue viable en áreas remotas de la geografía colombiana. En el sector, es común que los campos estén alejados de los centros urbanos y de la infraestructura eléctrica, por lo que se utilizaban motores de combustión para transportar crudo. A pesar de los mayores costos de inversión, ODL evaluó y optó por operaciones con mejor eficiencia energética, priorizando la sostenibilidad a largo plazo sobre los costos iniciales

Adicionalmente, los motores eléctricos también contaron con la ventaja del uso de variadores de frecuencia, lo cual es una de las tecnologías usadas para el incremento de la eficiencia energética (Mahinroosta, 2013). ODL es un oleoducto que opera a altas presiones (hasta de 1900 psig) lo cual requiere menos energía por barril transportado (Mahinroosta, 2013) lo que junto con variadores para controlar la velocidad y ajustar el volumen, maximizando así la eficiencia y cumpliendo con la nominación de transporte.

Agentes Reductores de Fricción - DRA

Un componente importante en la operación desde el inicio de ODL es la inyección de Agentes Reductores de Fricción (DRA por sus siglas en inglés), el cual se usa para mejorar la eficiencia de nuestro sistema corroborando que pueden ser efectivos en crudos pesados. El DRA, se usa para reducir la fricción entre el tubo y crudo reduciendo así la carga que debe generar la bomba para mover el crudo, lo que reduce la cantidad de energía necesaria para transportar un volumen definido o puede ser usado para incrementar la capacidad de transporte, se ha identificado que el DRA puede reducir en un 10% las emisiones de GEI (Nassereddine, Ka Kwok, Lu, & Nazrini, 2024).

Los beneficios por el uso de DRA para ODL ha sido la maximización de la eficiencia de las bombas, y más teniendo en cuenta que entre 2010 y 2016 ODL redujo la inyección de diluyente de 17% de volumen transportado al 4%, lo que cambió la viscosidad de 300 cSt a 1350 cSt, lo que impacta en el comportamiento de la viscosidad a lo largo del oleoducto, mayor factor de fricción y por ende impactó en la capacidad de las bombas, gracias a las buenas prácticas, análisis e inyección de DRA, ha permitido mantener un sistema eficiente con tendencia a la reducción de emisiones de GEI.

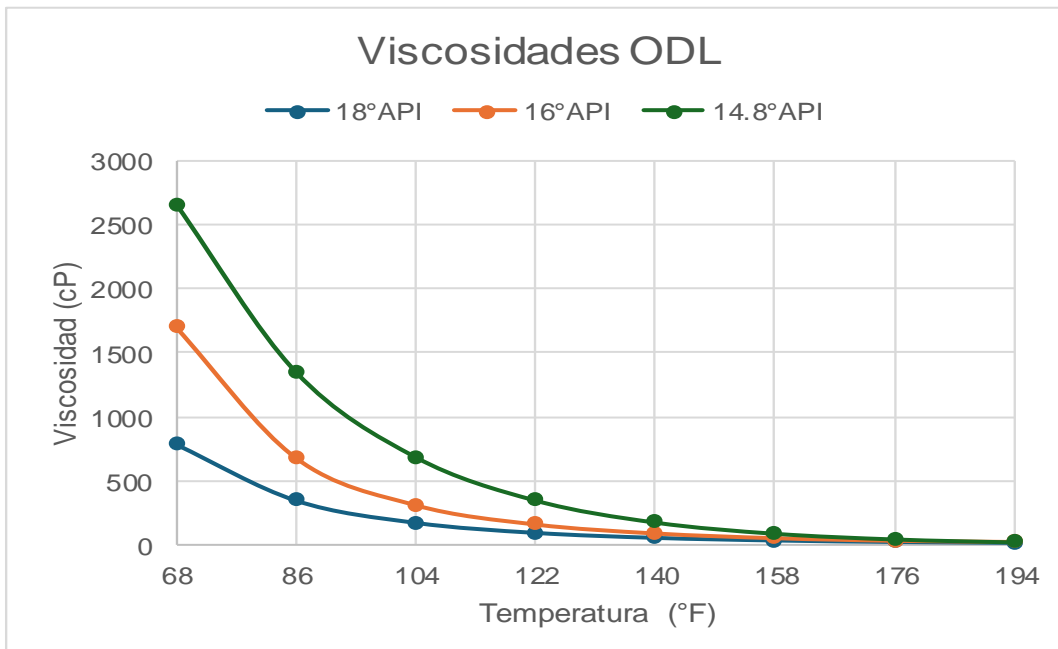


Figura 2. Comportamiento de la viscosidad en función de la temperatura. Se evidencia que un cambio en la viscosidad de referencia puede influir en la capacidad de las bombas y en el consumo energético. Fuente propia.

Aprovechamiento Térmico

Debido al crudo y las inyecciones al paso que se transporta por ODL, la temperatura del crudo disminuye a lo largo del oleoducto, y por lo cual hay un incremento en la viscosidad a lo largo de la línea, este comportamiento hace que ODL tenga en su operación una variación en los regímenes de flujo que influyen en el factor de fricción y por ende en el consumo energético.

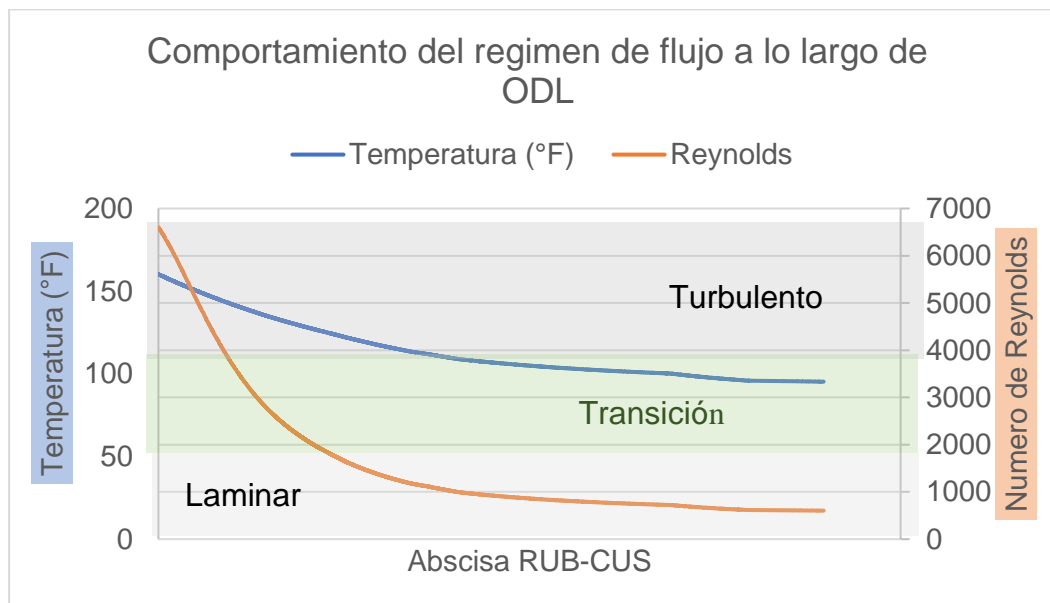


Figura 3. Comportamiento del número de Reynolds en función de la temperatura, y áreas en donde se presentan los diferentes regímenes de flujo. Fuente propia.

Debido al comportamiento de la viscosidad a lo largo del oleoducto, se han identificado factores que ayudan al mantenimiento y al incremento de la temperatura, con lo cual se

han establecido estrategias para el aprovechamiento térmico con miras reducir la viscosidad y por ende el factor de fricción en la línea, lo cual impacta positivamente en la reducción del consumo energético de las bombas (Dhanda & Jomeh, 2024). A continuación, se presentan las acciones encaminadas a mantener la temperatura.

- Recibir los crudos la mayor temperatura en el recibo por línea y carrotanques.
- Recubrimiento especial con aislamiento térmico en la pintura en tuberías y tanques.
- Minimizar el tiempo de permanencia del crudo en los tanques de almacenamiento.
- Minimizar tiempo de paradas programadas y mitigar riesgos de paradas no programadas.
- Aprovechamiento del incremento de temperatura del crudo al paso por bombas centrífugas.

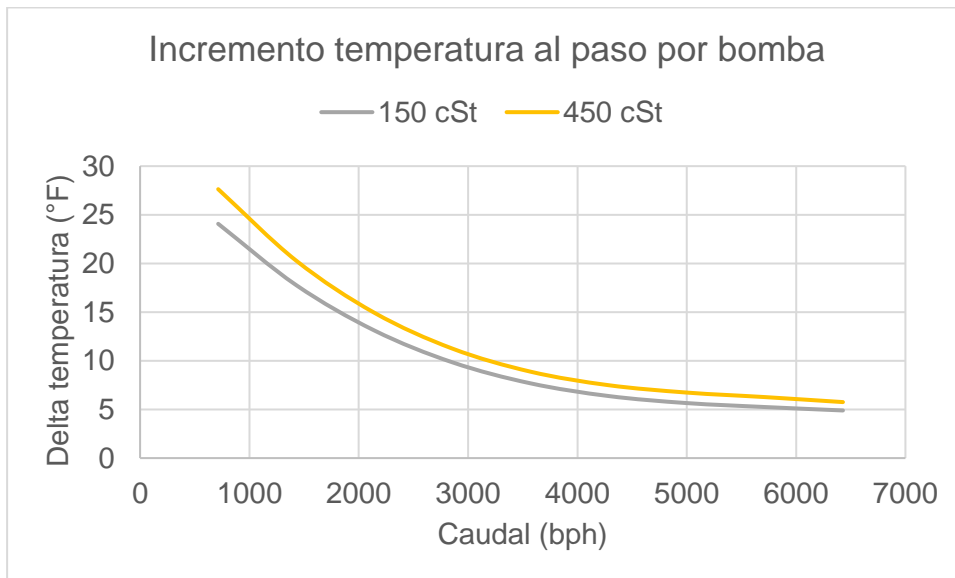


Figura 4. Incremento de la temperatura del crudo en función del caudal al paso por las bombas de ODL (Rubiales - 150 cSt y Jaguey 450 cSt), lo cual reduce la viscosidad mejorando el desempeño del oleoducto. Fuente propia.

Modelos computacionales

En 2011, se inició la construcción de modelos computacionales termo hidráulicos lo cual se inició la revisión del comportamiento hidráulico en función de analizar el comportamiento del oleoducto, y conocer al detalle el comportamiento del crudo pesado a lo largo del oleoducto. Los modelos computacionales, han sido una parte fundamental para identificar los riesgos, ventajas y proyectar los cambios ante las necesidades del mercado mediante modelos de optimización lineal, se pueden identificar mejoras en el ámbito económico y de procesos (Wang, Cheng, Zhao, Liao, & Zhang, 2022).

En la simulación de oleoductos, y en el caso particular de ODL, en donde la viscosidad y el gradiente de temperatura es elevado, esto influye en la pérdida de eficiencia y en la capacidad de transporte, es donde se evidencia la importancia del manejo de la temperatura para incrementar la eficiencia, reducir el consumo de energía e incrementar la capacidad de transporte (Velez Loaiza, 2020)

La simulación del oleoducto es una herramienta para soportar decisiones, pero también para optimizar su operación teniendo como función objetivo la minimización del consumo energético, aprovechamiento térmico, DRA y la configuración de bombas y estaciones

(Velez Loaiza, 2020), obteniendo reducción en la emisión de GEI y beneficios económicos asociados.

Transición de Termo generación a SIN

Un factor clave en la estrategia ha sido la decisión de reemplazar las plantas de termo generación como fuente primaria de energía y desarrollar la conexión al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Esta transición nos ha permitido utilizar energía más limpia y a un menor costo por kWh. Además de la ventaja económica, la reducción de emisiones ha sido significativa, pasando de una mezcla de diésel-crudo (820 gCO₂ eq) a la generación hidroeléctrica (24 gCO₂ eq) (National Renewable Energy Laboratory, 2021). Esta decisión ha contribuido de manera sustancial a la reducción del impacto ambiental y a la sostenibilidad de la empresa al reducir costos operativos.

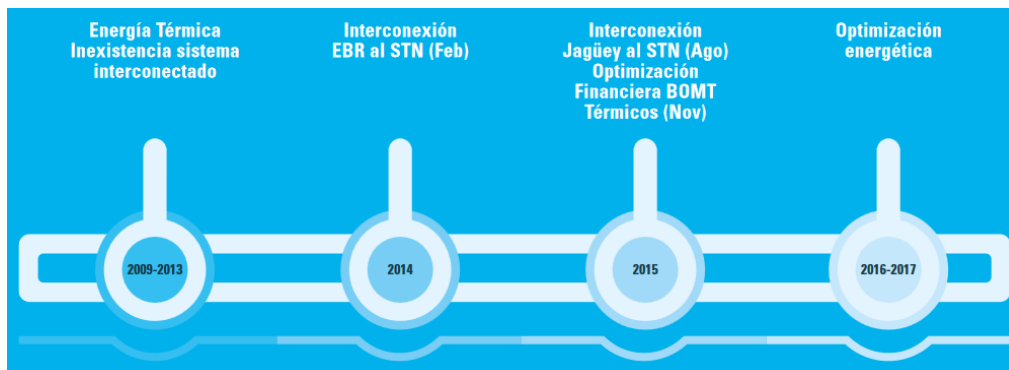


Figura 5. Evolución estratégica en la transición de termo generación al SIN (Oleoducto de los llanos orientales S.A., 2017).

Sistema de Gestión Energética – ISO50001

Desde 2020 ODL ha iniciado el proceso de tomar las practicas definidas en la norma ISO50001 “Sistemas de gestión de energía” para adoptarlas a la organización con el fin de intensificar los esfuerzos en la reducción del consumo energético, reducción de gases efecto invernadero y generando valor a los grupos de interés, todo esto gracias a las siguientes acciones:

- Gestion del conocimiento al personal de operación centralizada y gestor energético ODL.
- Contar con un sistema de adquisición de datos y una base de datos robusta para los análisis.
- Construir una línea base energética con el fin de identificar si las acciones tienen efecto positivo o negativo en el sistema.
- Diseñar e implementar indicadores de desempeño energético.
- Control operacional para verificar y asegurar el comportamiento energético de ODL.

Gracias a la implementación de la norma ISO 50001, ODL cuenta con las herramientas, el conocimiento y los procesos necesarios para avanzar en su estrategia de reducción de GEI al 2030. Esta norma no solo facilita la identificación de los mejores escenarios operativos, sino que también permite un seguimiento continuo del sistema mediante indicadores específicos y la detección temprana de alertas. Todo esto contribuye a la descarbonización sostenible de las operaciones de ODL, en línea con la transición energética.

El uso de herramientas digitales, como el sistema SCADA, ha sido fundamental en este proceso. El sistema permite el monitoreo en tiempo real de diversas variables, incluidas las eléctricas y los índices de consumo. Además, sirve como fuente de datos que, tras un adecuado tratamiento y análisis mediante la ciencia de datos, pueden ser utilizados para identificar alternativas, alertas tempranas, análisis de riesgos y justificar nuevas iniciativas.

3. RESULTADOS

La transición energética de ODL ha permitido reducir las emisiones de gases de efecto invernadero desde 2010 a 2024 en un 51%. Comparando la alimentación entre sistemas de termo generación y la utilización de energía desde el SIN, ODL emitiría un 83% más de GEI, eso gracias al cambio de fuentes de alimentación para las estaciones de bombeo.

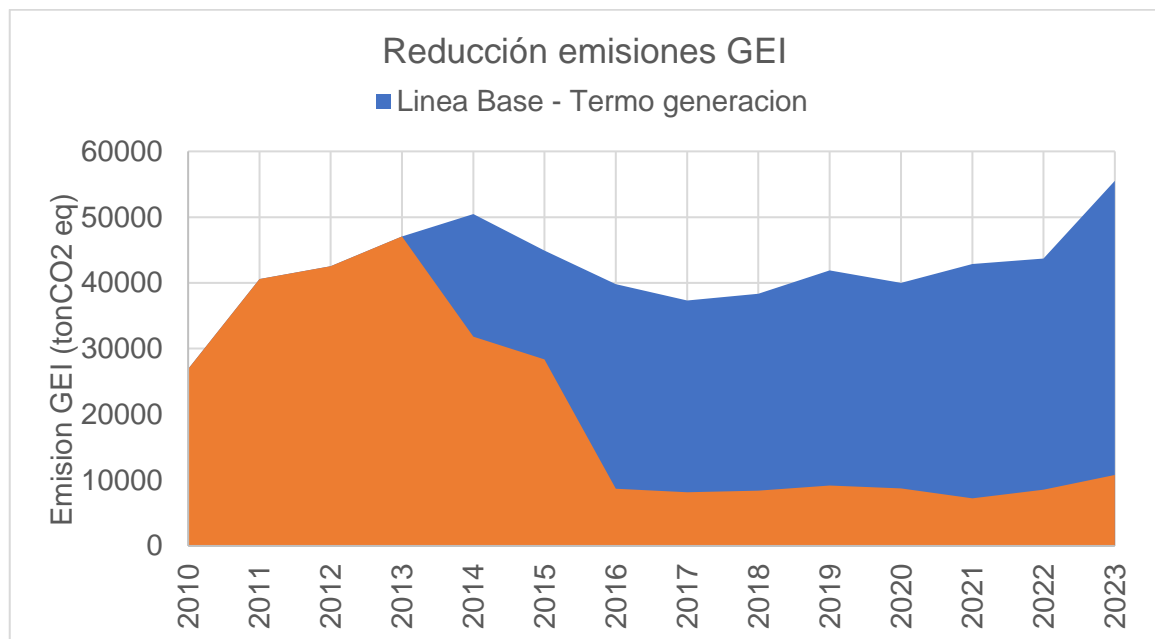


Figura 6. Comparación emisiones GEI reales en comparación con el uso de termo generación. Fuente propia.

ODL ha desarrollado junto con su aliado estratégico el despliegue de control operacional, el cual gracias a su conexión con el sistema SCADA de ODL permite el monitoreo en tiempo real de los indicadores de desempeño energético (IDEn) alineados a la ISO50001, con el fin de identificar desviaciones que permiten tomar acción inmediata.

La gestión operativa orientada a la preservación de calor ha sido una herramienta clave para el consumo responsable de energía en ODL. La variación en la temperatura de salida del crudo desde Rubiales y en Jaguey puede tener un impacto significativo en el consumo energético. Por ello, la optimización de la gestión térmica no solo mejora la eficiencia energética, sino que también contribuye a la reducción de costos y la disminución de la huella de carbono, alineándose con los objetivos de sostenibilidad de la empresa.

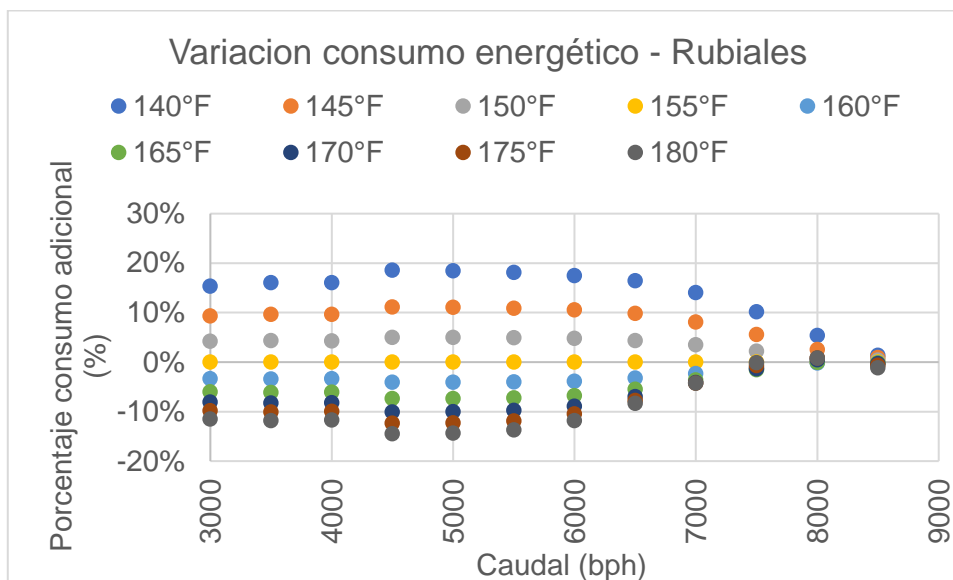


Figura 7. Variación del consumo energético en Rubiales por efecto de la temperatura al despacho. Fuente propia.

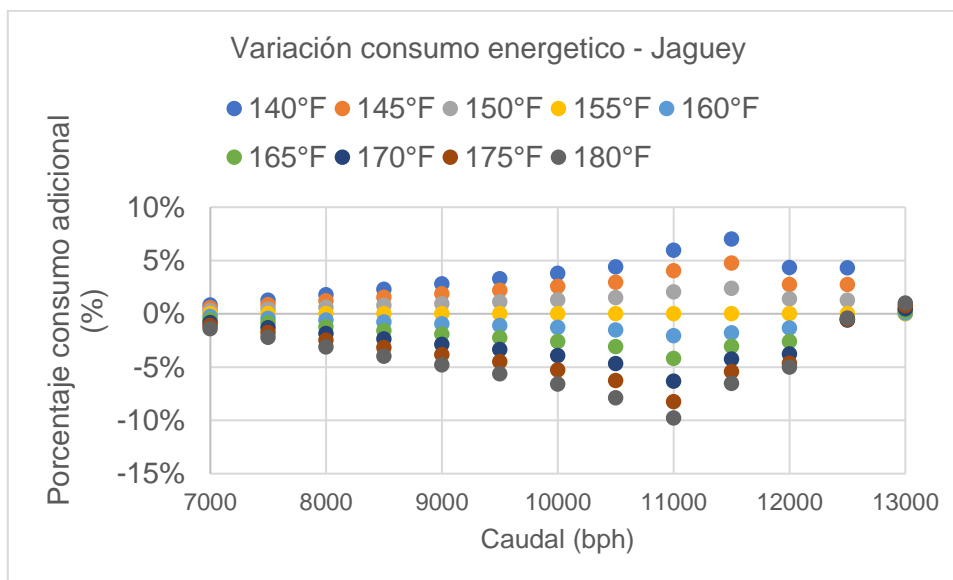


Figura 8. Variación del consumo energético en Jaguey por efecto de la temperatura al despacho. Fuente propia.

En 2023, el consumo de energía en ODL alcanzó los 96.528 GWh, mientras que la operación registró un volumen histórico de 277 mil barriles por día (kBPd). Este logro se atribuye al control operacional implementado alineado con ISO50001, un equipo de operaciones con conocimiento en la norma e indicadores en el cuarto de control que permiten visualizar el consumo energético. Gracias a las acciones, se logró una reducción de 3.9 GWh en el consumo energético, lo que equivale a una disminución de 436 toneladas de CO₂ equivalente (ton CO₂eq) en 2023. Estos resultados reflejan el compromiso de ODL con la sostenibilidad y la eficiencia energética, destacando la importancia de las prácticas operativas responsables y el uso optimizado de los recursos energéticos. (Oleoducto de los Llanos Orientales S.A., 2023).

En cuanto a la eficiencia energética, gracias a las acciones operativas, tácticas y estratégicas de Operación y Mantenimiento (O&M), se ha logrado incrementar el promedio de eficiencia en cada una de las estaciones (Rubiales: 4%, Jaguey: 9%). Como se mencionó anteriormente, este aumento se debe a la combinación de diversas acciones conjuntas, tales como la optimización de procesos, el análisis y la gestión

operativa, los planes de mantenimiento tanto mayores como rutinarios, la gestión energética y el cumplimiento de los planes de integridad, todo ello enmarcado dentro de la excelencia operativa.

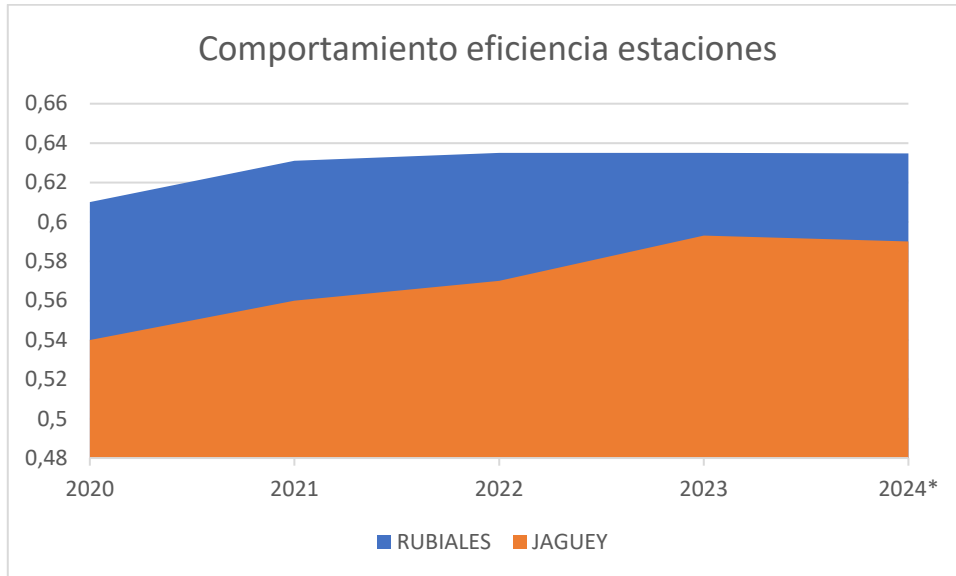


Figura 9. Comportamiento de la eficiencia de los sistemas de Rubiales y Jaguey. El valor de 2024 es calculado del primer semestre. Fuente Propia.

Se espera a largo plazo mantener la eficiencia del sistema (Rubiales $\eta=0.64$ y Jaguey $\eta=0.59$), o buscar su incremento con la ayuda de los recursos necesarios, y a su vez que el sistema sea flexible a la incorporación de nuevos crudos para que no impacte en la reducción permanente de las emisiones de GEI.

4. DISCUSIÓN

Los avances en la innovación, maduración de ideas, la transformación digital y la gestión energética, han permitido que, en todos los niveles estratégicos, tácticos y operativos se desarrollen herramientas que permiten la mejora continua de los procesos para maximizar las utilidades, reducir los costos y emisiones de GEI.

Actualmente, la implementación y el desarrollo de herramientas de analítica permiten optimizar los esquemas operativos, análisis de fallas y en el corto y mediano plazo sistemas de información en tiempo real para análisis avanzados, desarrollo modelos prescriptivos, e inteligencia artificial en su modelo de Operación y Mantenimiento (O&M).

A continuación, se presentarán los desafíos y planes que se esperan para 2030.

Desafíos

- Desarrollar capacidades con miras a la transformación digital, mejora de procesos y gestión energética.
- Incrementar de la eficiencia energética, maximizar utilidades y reducir costos operativos.
- Disminuir la huella de carbono mediante la optimización de procesos y a el uso de tecnologías limpias.

- Innovación en la integración de nuevas tecnologías de generación energética.
- Cumplir las regulaciones ambientales encaminadas en la reducción de emisiones y el uso de energías alternativas.

Planes estratégicos

- Certificación ISO50001 con el fin de asegurar la estrategia y los procesos necesarios para cumplir los objetivos enfocados a la descarbonización, sostenibilidad y eficiencia energética.
- Innovación y maduración de ideas con miras al uso de energías renovables para diversificar la matriz energética.
- Transformación digital de la operación y la mejora continua en la eficiencia operativa y energética.
- Alianzas estratégicas para compartir conocimientos, recursos e iniciativas conjuntas.

5. CONCLUSIONES

ODL ha logrado resultados notables gracias al análisis, desarrollo e implementación de diversas acciones estratégicas, tácticas y operativas, lo cual refleja el esfuerzo conjunto de diferentes actores hacia un objetivo común: la mejora de la eficiencia energética del sistema y la mejora continua y sostenible.

La transformación digital y la gestión energética, respaldadas por análisis avanzados (ciencia de datos y simulaciones termo hidráulicas), han sido clave en la optimización de procesos y en el fortalecimiento de la sostenibilidad energética, ambiental y económica. En el análisis y maduración de ideas y proyectos en donde se está investigando nuevas tecnologías como lo es el transporte de fluidos multifásicos, sistemas de calentamiento, y cambios tecnológicos en los sistemas de bombeo, estas herramientas han sido los pilares para tomar mejores decisiones.

Desde las etapas iniciales de ingeniería y construcción, es fundamental considerar criterios de eficiencia energética y emisiones de GEI en la selección de equipos, y en proyectos de mejora de procesos tener en cuenta esta variable.

En la operación y mantenimiento, la capacitación continua del personal en operar y mantener sistemas eficientes, junto con la mejora continua en los procesos, son esenciales para garantizar la sostenibilidad de las instalaciones.

El uso de DRA sigue siendo una herramienta útil para la reducción energética, siempre y cuando se acompañe de un análisis detallado y una dosificación adecuada, asegurando así una relación costo-beneficio justa.

En la parte táctica y estratégica, las herramientas de análisis y ciencia de datos están revolucionando el análisis hidráulico y el comportamiento energético. La tendencia hacia el desarrollo de modelos prescriptivos respaldados por simuladores que optimicen la operación en tiempo real, y el desarrollo de herramientas con inteligencia artificial para tomar decisiones autónomas, mantendrá la sostenibilidad energética y empresarial de

ODL.

Finalmente, ODL se compromete a seguir invirtiendo en investigación y desarrollo, implementando proyectos de energías renovables y fortaleciendo las alianzas estratégicas con actores clave del sector energético, asegurando así un futuro sostenible y responsable.

6. REFERENCIAS

Dhanda, S., & Jomeh, S. (2024). A hydraulic simulation methodology for the thermal management of oil pipelines. *Pipeline Simulation Interest Group*.

Hopkins, P. (2007). Pipelines: Past, Present, and Future. *The 5th Asian Pacific IIW International Congress*.

Khlebnikova, E., Zlotnik, A., Sundar, K., Tasseff, B., & Bent, R. (2020). Optimization of liquid pipeline control for economic and efficient operations. *Society of Petroleum Engineers*.

Mahinroosta, M. (2013). A review on Energy Efficiency improvement methods for oil and gas industries. *2nd conference on emerging trends in energy conservation*.

Nassereddine, A., Ka Kwok, C., Lu, H., & Nazrini, A. (2024). Advancing GHG Emissions Analysis: A Comprehensive Application for streamlined optimization within Oil and Gas Operations. *Pipeline Simulation Interest Group*.

National Renewable Energy Laboratory. (Septiembre de 2021). *nrel.gov*. Obtenido de <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/80580.pdf>

Oleoducto de los llanos orientales S.A. (2017). *Informe gestión*. Bogotá D.C.

Oleoducto de los llanos orientales S.A. (2020). *Informe gestión*. Bogotá D.C.

Oleoducto de los llanos orientales S.A. (2023). *Informe gestión*. Bogotá D.C.

Stanley, G., & Chamorro, A. (2023). Reduction of CO2 emissions during operation of oil and gas pipelines. *Pipeline Simulation Interest Group*.

Stanley, G., Taylor, K., & Dzierwa, R. (2007). Power optimization in liquid pipelines. *Pipeline Simulation Interest Group*.

Unidad Planeación Minero Energética - UPME. (2022). *Plan de Acción Indicativo - Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía (PAI-PROURE)*. Bogotá D.C.: Ministerio de Minas y Energía .

Velez Loaiza, G. J. (2020). *Diseño de un modelo computacional para la simulación del comportamiento de crudos pesados por tubería*. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes.

Villegas Vallejo, S. (2016). *Diseño de un sistema de control de gestión orientado al mejoramiento del desempeño ambiental en la operación y mantenimiento de oleoductos*. Bogotá D.C.: Pontificia universidad Javeriana.

Wang, G., Cheng, Q., Zhao, W., Liao, Q., & Zhang, H. (2022). Review on the transport capacity management of oil and gas pipeline network: Challenges and opportunities of future pipeline transport. *Energy Strategy Reviews* 43.

7. NOMENCLATURA

°API Medida de densidad del crudo. American Petroleum Institute.

BPD Medida de caudal. Barriles por día.

cSt Medida de viscosidad cinemática. centistoke.

DRA Agente Reductor de Fricción.

GEI Gases Efecto Invernadero.

ISO50001 Norma Internacional para implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión energética en una organización.

kBPD Medida de caudal. kilo barril por día.

kWh Medida de energía. kilovatio hora.

psig Medida de presión. Libra por pulgada cuadrada.

SIN Sistema Interconectado Nacional.

tonCO₂eq Medida de normalizada de emisión de huella de carbono.