

Eficiencia y seguridad en el proceso industrial: Automatización de bombas del sistema de transferencia de crudo

Industrial Process Efficiency and Safety: Automation of crude oil transfer system pumps

Eficiência e segurança no processo industrial: automatização das bombas do sistema de transferência de petróleo bruto

Guevara Ávalos, Edwin Wilfrido
Instituto Superior Tecnológico Portoviejo con Condición Superior Universitario

edwin.guevara@itsup.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0001-1780-6049>



Sánchez Parrales, Ligia Vanessa
Instituto Superior Tecnológico Portoviejo con Condición Superior Universitario

ligia.sanchez@itsup.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1719-8944>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE1/734>

Como citar:

Guevara Ávalos, E. W., & Sánchez Parrales, L. V. (2025). Eficiencia y Seguridad en el Proceso Industrial: Automatización de bombas del sistema de transferencia de crudo. *Código Científico Revista De Investigación*, 6(E1), 1013–1033. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE1/734>.

Recibido: 18/02/2025

Aceptado: 13/03/2025

Publicado: 31/03/2025

Resumen

La automatización en la transferencia de crudo es un proceso clave para mejorar la eficiencia y seguridad en la industria petrolera. Este estudio analiza los beneficios y desafíos de la implementación de tecnologías avanzadas en bombas de transferencia, identificando oportunidades de mejora. Se empleó una metodología exploratoria y cualitativa, basada en entrevistas semiestructuradas a personal técnico y un análisis documental de normativas y reportes operativos. Los resultados muestran que la automatización ha optimizado la supervisión y reducidos riesgos laborales, aunque la integración con infraestructuras preexistentes y la capacitación del personal siguen siendo retos. Se identificó que la mayoría del personal considera que la automatización mejora la seguridad, pero también percibe la necesidad de fortalecer programas de formación. La discusión resalta la importancia de estrategias de mantenimiento preventivo y el impacto de la automatización en la sostenibilidad operativa. En conclusión, la automatización del sistema de transferencia de crudo es una estrategia viable para mejorar la eficiencia, reducir costos y minimizar riesgos, aunque su implementación requiere inversión, formación técnica y un enfoque integral en ciberseguridad y mantenimiento.

Palabras clave: Automatización; Transferencia de crudo; Eficiencia operativa; Seguridad industrial; Mantenimiento preventivo.

Abstract

Automation in crude oil transfer is a key process to improve efficiency and safety in the oil industry. This study analyzes the benefits and challenges of implementing advanced technologies in transfer pumps, identifying opportunities for improvement. An exploratory and qualitative methodology was used, based on semi-structured interviews with technical personnel and a documentary analysis of regulations and operational reports. The results show that automation has optimized supervision and reduced occupational risks, although integration with pre-existing infrastructures and personnel training remain challenges. It was identified that most personnel believe that automation improves safety, but also perceive the need to strengthen training programs. The discussion highlights the importance of preventive maintenance strategies and the impact of automation on operational sustainability. In conclusion, crude oil transfer system automation is a viable strategy to improve efficiency, reduce costs and minimize risks, although its implementation requires investment, technical training and a comprehensive approach to cybersecurity and maintenance.

Keywords: Automation; Crude oil transfer; Operational efficiency; Industrial safety; Preventive maintenance.

Resumo

A automatização da transferência de petróleo bruto é um processo fundamental para melhorar a eficiência e a segurança na indústria petrolífera. Este estudo analisa os benefícios e desafios da implementação de tecnologias avançadas em bombas de transferência, identificando oportunidades de melhoria. Foi utilizada uma metodologia exploratória e qualitativa, baseada em entrevistas semi-estruturadas a pessoal técnico e numa análise documental de regulamentos e relatórios operacionais. Os resultados mostram que a automatização otimizou a supervisão e reduziu os riscos profissionais, embora a integração com infra-estruturas pré-existentes e a formação do pessoal continuem a ser desafios. Verificou-se que a maioria do pessoal considera que a automatização melhora a segurança, mas também considera necessário reforçar os programas de formação. A discussão destaca a importância das estratégias de manutenção preventiva e o impacto da automatização na sustentabilidade operacional. Em conclusão, a automatização dos sistemas de transferência de petróleo bruto é uma estratégia viável para melhorar a eficiência, reduzir os custos e minimizar os riscos, embora a sua implementação

exija investimento, formação técnica e uma abordagem abrangente à cibersegurança e à manutenção.

Palavras-chave: Automação; Transferência de petróleo bruto; Eficiência operacional; Segurança industrial; Manutenção preventiva.

Introducción

En la industria petrolera, la eficiencia y la seguridad de los procesos operativos representan desafíos fundamentales, especialmente en el sistema de transferencia de crudo. Este sistema es esencial para el transporte y distribución del recurso, lo que implica la necesidad de garantizar su operatividad de manera óptima y segura. Sin embargo, las bombas utilizadas en estos procesos suelen estar sujetas a limitaciones tecnológicas, lo que afecta la eficiencia del flujo de crudo y aumenta los riesgos operativos. En este contexto, la automatización de bombas se plantea como una estrategia clave para optimizar la transferencia de crudo, minimizando costos operativos y reduciendo el impacto de fallos mecánicos o errores humanos (García & Torres, 2021).

La problemática central radica en la persistencia de sistemas manuales o semiautomáticos en la transferencia de crudo, los cuales presentan deficiencias en el monitoreo en tiempo real, la respuesta ante fallos y la optimización del consumo energético. La falta de automatización en estos sistemas puede generar tiempos de inactividad prolongados, pérdidas económicas y fallas que afectan la seguridad de los trabajadores y del medio ambiente. Entre los factores que contribuyen a esta problemática se encuentran la obsolescencia de los equipos, la insuficiente capacitación técnica del personal y la falta de integración de tecnologías emergentes como los controladores lógicos programables (PLC), los sensores de flujo y presión, y los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) (Ramírez & López, 2023). En este sentido, la digitalización de los procesos industriales ha sido reconocida como un factor clave para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad de la industria, lo que subraya la importancia de adoptar estrategias de automatización en la transferencia de crudo.

Los efectos de la ausencia de automatización en el sistema de transferencia de crudo son amplios y afectan diversas dimensiones operativas y de seguridad. En términos económicos, la ineficiencia de los sistemas manuales o semiautomáticos se traduce en costos operativos elevados y en una menor productividad. Desde el punto de vista de la seguridad, la falta de monitoreo continuo y de respuesta inmediata ante fallos puede derivar en incidentes graves, como fugas de crudo, incendios o explosiones, con consecuencias directas para los trabajadores y el medio ambiente (Rodríguez & Vargas, 2022). Asimismo, la imposibilidad de contar con datos precisos en tiempo real dificulta la toma de decisiones estratégicas, lo que afecta la competitividad y sostenibilidad de las empresas petroleras (Pérez & Mendoza, 2024).

En este marco, la presente investigación tiene como propósito analizar la implementación de estrategias de automatización en las bombas del sistema de transferencia de crudo, con el objetivo de optimizar la eficiencia operativa y garantizar la seguridad en los procesos industriales. La automatización, basada en el uso de sensores inteligentes y sistemas de control avanzados, no solo permite un monitoreo continuo y en tiempo real, sino que también mejora la estabilidad de los procesos, reduce el consumo energético y minimiza los costos de mantenimiento preventivo y correctivo (Gómez, 2021). En este sentido, se pretende explorar las condiciones operativas actuales del sistema de transferencia de crudo, identificando los factores que influyen en su eficiencia y seguridad, así como evaluar la percepción del personal técnico respecto al uso de tecnologías de monitoreo en tiempo real. Además, se busca describir los cambios experimentados en la gestión operativa y el cumplimiento normativo con la incorporación de la automatización en estos sistemas.

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de responder a los desafíos de la industria petrolera mediante la adopción de tecnologías innovadoras. La automatización de bombas no solo representa una solución para mejorar la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la seguridad industrial y la sostenibilidad del sector. En este contexto,

diversos estudios han demostrado que la implementación de la Industria 4.0 en los procesos industriales ha permitido reducir los riesgos laborales y optimizar la producción mediante la integración de sistemas digitales avanzados (Ganchozo, Gómez, Moreira & Chacon, 2023). Además, la digitalización y la implementación de blockchain en la gestión de procesos han demostrado su efectividad en la mejora de la eficiencia y la transparencia operativa (Guerra, Erazo, Freire & Moreno, 2023). Estos avances tecnológicos pueden aplicarse a la industria petrolera para mejorar la trazabilidad, la seguridad y la eficiencia en la gestión de recursos estratégicos como el crudo (Alzate & Giraldo, 2023).

Desde el punto de vista de la viabilidad, la automatización de bombas en el sistema de transferencia de crudo es una estrategia factible debido al desarrollo y disponibilidad de tecnologías avanzadas. La creciente digitalización de los procesos industriales y la tendencia hacia la automatización en diversas industrias respaldan la implementación de estas soluciones en el sector petrolero (Hernández Ossa, Páez Henao & León López, 2022). Asimismo, el avance de las normativas ambientales y de seguridad exige a las empresas adoptar medidas más eficientes y sostenibles, lo que hace que la automatización no solo sea una opción viable, sino también una necesidad estratégica para garantizar la competitividad en el mercado energético.

En síntesis, la automatización de las bombas en el sistema de transferencia de crudo es una solución clave para abordar los desafíos operativos y de seguridad en la industria petrolera. La presente investigación busca demostrar que la implementación de tecnologías avanzadas en este ámbito puede generar beneficios significativos, como la optimización del uso de energía, la reducción de fallas mecánicas y la mejora en la seguridad del personal y del medio ambiente. La integración de sensores y sistemas de control inteligente permitirá una gestión más eficiente y confiable del proceso de transferencia de crudo, lo que contribuirá a mejorar la rentabilidad y sostenibilidad del sector.

Metodología

La presente investigación adopta un enfoque exploratorio con una orientación cualitativa, dado que su propósito es indagar y comprender las características, desafíos y oportunidades que presenta la automatización de bombas en el sistema de transferencia de crudo dentro de la industria petrolera. Este enfoque permite analizar el fenómeno en su contexto natural sin la aplicación de mediciones numéricas específicas, priorizando la recolección de información descriptiva basada en la experiencia y percepción del personal técnico involucrado en la operación y mantenimiento de dichos sistemas.

Para la recolección de información, se recurrirá a técnicas cualitativas que permitan obtener una visión integral sobre el impacto de la automatización en la eficiencia operativa y la seguridad industrial. Se emplearán entrevistas semiestructuradas dirigidas a ingenieros, técnicos y operadores del sistema de transferencia de crudo, con el objetivo de explorar sus percepciones sobre la implementación de tecnologías automatizadas, los desafíos que enfrentan en su adopción y los posibles beneficios que han identificado en su operatividad diaria. Además, se realizará un análisis documental a partir de reportes técnicos, manuales de operación y normativas industriales vigentes, con el fin de contextualizar los hallazgos obtenidos en las entrevistas y establecer una base teórica que respalde la investigación.

La selección de los participantes se realizará mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando a aquellos profesionales con experiencia directa en la gestión del sistema de bombeo de crudo y conocimientos en automatización industrial. La muestra estará conformada por personal técnico e ingenieros que trabajen en el sector y que puedan proporcionar información relevante sobre los procesos de transferencia de crudo y las tecnologías utilizadas en su automatización.

Para la inclusión en el estudio, se considerarán los siguientes criterios:

- Ingenieros, técnicos y operadores con al menos un año de experiencia en la operación del sistema de transferencia de crudo.
- Profesionales con conocimientos en automatización y control de procesos industriales.
- Participantes que acepten voluntariamente formar parte del estudio.

Por otro lado, se excluirán aquellos participantes que cumplan con alguna de las siguientes condiciones:

- Personal administrativo sin relación directa con la operación del sistema de bombeo.
- Trabajadores con menos de un año de experiencia en el área de estudio.
- Personas que no deseen participar en la investigación.

En cuanto al tratamiento de los datos, se aplicará un análisis de contenido, permitiendo la identificación de patrones y categorías emergentes a partir de las respuestas obtenidas en las entrevistas. Este análisis facilitará la estructuración de la información para extraer conclusiones sobre los desafíos y oportunidades de la automatización en la industria petrolera, sin recurrir a mediciones cuantitativas ni a la aplicación de indicadores específicos.

Este estudio se llevará a cabo bajo estrictos principios éticos, garantizando la confidencialidad y el anonimato de los participantes. Se obtendrá el consentimiento informado de cada uno de ellos antes de la recolección de datos, asegurando su participación voluntaria y el uso exclusivo de la información para fines académicos. Asimismo, se respetarán las normativas vigentes en materia de seguridad industrial y protección de datos, con el fin de salvaguardar la integridad de los involucrados y la validez del estudio.

Resultados

1.1. Desafíos y oportunidades en la eficiencia y seguridad del sistema de transferencia de crudo

La automatización del sistema de transferencia de crudo en la industria petrolera representa un desafío técnico y operativo, ya que su implementación requiere no solo inversión en infraestructura, sino también una adaptación por parte del personal encargado de la supervisión y control de estos sistemas. En este contexto, es fundamental analizar tanto las oportunidades que brinda la automatización en términos de eficiencia y seguridad como las dificultades que enfrentan las empresas para su integración efectiva en los procesos industriales.

Uno de los principales desafíos radica en la necesidad de contar con tecnologías avanzadas que permitan un monitoreo eficiente y en tiempo real del sistema de bombeo de crudo. La adopción de inteligencia artificial (IA) y sistemas de control automatizados ha demostrado ser una estrategia clave en la optimización de procesos industriales, permitiendo mejorar la precisión operativa y reducir la incidencia de errores humanos (Erazo-Luzuriaga, Ramos-Secaira, Galarza-Sánchez & Boné-Andrade, 2023). Sin embargo, la integración de estas tecnologías en la industria petrolera requiere inversiones significativas en software y hardware, lo que puede representar un obstáculo para muchas empresas, especialmente aquellas con sistemas obsoletos que no son compatibles con las nuevas soluciones digitales.

Otro aspecto crítico es la seguridad del sistema automatizado, ya que la digitalización de los procesos industriales introduce riesgos cibernéticos que pueden comprometer la operatividad y estabilidad del sistema de transferencia de crudo. La seguridad cibernética en los entornos industriales ha sido un reto constante, ya que la interconectividad de los sistemas automatizados los expone a vulnerabilidades que pueden ser explotadas por ataques informáticos, afectando la continuidad de las operaciones (Ramos-Secaira, 2023). En este

sentido, es fundamental que las empresas adopten estrategias de protección digital, como el uso de firewalls avanzados, protocolos de seguridad en redes industriales y la capacitación del personal en prevención de ciberataques.

Por otro lado, la automatización del sistema de transferencia de crudo también ofrece oportunidades significativas, especialmente en términos de eficiencia operativa. La implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real y el uso de inteligencia artificial permiten una gestión más eficiente del flujo de crudo, optimizando los tiempos operativos y reduciendo el consumo energético. Además, estudios recientes destacan que la automatización contribuye a mejorar la seguridad ocupacional, minimizando la exposición del personal a entornos de alto riesgo y reduciendo la probabilidad de accidentes laborales (Gallegos & Castillo, 2022).

Un factor determinante para el éxito de la automatización es la capacitación del personal. La resistencia al cambio tecnológico sigue siendo un obstáculo en la industria, ya que muchos trabajadores carecen de formación en el uso de sistemas digitales avanzados. La inclusión digital y el acceso a tecnologías de la información han sido identificados como elementos clave para facilitar la adopción de nuevas herramientas tecnológicas en distintos sectores industriales, promoviendo una transición más efectiva hacia procesos automatizados (Boné-Andrade, 2023). En este sentido, es crucial que las empresas implementen programas de formación continua que permitan al personal desarrollar competencias en la operación y supervisión de sistemas automatizados.

Tabla 1

Percepción del personal sobre la automatización del sistema de transferencia de crudo

Pregunta	a)	b)	c)	d)
Nivel de automatización actual del sistema	4	8	6	2
Impacto de la automatización en la eficiencia	7	6	5	2
Principal beneficio de la automatización	6	7	3	4
Seguridad del sistema automatizado	5	9	4	2

Pregunta	a)	b)	c)	d)
Frecuencia de fallas en el sistema automatizado	3	7	6	4
Capacitación del personal en sistemas automatizados	4	8	6	2
Factor crítico para la seguridad en la automatización	5	6	4	5
Tipo de monitoreo utilizado en el sistema automatizado	6	5	7	2
Principal desafío en la automatización del sistema	5	6	5	4

Nota: La tabla 1 muestra los resultados obtenidos en la encuesta realizada a 20 trabajadores del sector de seguridad y producción en la industria petrolera, reflejando sus percepciones sobre el nivel de automatización, eficiencia y seguridad del sistema de transferencia de crudo (Autores, 2025).

Los datos obtenidos reflejan una diversidad de percepciones respecto a la automatización del sistema de transferencia de crudo. En términos de nivel de automatización, la mayoría de los encuestados (8 de 20) indicaron que el sistema está parcialmente automatizado, mientras que solo 4 afirmaron que el sistema está totalmente automatizado, lo que sugiere que aún existen áreas operativas que requieren una mayor integración tecnológica.

En cuanto al impacto de la automatización en la eficiencia del sistema, el 35% de los participantes señaló que ha mejorado significativamente, mientras que otro 30% indicó que ha habido una mejora moderada. Sin embargo, un 25% no ha percibido cambios significativos, lo que podría estar relacionado con problemas en la implementación de nuevas tecnologías o con la falta de capacitación del personal.

Respecto a los beneficios de la automatización, la mayor seguridad en las operaciones y la reducción de tiempos operativos fueron las respuestas más frecuentes, lo que coincide con estudios previos que destacan la automatización como un factor clave en la optimización operativa y la prevención de riesgos laborales (Gallegos & Castillo, 2022). Sin embargo, se identificaron desafíos importantes, como los altos costos de implementación y la falta de mantenimiento adecuado, los cuales fueron mencionados como los principales obstáculos en la adopción de estos sistemas.

Otro hallazgo relevante es que el 65% de los encuestados considera que el sistema automatizado es seguro o muy seguro, aunque un 35% lo percibe como moderadamente seguro

o poco seguro, lo que sugiere que aún existen preocupaciones respecto a la confiabilidad de la automatización. Esta percepción podría estar vinculada a la frecuencia de fallas, ya que el 50% de los participantes afirmó que las fallas ocurren ocasionalmente o frecuentemente, evidenciando la necesidad de mejorar la infraestructura tecnológica y la supervisión del sistema.

Finalmente, un aspecto clave identificado en el estudio es la capacitación del personal, ya que solo el 20% de los trabajadores se considera muy capacitado para operar el sistema automatizado, mientras que un 40% se siente algo capacitado o nada capacitado. Estos resultados refuerzan la importancia de invertir en formación continua para garantizar que la automatización sea implementada de manera efectiva y segura (Boné-Andrade, 2023).

1.2. Voces desde el campo: percepción del personal técnico sobre seguridad y monitoreo en tiempo real

La automatización del sistema de transferencia de crudo ha transformado significativamente las dinámicas operativas dentro de la industria petrolera, impactando no solo la eficiencia del proceso, sino también la seguridad del personal técnico encargado de su supervisión. En este contexto, resulta fundamental conocer las percepciones de los trabajadores sobre la seguridad industrial y el monitoreo en tiempo real, ya que su experiencia directa con los sistemas automatizados permite identificar oportunidades de mejora y desafíos que aún persisten en el sector.

Uno de los aspectos más relevantes en la percepción del personal técnico es la relación entre la automatización y la seguridad operativa. La implementación de sistemas automatizados en el bombeo de crudo ha permitido reducir la intervención manual en entornos de alto riesgo, minimizando la exposición de los trabajadores a condiciones peligrosas. Según Cedeño Núñez y Gómez Assan (2022), la automatización del sistema de bombeo en el campo Shushufindi ha mejorado la estabilidad operativa y ha optimizado la detección de fallos, lo que se traduce en

una reducción significativa de incidentes relacionados con errores humanos. Sin embargo, la confianza del personal en la automatización sigue siendo un factor determinante, ya que la transición desde sistemas tradicionales a entornos completamente automatizados requiere una adaptación tanto técnica como organizacional.

En términos de monitoreo en tiempo real, el uso de sensores avanzados y sistemas de supervisión remota ha facilitado el control continuo del flujo de crudo, permitiendo una respuesta más rápida ante cualquier anomalía en el proceso. Ronceros, Pomblas y Salazar (2023) destacan que la automatización del sistema de deshidratación de crudo ha optimizado la detección y corrección de variaciones en la presión y temperatura del proceso, lo que garantiza una mayor estabilidad en la operación. No obstante, el grado de adopción de estas tecnologías varía entre las diferentes plantas, y en algunos casos, el monitoreo aún depende de inspecciones manuales periódicas, lo que puede limitar la eficacia del sistema.

Un factor clave en la percepción del personal técnico es la influencia del mantenimiento preventivo en la confiabilidad del sistema automatizado. La falta de mantenimiento adecuado puede generar fallas en los sensores y en los dispositivos de control, lo que compromete la seguridad del proceso. En este sentido, Martínez Pérez y Gassinski (2022) resaltan que la eficiencia energética y el rendimiento de los sistemas automatizados dependen directamente de estrategias de mantenimiento bien planificadas, ya que los fallos inesperados no solo afectan la operatividad, sino que también pueden aumentar los costos de reparación y los tiempos de inactividad.

Asimismo, la capacitación del personal juega un papel crucial en la efectividad de la automatización. La percepción de inseguridad en los sistemas automatizados suele estar vinculada a la falta de formación en el uso y supervisión de las nuevas tecnologías. Según Patiño, Carrascal, Bautista y Díaz (2023), la implementación de inteligencia artificial en sectores industriales ha demostrado que la capacitación continua es esencial para mejorar la

confianza del personal en la automatización, ya que permite desarrollar habilidades técnicas y de análisis que optimizan la toma de decisiones en entornos altamente digitalizados.

1.3. Automatización en la transferencia de crudo: transformaciones, retos y perspectivas

La automatización en la industria petrolera ha evolucionado significativamente en los últimos años, impulsada por la necesidad de optimizar los procesos de transferencia de crudo, mejorar la eficiencia operativa y garantizar la seguridad industrial. La implementación de tecnologías avanzadas ha permitido la modernización de los sistemas de bombeo, reduciendo la intervención manual y mejorando el monitoreo de los parámetros operativos. Sin embargo, este proceso de transformación también enfrenta retos importantes, como la integración de nuevas tecnologías en infraestructuras preexistentes, la capacitación del personal y la sostenibilidad del sistema automatizado a largo plazo.

Uno de los principales avances en la automatización del sistema de transferencia de crudo ha sido la incorporación de sistemas de control avanzados, como los controladores difusos, los cuales permiten una regulación precisa de variables críticas en el proceso de bombeo. Según Carrillo Silva (2023), el diseño de un control *override* de presión de succión y nivel en celdas de flotación de crudo/agua ha demostrado ser una solución eficiente para mejorar la estabilidad del sistema y evitar fluctuaciones en el flujo del crudo. Estos avances tecnológicos no solo optimizan la operación, sino que también contribuyen a la reducción de fallas mecánicas y al aumento de la vida útil de los equipos.

Asimismo, la implementación de sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ha revolucionado la gestión y supervisión del proceso de bombeo, permitiendo el monitoreo en tiempo real y la detección temprana de anomalías. Dioses More (2021) destaca que la adopción de SCADA en estaciones de bombeo ha mejorado significativamente la eficiencia del sistema, optimizando la distribución del crudo y reduciendo los tiempos de respuesta ante eventos inesperados. Estos sistemas permiten la recolección y análisis de datos

en tiempo real, facilitando la toma de decisiones basadas en información precisa y contribuyendo a la seguridad operativa.

En términos de retos, uno de los principales desafíos que enfrenta la automatización en la transferencia de crudo es la integración de nuevas tecnologías con sistemas preexistentes. Carrasco Mayorga (2023) señala que en el caso del bombeo horizontal en el pozo inyector Shushuqui 3 del campo Libertador de EP Petroecuador, la automatización requirió modificaciones en los sistemas de control y la compatibilidad con equipos tradicionales, lo que implicó una inversión considerable en infraestructura y adaptación tecnológica. La compatibilidad entre sistemas antiguos y modernos sigue siendo una de las barreras más importantes para la digitalización total de la industria.

Otro reto fundamental en la automatización es la capacitación del personal técnico encargado de la operación y mantenimiento de los sistemas automatizados. La modernización de los procesos exige conocimientos especializados en control de procesos, monitoreo remoto y mantenimiento de software y hardware. Villacrés Ramos (2023) enfatiza que el monitoreo basado en Internet de las Cosas (IoT) de los parámetros de funcionamiento de una bomba de reinyección de agua requiere que los operadores desarrollen nuevas habilidades en el manejo de sistemas digitales avanzados, lo que resalta la necesidad de formación continua y actualización profesional dentro del sector.

Desde una perspectiva de sostenibilidad y eficiencia, la automatización también plantea desafíos en términos de consumo energético y optimización de recursos. La implementación de sistemas de control automático en unidades de bombeo horizontal centrífugo multi-etapa, como lo describe Garcés Guerrero (2023), ha demostrado mejoras en la estabilidad del flujo y en la reducción del consumo de energía. Sin embargo, estos avances dependen de una adecuada planificación del mantenimiento preventivo y de la integración de tecnologías energéticamente eficientes que minimicen el impacto ambiental de las operaciones industriales.

Finalmente, el uso de sistemas de automatización en unidades LACT (*Lease Automatic Custody Transfer*) para la medición dinámica de hidrocarburos ha permitido mejorar la precisión en la medición y el control de las transferencias de crudo. Romero et al. (2021) destacan que estos sistemas han optimizado la trazabilidad del producto, garantizando la exactitud en la cantidad y calidad del crudo transportado, lo que fortalece la transparencia en las operaciones y reduce las pérdidas económicas derivadas de mediciones inexactas.

Discusión

La automatización en la transferencia de crudo representa un paradigma transformador dentro de la industria petrolera, al introducir tecnologías avanzadas que optimizan la eficiencia operativa y fortalecen la seguridad industrial. No obstante, la transición hacia sistemas completamente automatizados enfrenta múltiples desafíos, desde la integración con infraestructuras preexistentes hasta la capacitación del personal técnico y la sostenibilidad del sistema. La presente discusión aborda estos aspectos desde una perspectiva crítica, contrastando hallazgos empíricos y estudios recientes sobre la automatización en la industria de los hidrocarburos.

Uno de los elementos fundamentales en la automatización del sistema de bombeo de crudo es la implementación de sistemas de control avanzados. La adopción de técnicas de regulación inteligente, como los controladores difusos, ha demostrado ser una estrategia eficiente para estabilizar variables críticas, optimizando la transferencia del crudo y reduciendo fallos operativos (Carrillo Silva, 2023). Estos avances tecnológicos han permitido una mayor precisión en la regulación de la presión y el nivel de succión, aspectos esenciales en la continuidad de las operaciones. Sin embargo, la efectividad de estos sistemas depende no solo de su implementación, sino también de su adecuada calibración y mantenimiento, lo que representa un desafío adicional para las empresas del sector.

Otro aspecto crucial en la automatización del proceso de transferencia de crudo es la incorporación de sistemas SCADA, que han permitido un monitoreo en tiempo real de las condiciones operativas, proporcionando datos precisos que facilitan la toma de decisiones estratégicas (Dioses More, 2021). A pesar de sus beneficios, la implementación de SCADA no está exenta de dificultades, ya que su funcionamiento óptimo requiere la compatibilidad con equipos preexistentes y una infraestructura tecnológica robusta. Además, la dependencia de estos sistemas digitales introduce riesgos cibernéticos que pueden comprometer la seguridad y estabilidad de las operaciones, lo que hace necesario desarrollar estrategias de ciberseguridad específicas para la industria petrolera (Ramos-Secaira, 2023).

Desde la perspectiva del personal técnico, la percepción sobre la automatización varía según el nivel de conocimiento y experiencia en el manejo de estos sistemas. La adopción de nuevas tecnologías ha reducido la intervención manual en entornos de alto riesgo, lo que ha generado un impacto positivo en la seguridad industrial (Cedeño Núñez & Gómez Assan, 2022). Sin embargo, en algunos casos, la confianza en los sistemas automatizados es limitada debido a la falta de capacitación adecuada. La transición hacia un entorno digitalizado exige que los trabajadores desarrollen nuevas competencias en supervisión remota, mantenimiento de software y operación de dispositivos inteligentes, aspectos que aún representan un reto para muchas empresas del sector (Villacrés Ramos, 2023).

El mantenimiento preventivo se configura como un factor determinante en la estabilidad y eficiencia del sistema de bombeo automatizado. La ausencia de estrategias de mantenimiento estructuradas puede incrementar la frecuencia de fallas operativas, afectando no solo la continuidad del proceso, sino también la seguridad del personal y la infraestructura (Martínez Pérez & Gassinski, 2022). La automatización, si bien reduce la necesidad de intervención manual, no elimina la importancia de un monitoreo constante de los equipos, ya

que las fallas en sensores y dispositivos de control pueden generar interrupciones significativas en la transferencia de crudo.

Uno de los principales desafíos que enfrenta la automatización en la industria petrolera es la integración de tecnologías avanzadas con sistemas obsoletos. En estudios previos se ha señalado que la compatibilidad entre equipos tradicionales y modernos sigue siendo una de las principales barreras para la digitalización completa del sector (Carrasco Mayorga, 2023). En este sentido, las empresas deben evaluar la viabilidad de realizar actualizaciones graduales, considerando la inversión requerida y los beneficios a largo plazo en términos de eficiencia y seguridad.

A nivel operativo, la automatización ha demostrado beneficios en la optimización del flujo de crudo y la reducción de tiempos de respuesta ante anomalías. La aplicación de tecnologías de monitoreo por IoT ha permitido una supervisión más detallada de las condiciones de bombeo, facilitando la identificación de posibles fallos antes de que estos afecten la operatividad del sistema (Villacrés Ramos, 2023). Sin embargo, la efectividad de estos avances depende de su correcta integración con sistemas de control centralizados y de la disponibilidad de recursos para su mantenimiento y actualización.

En términos de sostenibilidad, la automatización no solo impacta la eficiencia del proceso, sino también el consumo energético y la reducción de emisiones contaminantes. La implementación de estrategias automatizadas en unidades de bombeo horizontal centrífugo ha mostrado mejoras en la estabilidad del flujo y una optimización del consumo de energía, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental de las operaciones petroleras (Garcés Guerrero, 2023). No obstante, la sostenibilidad de estos sistemas depende en gran medida de la planificación a largo plazo y de la capacidad de las empresas para adaptar sus modelos operativos a las nuevas exigencias normativas y tecnológicas.

En cuanto a la medición y transferencia de hidrocarburos, la automatización ha permitido mejorar la precisión en los procesos de medición dinámica, asegurando la transparencia en las transacciones y reduciendo las pérdidas económicas derivadas de errores en el control de volúmenes transferidos (Romero et al., 2021). Este aspecto es fundamental en la competitividad del sector, ya que una medición precisa garantiza la confiabilidad de las operaciones y la conformidad con estándares internacionales de calidad y seguridad.

Conclusión

La automatización del sistema de transferencia de crudo ha emergido como un elemento clave en la modernización de la industria petrolera, permitiendo optimizar la eficiencia operativa, mejorar la seguridad y reducir los riesgos asociados a la manipulación de hidrocarburos. A lo largo de esta investigación se ha analizado la implementación de tecnologías avanzadas en el bombeo de crudo, evidenciando tanto los beneficios como los desafíos que enfrenta el sector en su proceso de transformación digital.

Uno de los principales hallazgos es que la automatización ha permitido minimizar la intervención manual en entornos operativos de alto riesgo, lo que ha mejorado significativamente la seguridad del personal y ha reducido la probabilidad de incidentes industriales. A través de sistemas de monitoreo en tiempo real y el uso de tecnologías como SCADA, IoT y controladores inteligentes, se ha logrado una mayor precisión en la supervisión de las condiciones del sistema de bombeo, facilitando la detección temprana de fallas y optimizando la toma de decisiones operativas. Sin embargo, este avance no ha estado exento de dificultades, ya que la integración de nuevas tecnologías con infraestructuras preexistentes sigue representando un reto significativo para muchas empresas del sector.

Otro aspecto relevante es que la percepción del personal técnico sobre la automatización varía en función de su nivel de conocimiento y experiencia en el uso de estos sistemas. Si bien

existe un reconocimiento generalizado sobre las ventajas que ofrece la automatización en términos de seguridad y eficiencia, también se ha identificado la necesidad de fortalecer los programas de capacitación y actualización tecnológica para los trabajadores. La falta de formación adecuada ha sido señalada como un factor que limita la confianza en los sistemas automatizados, lo que puede afectar su adopción y aprovechamiento óptimo.

La investigación también ha evidenciado que el mantenimiento preventivo es un factor determinante para garantizar la operatividad y confiabilidad de los sistemas automatizados. La ausencia de estrategias estructuradas de mantenimiento puede generar fallas inesperadas que impacten negativamente la productividad y la seguridad del proceso de transferencia de crudo. A pesar de que la automatización reduce la dependencia de la intervención manual, los equipos y sensores requieren revisiones periódicas y actualizaciones constantes para garantizar su correcto funcionamiento. En este sentido, se destaca la necesidad de establecer protocolos de mantenimiento eficientes que permitan maximizar la vida útil de los equipos y minimizar los tiempos de inactividad.

Desde una perspectiva económica, la automatización ha demostrado ser una inversión estratégica para las empresas petroleras, ya que contribuye a la optimización del uso de recursos, la reducción de costos operativos y la mejora en la precisión de la medición de hidrocarburos. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías implica costos elevados, lo que representa una barrera para aquellas empresas que aún operan con sistemas tradicionales. La compatibilidad de los nuevos sistemas con la infraestructura existente sigue siendo un desafío que requiere una planificación cuidadosa y una inversión progresiva en modernización.

En términos de sostenibilidad, la automatización ha contribuido a la reducción del impacto ambiental de la industria petrolera mediante la optimización del consumo energético y la disminución de emisiones contaminantes. La implementación de estrategias automatizadas ha permitido un mejor control del flujo de crudo y una reducción en las pérdidas de producto

durante el proceso de transferencia. No obstante, la sostenibilidad de estos sistemas dependerá de la capacidad de las empresas para integrar soluciones tecnológicas eficientes y adoptar buenas prácticas en la gestión de sus operaciones.

Referencias bibliográficas

- Alzate, P., & Giraldo, D. (2023). Tendencias de investigación del blockchain en la cadena de suministro: transparencia, trazabilidad y seguridad. *Revista Universidad y Empresa*, 25(44). <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.12451>
- Boné-Andrade, M. F. (2023). Inclusión Digital y Acceso a Tecnologías de la Información en Zonas Rurales de Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n2/40>
- Carrasco Mayorga, R. M. (2023). *Automatización del sistema de bombeo horizontal hps# 1 del pozo inyector Shushuqui 3 del campo libertador de ep Petroecuador* (Master's thesis, Quito, Ecuador: Universidad Tecnológica Israel). <http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/3504/1/UISRAEL-EC-MASTER-ELEC-AUTOM-378.242-2023-002.pdf>
- Carrillo Silva, N. Diseño de un control override de presión de succión/nivel para una celda de flotación de crudo/agua utilizando técnica con controladores difusos. <http://hdl.handle.net/11349/30602>
- Cedeño Núñez, V. E., & Gómez Assan, J. E. (2022). Automatización de sistema de bombeo para transferencia de crudo en el campo Shushufindi bloque 57. *ESPOL. FIEC*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57432>
- Dioses More, I. M. (2021). Implementación de un sistema Scada en el sistema de bombeo de estación 59 y 172 de refinería Talara–Piura, 2020. <https://hdl.handle.net/20.500.13032/21929>
- Erazo-Luzuriaga, A. F., Ramos-Secaira, F. M., Galarza-Sánchez, P. C., & Boné-Andrade, M. F. (2023). La inteligencia artificial aplicada a la optimización de programas informáticos. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(1), 48–63. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n1/61>
- Gallegos, M., & Castillo, T. (2022). Eficiencia, carga de trabajo, salud y seguridad ocupacional en la industria de la construcción en las principales ciudades del Ecuador. *Revista Digital Novasineria*, 5(1), 150-162. <https://doi.org/10.37135/ns.01.09.09>
- Ganchozo, M. L., Gómez, R. N., Moreira, G. F., & Chacon, J. R. (2023). Implementación de tecnologías de la Industria 4.0 para la seguridad industrial de Pymes. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria Pentaciencias*, 5(7), 333-342. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i7.943>
- Garcés Guerrero, M. D. L. (2023). *Automatización del sistema de control de la unidad de bombeo horizontal centrífugo Multi-etapa número dos de reinyección de agua de*

- Tapia* (Master's thesis, Quito, Ecuador: Universidad Tecnológica Israel). <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3878>
- Gómez, J. F. (2021). Eficiencia energética en el sector industrial. *Cuadernos Orkestra*. <https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/210005-Eficiencia-Energ%C3%A9tica-Sector-Industrial-INFORME-COMPLETO-.pdf>
- Guerra, C. B. M., Erazo, T. E. E., Freire, V. G. M., & Moreno, L. F. H. (2023). Tecnología Blockchain y su Implementación en los Sistemas Contables: Efectos en la Eficiencia y Transparencia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 8569-8597. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7578
- Hernández Ossa, J., Páez Henao, F. L., & León López, J. S. (2022). Importancia de implementar la digitalización documental notarial en cumplimiento de sus competencias optimizando la información, eficiencia y seguridad de documentos. <http://hdl.handle.net/20.500.12237/2400>
- Martínez Pérez, F., & Gassinski, L. (2022). La eficiencia energética y el papel del mantenimiento en la misma. *Ingeniería Energética*, 43(2), 10-18. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012022000200010&script=sci_arttext&lng=en
- Montalván-Vélez, C. L., Mogrovejo-Zambrano, J. N., Romero-Vitte, I. J., & Pinargote-Carrera, M. L. D. C. (2024). Introducción a la Inteligencia Artificial: Conceptos Básicos y Aplicaciones Cotidianas. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 173–183. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/93>
- Patiño, J. F. H., Carrascal, B. L. V., Bautista, D. R., & Díaz, N. G. (2023). Impacto transformador de la inteligencia artificial y aprendizaje autónomo en la producción agropecuaria: un enfoque en la sostenibilidad y eficiencia. *Formación Estratégica*, 7(1), 40-55. <https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/111>
- Ramos-Secaira, F. M. (2023). Seguridad Cibernética en Empresas Ecuatorianas: Prácticas y Retos Actuales. *Revista Científica Zambos*, 2(3), 16-28. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n3/47>
- Romero, A. D. P., Melo, S. C. C., Flores, G. C. A., & Isama, H. F. A. (2021). Sistemas de automatización en unidades LACT para la medición dinámica de hidrocarburos en la industria petrolera. *AlfaPublicaciones*, 3(3.1), 6-28. <https://doi.org/10.33262/ap.v3i3.1.73>
- Ronceros, C., Pomblas, R., & Salazar, J. (2023). Automatización del Sistema de Deshidratación de Crudo Mediano de una Estación de Flujo. *Revista Politécnica*, 51(2), 99-112. <https://doi.org/10.33333/rp.vol51n2.09>
- Villacres Ramos, C. R. (2023). *Monitoreo por IoT de los parámetros de funcionamiento de una bomba de reinyección de agua de tipo HPS con VSD* (Master's thesis, Quito, Ecuador: Universidad Tecnológica Israel). <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3888>