

Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas a Las URGs del  
CPF Cupiagua



**Título del proyecto de investigación**

Diseño De Un Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas Para Las URGs  
del CPF Cupiagua

Hector Danilo Quijano Torres

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

agosto de 2024

Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas a Las URGs del  
CPF Cupiagua

**Proyecto de investigación**

Diseño De Un Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas Para Las  
URGs del CPF Cupiagua

Hector Danilo Quijano Torres

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en  
Gerencia de Proyectos

Asesor(a)

Deivi David Fuentes Doria

PhD en Ciencia, Inteligencia Artificial

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

Diciembre de 2024

# Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas a Las URGs del CPF Cupiagua

## Contenido

Lista de tablas.....	5
Lista de figuras .....	6
Lista de anexos.....	7
Introducción.....	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1    La pregunta de investigación .....	14
1.2    Los objetivos de investigación .....	14
1.2.1    Objetivo general.....	14
1.2.2    Objetivos específicos .....	14
1.3    Justificación de la investigación .....	14
2. MARCO DE REFERENCIA .....	16
2.1. Marco de Antecedentes .....	16
2.2. Marco Teórico.....	19
2.2.1.    Digitalización.....	19
2.2.2.    Variables operativas.....	20
2.2.3.    Sistemas de adquisición .....	21
2.3. Marco normativo.....	23
3. METODOLOGÍA.....	24
3.1. Enfoque y alcance de la investigación.....	24
3.2. Población y muestra .....	25
3.2.1.    Definición de la población.....	25
3.2.2.    Cálculo y selección de la muestra.....	26
3.2.2.1.    Tipo de Muestreo.....	26
3.2.2.2.    Tamaño de la Muestra.....	27
3.3. Instrumento(s).....	28
3.4. Descripción de procedimientos .....	29
3.5. Análisis de información .....	30

# Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas a Las URGs del CPF Cupiagua

3.6. Consideraciones éticas .....	30
4. HIPÓTESIS .....	31
4.1.1. Variable(s) dependiente(s) .....	31
4.2. Planteamiento de hipótesis.....	32
5. RESULTADOS .....	34
6. ANALISIS DE RESULTADOS.....	37
7. CONCLUSIONES.....	40
8. Recomendaciones .....	44
Referencias .....	47
Anexos .....	50

# Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas a Las URGs del CPF Cupiagua

## Lista de tablas

Tabla 1. Características del Monitoreo de Variables Operativas en las URGs .....	34
Tabla 2. Impacto Percibido de la Digitalización en las Operaciones.....	35
Tabla 3. Necesidad de Digitalización en las Variables Operativas .....	36
Tabla 4. Necesidad de un Sistema Centralizado de Adquisición de Datos.....	37

Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas a Las URGs del  
CPF Cupiagua

**Lista de figuras**

Figura 1. Relación de Impacto de la Digitalización respecto a la Infraestructura ..... 35

# Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas a Las URGs del CPF Cupiagua

## **Lista de anexos**

Anexo 1: Encuesta a los operadores

Anexo 2: Encuesta a los aliados

# Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas a Las URGs del CPF Cupiagua

## Resumen

*El presente proyecto de investigación tiene como objetivo diseñar un plan para la digitalización de las variables operativas en las Unidades de Recuperación de Gas (URG) del CPF Cupiagua. La investigación se centra en evaluar la situación actual del monitoreo de variables críticas, el impacto de la digitalización en las operaciones, y la infraestructura tecnológica necesaria para soportar estos avances. A través de encuestas realizadas a 15 operadores y 30 aliados, se identificaron áreas clave como la frecuencia de monitoreo, la percepción positiva sobre la digitalización, y la insuficiencia de la infraestructura tecnológica para implementar soluciones avanzadas como sensores inteligentes y plataformas SCADA. Los resultados muestran que la digitalización es vista como una herramienta crucial para mejorar la eficiencia operativa, pero la infraestructura existente requiere una modernización urgente para facilitar la integración de nuevas tecnologías. Este estudio proporciona una base para futuros desarrollos en la transformación digital de procesos industriales en el sector energético, destacando la importancia de una infraestructura robusta y la capacitación del personal como elementos clave para el éxito de la digitalización. Además, se sugieren futuras investigaciones sobre el impacto económico de la digitalización y el análisis comparativo de tecnologías aplicadas en operaciones similares.*

**Palabras clave:** Digitalización, variables operativas, infraestructura tecnológica, monitoreo en tiempo real.

## Abstract

*This research project aims to design a plan for the digitalization of operational variables in the Gas Recovery Units (URG) at CPF Cupiagua. The study focuses on evaluating the current situation of monitoring critical variables, the impact of digitalization on operations, and the technological infrastructure required to support these advancements. Through surveys conducted with 15 operators and 30 allies, key areas such as monitoring frequency, positive perceptions of digitalization, and insufficient technological infrastructure to implement advanced solutions like smart sensors and SCADA platforms were identified. The results indicate that digitalization is seen as a crucial tool to enhance operational efficiency, but the existing infrastructure requires urgent modernization to facilitate the integration of new technologies. This study provides a foundation for future developments in the digital transformation of industrial processes in the energy sector, highlighting the importance of robust infrastructure and staff training as key elements for the success of digitalization. Additionally, future research is suggested on the economic impact of digitalization and comparative analysis of technologies applied in similar operations.*

**Keywords:** Digitalization, operational variables, technological infrastructure, real-time monitoring.

## Introducción

La digitalización en la industria petrolera ha emergido como una pieza clave en la optimización de operaciones y la maximización del rendimiento. En particular, en el contexto de las Unidades de Recuperación de Gas (URGs) del CPF Cupiagua, donde la eficiencia operativa y la seguridad son de suma importancia, la digitalización de las variables operativas se presenta como una oportunidad estratégica para potenciar la productividad y reducir costos, al tiempo que se refuerzan los estándares de seguridad y sostenibilidad. El presente plan para la digitalización de estas variables en el CPF Cupiagua se erige como un documento integral, diseñado para abordar de manera sistemática los desafíos y oportunidades inherentes a este proceso de transformación digital.

En este contexto, la introducción extensa de este plan busca contextualizar la importancia y la urgencia de la digitalización en el marco específico de las URGs del CPF Cupiagua, destacando tanto los beneficios potenciales como los retos a superar. A lo largo de esta introducción, se delinearán los objetivos, la metodología, los recursos necesarios y los resultados esperados de este plan, subrayando su relevancia para el crecimiento sostenible y la competitividad del CPF Cupiagua en el panorama energético actual. En última instancia, este plan aspira a trazar una hoja de ruta clara y efectiva hacia una operación más eficiente, segura y adaptable a los desafíos futuros que enfrenta la industria petrolera.

La importancia del estudio radica en la capacidad de la digitalización para transformar las operaciones en la industria petrolera, optimizando el uso de recursos y mejorando la eficiencia operativa. En particular, en el CPF Cupiagua, la integración de tecnologías digitales en la monitorización y control de las URGs ofrece la posibilidad de incrementar la producción de gas y reducir los tiempos de inactividad. Además, el análisis de variables operativas a través de plataformas digitales facilita la toma de decisiones basadas en datos en tiempo real, lo que potencia la seguridad, la sostenibilidad y la

competitividad en un mercado energético en constante evolución. El estudio también aborda el análisis de riesgos, mediante herramientas como el HAZOP (Hazard and Operability Study) y LOPA (Layer of Protection Analysis), para identificar y mitigar posibles fallos en los procesos. Se implementarán estrategias de integridad a corto y mediano plazo, asegurando no solo la confiabilidad operativa, sino también el cumplimiento de las normativas de seguridad y la protección del entorno, maximizando los beneficios de la digitalización a través de un enfoque proactivo hacia la gestión de riesgos.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La digitalización en la industria petrolera, especialmente en las Unidades Regeneradoras de Glicol (URG), se ha consolidado como un proceso transformador que optimiza las operaciones y maximiza la eficiencia en la recuperación de gas. En este contexto, la implementación de tecnologías avanzadas como el monitoreo en tiempo real, la automatización de procesos y el análisis predictivo ha generado importantes avances en la optimización de los sistemas de deshidratación de gas. Sin embargo, la literatura actual revela que este proceso también presenta múltiples desafíos técnicos y operacionales que requieren atención. Entre los problemas más relevantes se encuentran:

La integración de tecnologías digitales con sistemas heredados: La implementación de soluciones digitales en las Unidades Regeneradoras de Glicol (URG) requiere una integración robusta y fluida con los sistemas de control y automatización existentes. La compatibilidad entre plataformas es esencial para evitar disfunciones operativas y garantizar una gestión eficiente de los datos. La falta de interoperabilidad entre tecnologías antiguas y nuevas puede generar inconsistencias en los procesos de monitoreo y control, afectando la capacidad de las URG para operar de manera óptima. Es fundamental modernizar y optimizar los sistemas de control de las unidades de deshidratación con glicol, lo que implica una revisión y adaptación de las arquitecturas tecnológicas actuales. Esta actualización debe abordar la integración de nuevas plataformas digitales y la mejora de la precisión de los sistemas de monitoreo, para asegurar una mayor eficiencia operativa, reducir costos y minimizar los riesgos asociados con la operación.

La capacitación del personal en nuevas competencias digitales La implementación de tecnologías avanzadas en las Unidades Regeneradoras de Glicol (URG) requiere que el personal operativo adquiera habilidades específicas para manejar sistemas digitales complejos, como plataformas de monitoreo en tiempo real, control automático y análisis predictivo. La resistencia al cambio organizacional, combinada con una formación

insuficiente, puede convertirse en un obstáculo significativo para la integración efectiva de soluciones digitales. La capacitación continua y especializada en la integración de sistemas de automatización industrial es esencial para que los operarios puedan adaptar sus competencias a los nuevos requerimientos tecnológicos. Este proceso formativo debe incluir no solo el manejo de las herramientas digitales, sino también una comprensión profunda de su funcionamiento y sus implicaciones en la seguridad, eficiencia y fiabilidad operativa. El desafío consiste en dotar al personal de las capacidades necesarias para gestionar y operar las nuevas tecnologías de manera eficiente, lo que permitirá una transición exitosa hacia una operación más digitalizada y automatizada en las URG.

La gestión efectiva de grandes volúmenes de datos operacionales: La digitalización en las Unidades Regeneradoras de Glicol (URG) genera grandes volúmenes de datos operacionales que, para ser utilizados de manera efectiva, requieren una interpretación adecuada que permita la optimización de los procesos. Estos datos provienen de diversas fuentes, como sensores, plataformas de monitoreo y sistemas de control, y su procesamiento requiere el uso de herramientas analíticas avanzadas, como algoritmos de machine learning e inteligencia artificial. Sin una infraestructura adecuada para gestionar y analizar estos datos, se limitan los beneficios potenciales de la digitalización, ya que se dificulta la capacidad de identificar patrones, predecir fallos y optimizar los parámetros operativos. La integración de señales analógicas y digitales en los sistemas de control es esencial para garantizar una operación eficiente de las URG, ya que permite la sincronización entre las tecnologías tradicionales y las soluciones digitales avanzadas. La investigación en este ámbito debe centrarse en el desarrollo de infraestructuras robustas capaces de manejar grandes volúmenes de datos y en la creación de metodologías de análisis que maximicen los beneficios operacionales de las URG mediante la digitalización.

La ciberseguridad: La interconexión de sistemas digitales en las Unidades Regeneradoras de Glicol (URG) aumenta la exposición a ciberataques, lo que requiere la implementación de medidas de seguridad avanzadas para proteger tanto la integridad de los datos como la continuidad operativa. Los sistemas de monitoreo y control

digitalizados generan grandes volúmenes de información crítica, lo que los convierte en un objetivo vulnerable. Es esencial aplicar protocolos robustos de encriptación, autenticación multifactorial y monitoreo constante para evitar accesos no autorizados y minimizar riesgos. Además, la digitalización de los procesos debe considerar la seguridad como un componente integral, implementando medidas preventivas para detectar y mitigar posibles incidentes cibernéticos. Esto garantiza la protección de la infraestructura crítica, evitando fallos operacionales que puedan tener consecuencias ambientales o económicas significativas. A medida que la automatización avanza, se debe fortalecer la protección de los equipos, evaluando continuamente factores como la corrosión que puedan afectar la operatividad y seguridad.

Estos retos no solo afectan la eficiencia y seguridad operativa, sino que también inciden en la sostenibilidad económica y ambiental de las operaciones. A pesar de las oportunidades que la digitalización ofrece, las dificultades técnicas y organizacionales deben ser superadas para garantizar una implementación exitosa y a largo plazo

Además de los desafíos ampliamente documentados en la literatura sobre la digitalización en la industria petrolera, se han identificado problemas específicos que afectan de manera particular a las Unidades Regeneradoras de Glicol (URG) y que requieren atención urgente para garantizar una implementación exitosa de las tecnologías digitales. Estos problemas incluyen la complejidad en la integración de los sistemas digitales con las plataformas de control existentes, la falta de infraestructura adecuada para soportar el análisis de grandes volúmenes de datos generados por los nuevos sistemas, y la necesidad de adaptarse a nuevas metodologías de operación y monitoreo que impliquen un cambio profundo en la gestión de los procesos operativos. Además, las URG enfrentan retos relacionados con la resistencia al cambio por parte del personal, que puede estar habituado a los métodos tradicionales de operación y tener dificultades para adaptarse a nuevas herramientas y sistemas digitales. También se observan deficiencias en la capacitación técnica del personal, lo que puede obstaculizar la correcta operación y el aprovechamiento de las nuevas tecnologías implementadas. Estas cuestiones, sumadas a los riesgos inherentes a la ciberseguridad y la interoperabilidad de los sistemas, destacan la necesidad de un enfoque integral que no

solo aborde los aspectos tecnológicos, sino también los organizacionales y humanos, para asegurar el éxito a largo plazo de la digitalización en las URG.

## **1.1 La pregunta de investigación**

¿Cómo diseñar un plan para la digitalización de las variables operativas para las URGs del CPF Cupiagua?

## **1.2 Los objetivos de investigación**

### **1.2.1 Objetivo general**

Diseñar un plan para la digitalización de las variables operativas para las URGs del CPF Cupiagua

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Realizar un análisis exhaustivo de las variables operativas clave en las URGs para su monitoreo.

Evaluar las tecnologías más adecuadas para digitalizar las variables operativas, considerando la infraestructura actual y las necesidades específicas de las URGs.

Diseñar un sistema de adquisición de datos que permita recopilar y almacenar de manera eficiente la información de las variables operativas en tiempo real.

## **1.3 Justificación de la investigación**

La digitalización de las variables operativas en las Unidades Regeneradoras de Glicol (URGs) del CPF Cupiagua es un proyecto de suma importancia tanto desde un punto de vista académico como científico y social. En un contexto donde la industria

petrolera enfrenta constantes desafíos relacionados con la eficiencia operativa, la seguridad y la sostenibilidad, la implementación de un plan de digitalización se vuelve imperativa para asegurar la viabilidad a largo plazo del CPF Cupiagua y su contribución al desarrollo regional.

Este estudio proporcionará una oportunidad invaluable para explorar y aplicar los principios y metodologías de la ingeniería de control y la gestión de activos en un entorno industrial real. El diseño de un plan para la digitalización de las variables operativas implicará la aplicación de conocimientos teóricos en áreas como la instrumentación y el monitoreo en tiempo real, así como la optimización de procesos y la toma de decisiones basadas en datos. Estos aspectos no solo enriquecerán la formación académica de los estudiantes involucrados en el proyecto, sino que también fomentarán el desarrollo de habilidades prácticas y la capacidad para abordar desafíos complejos en el campo de la ingeniería.

También ofrecerá la oportunidad de generar nuevos conocimientos y contribuir al avance de la tecnología en la industria petrolera. La digitalización de las variables operativas no solo implica la implementación de soluciones tecnológicas existentes, sino también la exploración de innovaciones y enfoques de vanguardia para mejorar la eficiencia y la seguridad en las operaciones del CPF Cupiagua. Los hallazgos y resultados obtenidos de este estudio podrían servir como base para investigaciones futuras y proyectos de desarrollo tecnológico en áreas relacionadas con la monitorización remota, el análisis de datos en tiempo real y la gestión inteligente de activos en la industria petrolera.

## **2. MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1. Marco de Antecedentes**

De acuerdo con Melania L. et al (2016) en su investigación que tuvo como título Propuesta metodológica para monitorizar variables operativas, aplicada a sistemas de depuración natural de agua residuales, como herramienta de aprendizaje en el campo de ingeniería, cuyo objetivo fue proponer una metodología para mejorar el funcionamiento de sistemas de depuración natural aplicados a explotaciones ganaderas. El autor realiza una metodología educativa o de enseñanza con un enfoque principalmente cualitativo. El autor obtiene como resultado la capacidad de los estudiantes para resolver problemas de manera autónoma, empleando el razonamiento crítico, la creatividad y la habilidad para comunicar y transmitir conocimientos en el ámbito tecnológico y de la depuración de aguas residuales. El autor concluye que el desarrollo de este proyecto y la utilización de la tecnología propuesta en investigación y docencia tienen el potencial de generar nuevos proyectos de investigación y facilitar el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería.

De acuerdo Daniel Perez et al (2018) en su investigación el autor tuvo como título Economía del dato y transformación digital en pymes industriales: Retos y oportunidades, cuyo objetivo de este artículo es analizar las causas del retraso en la transformación digital de las pymes industriales españolas, con el fin de contribuir a reducir esta brecha y facilitar su integración en la economía del dato. El autor realiza metodología cuantitativa. El autor divide sus hallazgos en dos partes: en la primera, se analiza el nivel de comprensión que tienen las empresas respecto al concepto de economía del dato y transformación digital, mientras que en la segunda parte se identifican los factores que funcionan como obstáculos para la adopción de la transformación digital. El autor concluye la importancia crucial de la economía del dato y las tecnologías asociadas, como factores determinantes en los ámbitos económico, social y cultural. A pesar de ello, la transformación digital en las empresas españolas, especialmente en las pymes industriales, avanza a un ritmo lento, lo que aumenta el riesgo de exclusión y pérdida de

competitividad. La investigación existente se centra mayormente en describir el fenómeno y prever sus implicaciones económicas, con un enfoque tecnológico predominante. Por ende, es necesario profundizar con enfoques más gerenciales y abordar las barreras y efectos concretos de la transformación digital. El estudio realizado se enfoca en 62 pymes industriales, revelando un bajo nivel de comprensión sobre la economía del dato y la transformación digital, así como una percepción errónea de su relevancia y complejidad.

De acuerdo con Trujillo et al (2022) en su investigación el autor tuvo como título transformación digital en America Latina: una revisión sistemática. Cuyo objetivo El objetivo de la investigación fue explorar la transformación digital en América Latina, vista desde las temáticas trabajadas en investigaciones recientes. El autor realiza una metodología cualitativa en la revisión sistemática que permite conocer el estado de arte de las variables en áreas o temas de interés ligados a la transformación digital en América latina y las bases de datos utilizadas fueron WOS y Science Direct tomando como período desde 2019 al 2022. Los resultados del autor muestran que las investigaciones en el tema de la transformación digital en la región se orientaron de acuerdo con tres áreas: La educación, las empresas y las personas. El autor concluye que la digitalización global es un fenómeno que venía en desarrollo, pero que experimentó una aceleración inesperada como resultado de la pandemia COVID-19.

De acuerdo con Patricio et al (2022), en su investigación el autor tuvo como título Transformación digital en las empresas: una revisión conceptual, cuyo objetivo es realizar una revisión bibliográfica, además, de reflexionar acerca de la teoría encontrada referente a digitalización y su trascendencia en las organizaciones. El autor empleó una metodología basada en un estudio exploratorio sobre la transformación digital desde la perspectiva empresarial. Este proceso de investigación se estructuró en cuatro etapas: Planeación, Búsqueda, Captación, y Análisis y tratamiento de la información. Cada una de estas fases se apoyó en herramientas tecnológicas para la recolección y organización de datos. Además, se aplicó el método científico analítico-sintético para analizar la información recopilada y sintetizar los hallazgos. El autor concluye que la transformación digital enfatiza la incorporación de tecnologías

emergentes en la cadena de valor de las organizaciones. Esto ha permitido que empresas como Google, Amazon, Facebook, Apple o Uber optimicen sus recursos materiales, temporales y financieros de manera más efectiva. Además, la transición digital ha implicado la aceptación de desafíos y retos en el ámbito digital, social y económico.

De acuerdo con Ignacio et al (2021), en su investigación el autor tuvo como título Análisis de la transformación digital de las empresas en Colombia: Dinámicas globales y desafíos actuales, cuyo objetivo realizar un análisis documental de los principales aspectos que definen la transformación digital, así como una observación descriptiva del nivel de desarrollo de las empresas colombianas en comparación con diversos estudios que han investigado las brechas de crecimiento en este contexto crucial. El autor realiza una metodología investigación cualitativa, señalado por autores como Binda y Balbastre (2013) como un método idóneo para la observación y análisis de fenómenos vinculados a los aspectos productivos, económicos y relacionados con las actividades empresariales y tecnológicas. El autor tiene como resultado la digitalización empresarial implica la implementación de modificaciones en los procedimientos, los puntos de interacción, los servicios y productos, así como en los modelos de negocio, lo que conlleva a los empresarios a reevaluar sus entornos, los elementos que impactan en sus rendimientos, y a reconsiderar nuevas estrategias competitivas en sus respectivos mercados (Roca, 2013). El autor concluye en el contexto colombiano, las pequeñas y medianas empresas (pymes) conforman el mayor grupo del entramado productivo. Sin embargo, debido a sus características, enfrentan brechas significativas de desarrollo que afectan su supervivencia y crecimiento. La transformación digital emerge como una alternativa estratégica para abordar estas deficiencias sin necesidad de grandes inversiones de capital. A pesar de ello, persisten debilidades en la comprensión de estos recursos y en la forma en que las herramientas digitales pueden contribuir al desarrollo empresarial. El desafío para las organizaciones radica en analizar las diferentes alternativas y, basándose en una evaluación ajustada a su mercado, diseñar el mejor plan para una transición oportuna y segura hacia la transformación digital.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1. Digitalización**

La digitalización se define como el proceso de transformación de información y procesos analógicos en formatos digitales, permitiendo su procesamiento mediante sistemas computacionales. Según Parviainen et al. (2017), este concepto implica no solo la conversión de datos, sino también la integración de tecnologías digitales para optimizar las operaciones en diversos sectores. Para Matt et al. (2015), la digitalización es un elemento clave en la transformación digital de las organizaciones, ya que crea una conexión entre lo físico y lo digital, habilitando la automatización y la recopilación de datos en tiempo real. En el ámbito industrial, Pérez-López et al. (2020) destacan que este proceso busca mejorar la eficiencia operativa y reducir errores humanos mediante herramientas tecnológicas avanzadas.

Desde una perspectiva más técnica, Anderl (2015) define la digitalización como la implementación de tecnologías digitales, como sensores inteligentes, plataformas de monitoreo remoto y sistemas SCADA, para recopilar, procesar y analizar datos operativos en tiempo real. De acuerdo con Ardito et al. (2019), este proceso transforma la manera en que se gestionan las operaciones industriales, facilitando el control y la supervisión mediante soluciones integradas de hardware y software. Por su parte, Lasi et al. (2014) argumentan que la digitalización permite un flujo continuo de información, lo cual es esencial para la toma de decisiones informada en entornos productivos.

En el contexto de las Unidades Regeneradoras de Glicol (URGs) del CPF Cupiagua, la digitalización implica la implementación de soluciones tecnológicas para el monitoreo de variables operativas clave, como temperatura, presión y flujo. Según Iansiti & Lakhani (2020), este tipo de transformación permite la captura de datos con mayor precisión y frecuencia, mejorando la capacidad de respuesta frente a eventos críticos. Además, autores como Holmström & Partanen (2014) subrayan que la digitalización en

sectores industriales específicos no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también facilita la integración de sistemas predictivos para la gestión de activos.

Finalmente, autores como Buer et al. (2018) destacan que la digitalización no solo transforma procesos existentes, sino que también habilita la creación de nuevos modelos operativos basados en datos. Esto es particularmente relevante en industrias de alta complejidad como las URGs, donde la precisión y la confiabilidad de las operaciones son críticas. La implementación de tecnologías como sensores inteligentes y plataformas de monitoreo remoto, respaldada por una infraestructura adecuada, es clave para garantizar que las operaciones sean seguras, eficientes y adaptables a las demandas actuales y futuras. Así, la digitalización se posiciona como un eje central en la evolución de las operaciones industriales modernas.

### **2.2.2. Variables operativas**

Las variables operativas se definen como los parámetros medibles y controlables que determinan el rendimiento y la eficiencia de un proceso industrial. Según Fernández y Cari (2014), en las Unidades Regeneradoras de Glicol (URGs), estas incluyen temperatura, presión, caudal de gas y flujo de glicol, todos críticos para garantizar la calidad del gas deshidratado. Por su parte, Mourtzis et al. (2016) destacan que el monitoreo y control de estas variables son esenciales para optimizar los recursos y minimizar las fallas en los sistemas operativos, permitiendo un enfoque más dinámico y adaptable a las necesidades de producción.

La digitalización de variables operativas implica la implementación de tecnologías avanzadas que permitan su monitoreo y control en tiempo real. Según Sixphere (2022), este proceso requiere una infraestructura tecnológica que integre sensores inteligentes, sistemas de adquisición de datos y plataformas digitales para procesar la información. Del mismo modo, Ardito et al. (2019) argumentan que la digitalización transforma la manera en que se gestionan las operaciones industriales, permitiendo una toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados. Holmström & Partanen (2014)

señalan que esta transformación no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la sostenibilidad de los procesos.

En el contexto de las URGs del CPF Cupiagua, el análisis de variables operativas clave es crucial para identificar oportunidades de mejora y diseñar estrategias de digitalización. Según Tip Engineering SAC (2022), la implementación de sensores inteligentes y sistemas IoT permite capturar datos en tiempo real y realizar ajustes automáticos en las operaciones, mejorando la confiabilidad del sistema. Asimismo, Rockwell Automation (2022) subraya que la integración de sistemas avanzados de control y monitoreo facilita la gestión de variables críticas, adaptándose a las condiciones específicas de cada instalación industrial.

Finalmente, el diseño de un sistema de adquisición de datos eficiente debe considerar tanto la recopilación como el almacenamiento de información en tiempo real. Dusun IoT (2023) destaca que los sistemas IoT en la industria del gas permiten la automatización de procesos, mejorando la precisión del monitoreo y reduciendo el margen de error humano. Además, Metso (2024) resalta que el uso de tecnologías de modelamiento avanzado y realidad aumentada puede optimizar el análisis predictivo de las variables operativas, fortaleciendo la capacidad de respuesta ante eventos críticos. Estas contribuciones posicionan a las variables operativas como el eje central de la transformación digital en entornos industriales complejos como las URGs.

### **2.2.3. Sistemas de adquisición**

Los sistemas de adquisición de datos (SAD) se definen como plataformas tecnológicas que recopilan, procesan y almacenan información operativa de manera automatizada, permitiendo el monitoreo y análisis en tiempo real. Según Johnson et al. (2016), un SAD eficiente integra sensores, hardware y software, logrando registrar variables críticas como temperatura, presión y caudal. Para Kim et al. (2017), estos sistemas son esenciales en industrias con alta dependencia de la precisión operativa, ya que optimizan la toma de decisiones mediante datos confiables y en tiempo real. Por su

parte, Lasi et al. (2014) destacan que los SAD son la base de la digitalización en entornos industriales, al conectar las operaciones físicas con plataformas digitales de monitoreo.

La implementación de un SAD eficaz comienza con la identificación de variables clave. Fernández y Cari (2014) enfatizan que variables como temperatura, presión y flujo de glicol en Unidades Regeneradoras de Glicol (URGs) son fundamentales para garantizar la eficiencia del proceso. Holmström & Partanen (2014) sugieren que la selección de sensores inteligentes y protocolos de comunicación adecuados permite una digitalización robusta, asegurando la integridad de los datos en todo momento. Asimismo, Ardito et al. (2019) subrayan que los SAD no solo recopilan datos, sino que también habilitan capacidades predictivas, anticipando problemas operativos y reduciendo riesgos.

El diseño de un SAD debe integrar plataformas avanzadas como SCADA o sistemas IoT, que permiten la gestión de datos en tiempo real y facilitan su análisis. Según Dusun IoT (2023), estos sistemas son altamente escalables y se adaptan a las necesidades específicas de cada operación, lo que los convierte en herramientas clave en industrias complejas como el gas natural. Rockwell Automation (2022) agrega que la integración de sistemas de monitoreo remoto y almacenamiento en la nube mejora la capacidad de supervisión y reduce el margen de error humano. Estas tecnologías no solo optimizan las operaciones actuales, sino que también permiten una planificación a largo plazo basada en datos históricos y análisis predictivo.

Finalmente, la capacitación del personal y la implementación de protocolos de mantenimiento son elementos esenciales para garantizar la funcionalidad y sostenibilidad de los SAD. Buer et al. (2018) argumentan que la formación adecuada mejora la adopción de estas tecnologías por parte del personal, asegurando su uso óptimo. Metso (2024) resalta que los SAD modernos deben ser diseñados no solo para recopilar datos, sino para integrarse con herramientas avanzadas de análisis, creando un ecosistema digital que potencie la eficiencia operativa y permita la toma de decisiones informada en tiempo real. Esto posiciona a los SAD como elementos indispensables en la transformación digital de las URGs.

### **2.3. Marco normativo**

El diseño de un plan para la digitalización de las variables operativas de las URGs del CPF Cupiagua se relaciona directamente con la Ley 1341 de 2009, que establece principios sobre la sociedad de la información y las TIC, proporcionando la base para la adopción de tecnologías avanzadas como sensores y sistemas de monitoreo digital. Asimismo, la Ley 1712 de 2014, al fomentar la transparencia y el acceso a la información, refuerza la necesidad de un manejo responsable y trazable de los datos operativos, asegurando que estos sean accesibles y confiables para la toma de decisiones.

El Decreto 1078 de 2015 consolida las normativas del sector TIC, garantizando la interoperabilidad de los sistemas tecnológicos, un aspecto crucial para integrar plataformas digitales y sensores inteligentes en las URGs. Por otro lado, la Ley 1955 de 2019 y la Ley 2106 de 2019 promueven la simplificación y optimización de procesos mediante la digitalización, lo que respalda directamente la modernización de las operaciones industriales y la automatización de tareas clave como la recopilación de datos.

El Decreto 620 de 2020 y la Resolución MinTIC 2160 de 2020 establecen lineamientos específicos para la implementación de servicios digitales, incluyendo la adopción de sistemas avanzados como SCADA e IoT en entornos industriales. Estas normativas refuerzan la importancia de utilizar tecnologías que permitan un monitoreo eficiente y seguro de las variables operativas en tiempo real. Además, la Ley 2052 de 2020 se enfoca en la racionalización de trámites, lo que impulsa la necesidad de automatizar procesos y reducir la dependencia de métodos manuales en las operaciones de las URGs.

Finalmente, el Decreto 767 de 2022 y la Ley 2294 de 2023 dentro del marco de la Política de Gobierno Digital y el Plan Nacional 2022-2026 consolidan la estrategia nacional para la transformación digital. Estas normativas promueven la implementación de tecnologías avanzadas que aseguren la sostenibilidad, eficiencia y modernización de operaciones críticas como las desarrolladas en el CPF Cupiagua. Este marco normativo

respalda integralmente la digitalización de las variables operativas en las URGs, asegurando su alineación con las políticas nacionales de modernización tecnológica.

### **3. METODOLOGÍA**

La investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo, ya que se centrará en la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con las variables operativas de las Unidades Regeneradoras de Glicol (URGs) del CPF Cupiagua. Este enfoque permitirá medir y analizar de manera precisa las condiciones actuales de las operaciones y evaluar el impacto que la digitalización puede tener en la eficiencia y seguridad operativa.

El alcance de la investigación es descriptivo y correlacional. En la fase descriptiva, se documentarán y caracterizarán las variables operativas clave que requieren digitalización en las URGs. Posteriormente, en la fase correlacional, se analizará la relación entre la implementación de sistemas digitales y la mejora en los indicadores de eficiencia operativa.

#### **3.1. Enfoque y alcance de la investigación**

La investigación se centra en la medición precisa de variables operativas críticas como presión, temperatura, y caudal en las URGs, utilizando sensores industriales de alta precisión y sistemas de monitoreo automatizados. Estas herramientas garantizan la obtención de datos confiables y consistentes, minimizando los errores asociados a la intervención manual. Los sistemas automatizados permitirán la recolección de información en tiempo real, proporcionando una base técnica sólida para la evaluación y optimización de los procesos operativos en el CPF Cupiagua.

El análisis estadístico de los datos recolectados se realizará mediante métodos avanzados para identificar patrones, correlaciones y tendencias en las variables

operativas. Este enfoque permitirá evaluar el impacto de la digitalización en la eficiencia de los procesos y en la mitigación de riesgos operativos. La modelización de datos permitirá explorar relaciones clave entre las variables y generar predicciones que mejoren la toma de decisiones estratégicas en el ámbito técnico-operativo.

Se realizará una comparación técnica detallada entre las condiciones operativas antes y después de implementar el plan de digitalización. Este análisis cuantitativo determinará el grado de mejora en la eficiencia y confiabilidad de las operaciones gracias a la incorporación de sistemas digitales. La validación del impacto incluirá métricas específicas como reducción de variabilidad, optimización de flujos y mejora en los tiempos de respuesta, asegurando un enfoque técnico robusto.

Los resultados obtenidos serán escalables y replicables en otras unidades del CPF Cupiagua y en plantas similares, incrementando el valor práctico de la investigación. La utilización de instrumentos estandarizados, como sensores calibrados y software especializado para el análisis de datos, garantizará la consistencia técnica en el proceso. Esto permitirá establecer un modelo de referencia para la implementación de soluciones digitales en la industria del gas, asegurando una metodología rigurosa y alineada con estándares operativos internacionales.

## **3.2. Población y muestra**

### **3.2.1. Definición de la población**

La población de estudio está constituida por las Unidades Regeneradoras de Glicol (URGs) del Centro de Procesamiento de Fluidos (CPF) Cupiagua, una instalación industrial en Colombia dedicada al procesamiento de crudo y gas. Estas unidades desempeñan una función crítica en la recuperación y regeneración del glicol utilizado en la deshidratación del gas natural, un proceso clave para garantizar la calidad del gas y prevenir problemas de corrosión en las líneas de transporte. Cada URG está equipada con componentes técnicos como torres de destilación, bombas centrífugas,

intercambiadores de calor de placas, válvulas de control, y sensores de presión, temperatura y caudal.

Operativamente, las variables críticas monitoreadas en estas unidades incluyen presión, temperatura, caudal y niveles de glicol, los cuales son esenciales para el funcionamiento continuo y eficiente de los sistemas. Sin embargo, el estado actual de automatización de las URGs es limitado, ya que la mayor parte de la adquisición de datos se realiza manualmente por los operadores, con mediciones que se registran dos veces al día. Este método genera desafíos en términos de precisión, consistencia y capacidad de respuesta ante variaciones operativas.

La intervención manual en la adquisición de datos operativos incrementa la probabilidad de errores humanos y limita la capacidad de identificar y reaccionar de manera oportuna a anomalías en el sistema. Esta condición operacional subraya la necesidad de implementar tecnologías avanzadas para digitalizar el monitoreo y procesamiento de las variables operativas, mejorando la eficiencia y la confiabilidad de las URGs dentro del CPF.

El análisis técnico de esta población tiene como objetivo evaluar el impacto de un sistema de digitalización para optimizar la adquisición de datos y reducir la dependencia de métodos manuales. Esto permitirá un monitoreo en tiempo real más preciso, una mejor capacidad de diagnóstico y una respuesta más efectiva a las condiciones operativas cambiantes.

### **3.2.2. Cálculo y selección de la muestra**

### **3.2.3. Tipo de Muestreo**

El tipo de muestreo utilizado en esta investigación será no probabilístico, específicamente un muestreo por criterio o juicio. Este tipo de muestreo es adecuado debido a las características específicas de las Unidades Regeneradoras de Glicol

(URGs) y la necesidad de seleccionar aquellas unidades que presenten una mayor relevancia operativa y un mayor potencial para la implementación exitosa de la digitalización.

### 3.2.4. Tamaño de la Muestra

Para determinar el tamaño de la muestra, se considerará un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. Sin embargo, dado que se trata de un muestreo no probabilístico, la selección final de la muestra estará más influenciada por la relevancia operativa de las URGs en lugar de un cálculo estadístico estricto. A continuación, se muestra el procedimiento general para el cálculo, aunque en este caso, se aplicará un criterio adaptativo en función de las características específicas de la población.

El tamaño de la muestra se puede estimar con la siguiente fórmula estadística para poblaciones finitas:

Donde:

$$\eta = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}$$

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población total (número total de URGs en el CPF Cupiagua)

Z = Valor Z correspondiente al nivel de confianza (para un 95%, Z=1.96)

p = Proporción esperada de la muestra que tiene la característica de interés (si no se conoce, se utiliza p=0.5)

e = Margen de error (5%)

Dado que la investigación tiene un enfoque práctico y adaptativo, el cálculo del tamaño de la muestra se complementará con un criterio de selección basado en la relevancia y criticidad de las unidades seleccionadas.

### **3.3. Instrumento(s)**

Se ha determinado que el instrumento principal de recolección de información será la implementación de sensores digitales avanzados. Estos sensores son dispositivos tecnológicos de alta precisión, diseñados específicamente para la monitorización continua de variables operativas críticas dentro de las Unidades Regeneradoras de Glicol (URGs). La elección de estos sensores como el principal instrumento de recolección se basa en su capacidad para proporcionar mediciones exactas y en tiempo real de parámetros vitales como la presión, la temperatura y el caudal, los cuales son fundamentales para el control eficiente y seguro de los procesos industriales en dichas unidades.

La utilización de sensores digitales en este contexto no solo garantiza la obtención de datos confiables, sino que también permite una integración directa con sistemas de gestión y análisis de datos en tiempo real. Esto es crucial para el proyecto de investigación, ya que la digitalización de las variables operativas requiere una recopilación de datos que sea precisa, oportuna y consistente, eliminando la dependencia de los métodos manuales de recolección que pueden estar sujetos a errores humanos y a limitaciones en la frecuencia de medición.

Además, estos sensores están configurados para operar bajo condiciones industriales adversas, asegurando la continuidad en la recolección de datos incluso en ambientes de alta presión o temperatura, lo que es común en las URGs. La capacidad de estos instrumentos para almacenar y transmitir grandes volúmenes de datos en tiempo real a una base de datos centralizada proporciona una ventaja significativa en

términos de la rapidez y eficiencia en el procesamiento de la información. Esto, a su vez, facilita el análisis de tendencias operativas, la detección temprana de anomalías y la toma de decisiones informadas y proactivas en la gestión de las URGs.

En el marco de este proyecto de investigación, el uso de sensores digitales representa una innovación clave, alineada con los objetivos de modernización y optimización de los procesos industriales en el CPF Cupiagua. La implementación de este instrumento permitirá no solo la mejora en la eficiencia operativa, sino también la elevación de los estándares de seguridad y sostenibilidad, aspectos críticos en la operación de instalaciones petroleras.

### **3.4. Descripción de procedimientos**

El levantamiento de información en el proyecto "Diseño De Un Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas Para URGs Del CPF Cupiagua" demanda una planificación meticulosa que integre aspectos técnicos, operativos y éticos. Un cronograma detallado debe sincronizar la instalación de sensores, entrevistas y análisis de registros, considerando márgenes de flexibilidad ante posibles imprevistos. La coordinación interdepartamental es esencial para alinear estas actividades con las operaciones del CPF, minimizando interrupciones y optimizando la integración. Además, las autorizaciones formales y el cumplimiento riguroso de protocolos de seguridad industrial son pilares fundamentales, especialmente en un entorno de alta complejidad operativa como Cupiagua.

El cumplimiento estricto de protocolos de seguridad industrial es clave, especialmente durante la instalación de sensores en áreas de alto riesgo. Esto incluye la supervisión constante, el uso de EPP adecuado y la programación de actividades fuera de horarios pico para reducir el impacto operativo. Además, es fundamental evaluar el proceso al concluir la recolección, asegurando que se hayan cumplido los objetivos y que los datos recopilados sean suficientes para la investigación.

### **3.5. Análisis de información**

El procesamiento de información en el proyecto "Diseño De Un Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas Para URGs Del CPF Cupiagua" se fundamenta en una metodología técnica y rigurosa que transforma datos dispersos en insumos coherentes para el análisis. La digitalización de registros operativos manuales mediante escaneo y sistematización garantiza compatibilidad con herramientas avanzadas, permitiendo la integración de datos históricos con mediciones en tiempo real. Este enfoque no solo optimiza la precisión del registro, sino que establece las bases para una visión holística de las variables operativas críticas.

La limpieza y organización de los datos, realizada con herramientas como Excel y Power BI, representa un eje filosófico de estructuración y sentido en los procesos digitales. La detección de anomalías, la corrección de errores y la visualización de tendencias emergentes no solo son técnicas operativas, sino también prácticas que reflejan el compromiso con la coherencia y la capacidad predictiva. Este enfoque traduce la complejidad operacional en un modelo de conocimiento accesible, proyectando las URGs hacia un paradigma de eficiencia y adaptabilidad.

### **3.6. Consideraciones éticas**

Las consideraciones éticas son fundamentales para la realización de cualquier proyecto de investigación, y en este caso, se aplicarán de acuerdo con las normativas definidas por Uniminuto y los estándares éticos aceptados por la comunidad científica internacional. A continuación, se detalla cómo se integrarán estas consideraciones éticas en cada fase del proyecto "Diseño De Un Plan Para La Digitalización De Las Variables Operativas Para URGs Del CPF Cupiagua".

## 4. HIPÓTESIS

Fluctuación: La variabilidad en esta variable está determinada por el grado de implementación y la sofisticación del sistema de digitalización, así como por la cobertura de las variables monitoreadas (por ejemplo, la cantidad de sensores instalados, el tipo de datos recolectados, y la integración con los sistemas de control existentes).

### 4.1.1. Variable(s) dependiente(s)

#### Eficiencia Operativa de las URGs

Descripción: Esta variable mide el desempeño de las Unidades Regeneradoras de Glicol en términos de su eficiencia operativa, que incluye aspectos como la estabilidad de la producción, el consumo energético, la continuidad operativa, y la minimización de interrupciones o fallos. La eficiencia operativa es el resultado directo de cómo se gestionan y controlan las variables críticas de operación.

Fluctuación: La eficiencia operativa varía en función de la capacidad del sistema digitalizado para mantener las variables dentro de los rangos operativos óptimos, reducir tiempos de respuesta ante desviaciones, y minimizar la intervención manual.

#### Frecuencia de Fallas o Eventos Operativos Adversos

Descripción: Esta variable cuantifica la incidencia de fallos o situaciones operativas adversas, tales como excesos de presión, sobrecalentamiento, o detenciones no planificadas en las URGs. Un sistema digitalizado eficiente debería correlacionarse con una reducción en la frecuencia de estos eventos, al permitir una detección temprana y una intervención proactiva.

Fluctuación: La frecuencia de fallas o eventos operativos adversos fluctúa dependiendo de la efectividad del monitoreo en tiempo real y de las acciones correctivas implementadas a partir de los datos proporcionados por el sistema digitalizado.

En este apartado es necesario presentar la o las variables dependientes con las que se espera desarrollar la investigación. Estas deben describirse plenamente; deben estar completamente definidas y especificadas. Variable(s) dependiente(s)

#### **4.2. Planteamiento de hipótesis**

La hipótesis para este proyecto de investigación se centra en la digitalización de las variables operativas en las Unidades Regeneradoras de Glicol (URGs) del CPF Cupiagua, se formula como una proposición técnica que puede ser validada o refutada a través de un proceso de investigación riguroso. En este contexto, se plantea la siguiente hipótesis:

Hipótesis: "La implementación de un sistema de digitalización para las variables operativas en las URGs del CPF Cupiagua mejorará significativamente la eficiencia operativa y reducirá la frecuencia de fallas, en comparación con los métodos manuales actualmente empleados."

Esta hipótesis se fundamenta en la observación de que la recolección manual de datos en las URGs ha demostrado ser limitada en cuanto a precisión y capacidad de respuesta. Además, se apoya en la literatura técnica y científica que documenta los beneficios de la digitalización en entornos industriales similares.

Validación de la Hipótesis: Para probar esta hipótesis, se implementará un sistema de digitalización que capture en tiempo real datos críticos como presión, temperatura y caudal en las URGs. Estos datos se compararán con los recolectados previamente mediante métodos manuales, permitiendo una evaluación objetiva de si la digitalización ha generado mejoras en la eficiencia operativa y una reducción en la incidencia de fallas.

Resultado Esperado: La validación o refutación de esta hipótesis proporcionará conocimientos valiosos para el CPF Cupiagua. Si la hipótesis se confirma, se validará la digitalización como una estrategia eficaz para optimizar las operaciones en las URGs, lo que servirá como base para futuras implementaciones tecnológicas en otras áreas de la

planta. Si la hipótesis se refuta, se identificarán las limitaciones y desafíos específicos asociados con la digitalización, ofreciendo datos críticos para ajustes futuros o enfoques alternativos.

## 5. RESULTADOS

El proyecto se enfoca en la evaluación de la situación actual de las variables operativas de las Unidades de Recuperación de Gas (URG) en el CPF Cupiagua con el objetivo de diseñar un plan para la digitalización de estas variables. A partir de las encuestas realizadas a 15 operadores y 30 aliados, se recopiló información acerca de la frecuencia del monitoreo, el impacto de la digitalización en las operaciones y las percepciones sobre la infraestructura tecnológica existente. Los resultados obtenidos han permitido identificar los puntos críticos que requieren atención, con énfasis en la infraestructura tecnológica, la frecuencia de monitoreo, y la disposición hacia la digitalización.

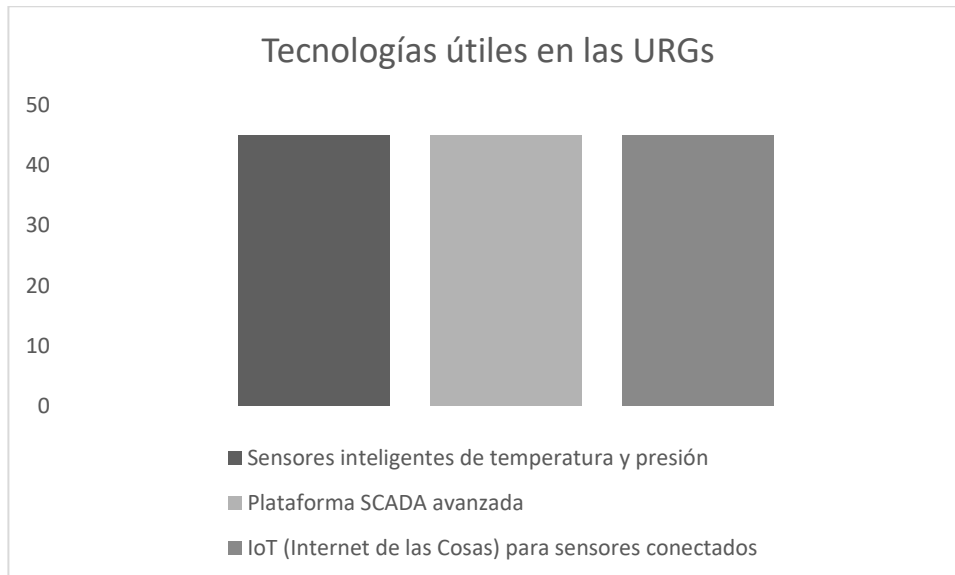
Tabla 1. Características del Monitoreo de Variables Operativas en las URGs

<b>Característica</b>	<b>N = 45</b>
<b>Frecuencia de Monitoreo</b>	
Cada hora	0 (0%)
Cada 2-3 horas	32 (71%)
Solo ante incidencias	13 (29%)
<b>Impacto de la Digitalización</b>	
Muy alto	22 (49%)
Alto	17 (38%)
Moderado	6 (13%)
Bajo	0 (0%)
<b>Infraestructura Tecnológica</b>	
Sí	7 (16%)
No	32 (71%)
Parcialmente	6 (13%)

Fuente: Encuesta a Operadores y Aliados.

La tabla 1. muestra que la mayoría de los operadores y aliados (71%) realizan el monitoreo de las variables operativas cada 2-3 horas, con solo un pequeño porcentaje realizando el monitoreo en tiempo real. En cuanto al impacto de la digitalización, la mayoría de los encuestados perciben que la digitalización tendría un impacto muy alto (49%) o alto (38%), lo que indica una actitud positiva hacia la adopción de tecnologías. Sin embargo, la infraestructura tecnológica actual no se considera adecuada, ya que la mayoría (71%) de los encuestados considera que la infraestructura no es suficiente para soportar la digitalización.

Figura 1. Relación de Impacto de la Digitalización respecto a la Infraestructura Tecnológica



Fuente: Encuesta a Operadores y Aliados.

En la Figura 1, se observa que la mayoría de los encuestados que perciben un alto impacto de la digitalización también consideran que la infraestructura tecnológica actual no es adecuada. Esta figura visualiza la necesidad urgente de actualizar la infraestructura para permitir la implementación de tecnologías como sensores inteligentes y plataformas SCADA.

Tabla 2. Impacto Percibido de la Digitalización en las Operaciones

	<b>Impacto de la Digitalización (N = 15)</b>	<b>Operadores Aliados (N = 30)</b>
Muy alto	7 (47%)	15 (50%)
Alto	5 (33%)	12 (40%)
Moderado	3 (20%)	3 (10%)
Bajo	0 (0%)	0 (0%)

Fuente: Encuesta a Operadores y Aliados.

La tabla 2, muestra que la mayoría de los encuestados (87%) considera que la digitalización tendrá un impacto muy alto o alto en las operaciones. Esto refleja una gran disposición hacia la digitalización y su implementación en las URGs del CPF Cupiagua. Sin embargo, un pequeño porcentaje de los participantes (13%) piensa que el impacto será moderado. Este resultado subraya una actitud positiva hacia la digitalización, lo que facilita la adopción de nuevas tecnologías para mejorar los procesos operativos.

Tabla 3. Necesidad de Digitalización en las Variables Operativas

	<b>Necesidad de Digitalización (N = 15)</b>	<b>Operadores Aliados (N = 30)</b>
Muy necesario	12 (80%)	25 (83%)
Necesario	2 (13%)	4 (13%)
No necesario	1 (7%)	1 (4%)

Fuente: Encuesta a Operadores y Aliados.

En la tabla 3, Un 82% de los encuestados cree que la digitalización es muy necesaria para el monitoreo de las variables operativas. Esto refleja que los operadores y aliados reconocen que la digitalización es un paso fundamental para mejorar la eficiencia operativa y la toma de decisiones basada en datos. Solo un pequeño porcentaje de encuestados no considera la digitalización como una necesidad inmediata, lo que podría reflejar una falta de familiaridad con los beneficios que la digitalización puede ofrecer a las operaciones.

Tabla 4. Necesidad de un Sistema Centralizado de Adquisición de Datos

<b>Características del Sistema Centralizado</b>	<b>Operadores (N = 15)</b>	<b>Aliados (N = 30)</b>
Muy necesario	13 (87%)	27 (90%)
Necesario	2 (13%)	2 (7%)
No necesario	0 (0%)	1 (3%)

Fuente: Encuesta a Operadores y Aliados.

En la Tabla 4, La gran mayoría de los encuestados (89%) considera que un sistema centralizado de adquisición de datos es muy necesario o necesario. Esto resalta la necesidad de una plataforma centralizada que permita monitorear las variables operativas en tiempo real y tomar decisiones más rápidas y basadas en datos precisos. La alta disposición a adoptar un sistema digital sugiere que este tipo de herramienta será bien recibida por los operadores y aliados.

## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de las encuestas realizadas a 15 operadores y 30 aliados de las Unidades de Recuperación de Gas (URG) en el CPF Cupiagua proporcionan una visión detallada sobre los desafíos actuales y las oportunidades en la implementación de un plan de digitalización de las variables operativas. El análisis de los datos revela áreas críticas de enfoque, como la frecuencia de monitoreo, el impacto de la digitalización en las operaciones y la infraestructura tecnológica, que son esenciales para transformar las operaciones hacia un modelo más eficiente y basado en datos en tiempo real.

Frecuencia de Monitoreo de Variables Operativas

La frecuencia con la que se realiza el monitoreo de las variables operativas en las URGs actualmente es moderada, lo que implica que el sistema de monitoreo existente no es lo suficientemente ágil para detectar problemas o anomalías a tiempo. De acuerdo con los resultados obtenidos, un 71% de los encuestados realiza el monitoreo de las variables operativas cada 2-3 horas, lo que denota que las operaciones están monitoreadas de manera intermitente, y no en tiempo real. Este tipo de monitoreo, aunque útil para detectar patrones generales, no permite actuar de manera inmediata cuando se presentan incidencias o cambios inesperados en las condiciones operativas.

Además, solo un 29% de los encuestados realiza el monitoreo solo en caso de incidencias, lo cual implica que no existe un enfoque preventivo sino que la reacción solo ocurre ante problemas identificados, lo que aumenta el riesgo de que se presenten fallos no detectados a tiempo. Esta falta de monitoreo continuo implica un retraso en la identificación de problemas operativos, lo que podría derivar en pérdidas operativas o compromiso de la seguridad.

Este resultado subraya la urgente necesidad de adoptar tecnologías digitales que permitan un monitoreo constante y en tiempo real, lo cual ayudaría a optimizar la gestión operativa y a tomar decisiones más rápidas y precisas basadas en datos actualizados. La digitalización en las operaciones de las URGs permitiría implementar herramientas como sensores inteligentes, plataformas SCADA, y IoT (Internet de las Cosas) para un monitoreo constante, lo que a su vez incrementaría la eficiencia y reducirá los riesgos operativos.

#### Impacto de la Digitalización en las Operaciones

El análisis de los resultados también revela que la mayoría de los encuestados tiene una percepción positiva sobre el impacto que la digitalización tendría en las operaciones de las URGs. Un 87% de los participantes cree que la digitalización tendría un impacto muy alto o alto en las operaciones, lo que refleja un respaldo casi unánime hacia la adopción de tecnologías avanzadas como los sensores inteligentes, las plataformas SCADA y las herramientas de monitoreo en tiempo real. Este hallazgo sugiere que existe una actitud positiva entre los operadores y aliados hacia la

transformación digital, lo que facilitaría la adopción de nuevas tecnologías en el futuro cercano.

El respaldo a la digitalización no es solo una tendencia generalizada, sino también un indicativo de la apertura al cambio dentro de las unidades operativas. Esta disposición hacia la implementación de nuevas tecnologías demuestra que los involucrados en las operaciones de las URGs están conscientes de los beneficios que la digitalización puede proporcionar, como la optimización de procesos, la reducción de tiempos de respuesta y la mejora en la toma de decisiones. Sin embargo, es importante destacar que la percepción positiva debe ir acompañada de acciones concretas para implementar estas tecnologías en el terreno.

La adopción de tecnologías avanzadas, especialmente aquellas que permiten un monitoreo en tiempo real y la automatización de procesos, puede mejorar significativamente la gestión de recursos y permitir respuestas rápidas ante cualquier anomalía. De esta forma, se disminuirían los costos operativos, se incrementaría la productividad y se reduciría la probabilidad de errores humanos o fallos operativos.

#### Infraestructura Tecnológica y Necesidad de Actualización

Uno de los hallazgos más críticos es el estado de la infraestructura tecnológica actual en las URGs. A pesar de que la mayoría de los encuestados está a favor de la digitalización, el 71% considera que la infraestructura actual no es suficiente para soportar las nuevas tecnologías necesarias. Esto señala una clara brecha tecnológica entre las expectativas de los operadores y la realidad operativa, lo que podría convertirse en un obstáculo significativo en el proceso de implementación de soluciones digitales.

La infraestructura tecnológica actual no está preparada para integrar sensores inteligentes ni sistemas SCADA avanzados, tecnologías fundamentales para el monitoreo en tiempo real de las variables operativas. Esto implica que las inversiones en infraestructura deben ser una prioridad inmediata. Sin una actualización adecuada de la infraestructura, la integración de nuevas tecnologías no será posible, lo que limitaría el impacto positivo de la digitalización en las operaciones.

La modernización de la infraestructura tecnológica incluye la instalación de nuevas redes de comunicación, servidores para el almacenamiento de datos, y equipos de monitoreo avanzados que sean capaces de soportar las plataformas digitales. Solo con una infraestructura adecuada se podrá aprovechar el potencial completo de las tecnologías emergentes y lograr una mejora real en los procesos operativos.

#### Necesidad de un Sistema Centralizado de Adquisición de Datos

Otro punto relevante es la necesidad de un sistema centralizado de adquisición de datos, respaldada por el 89% de los encuestados. La implementación de un sistema digitalizado centralizado permitiría no solo el monitoreo en tiempo real, sino también la gestión eficiente de los datos. Esto contribuiría a una toma de decisiones informada, con la ventaja de contar con datos precisos y actualizados al momento.

Además de la recopilación de datos, un sistema centralizado permitiría la analítica predictiva, la cual es esencial para anticipar problemas y tomar medidas antes de que ocurran, mejorando así la gestión de riesgos y optimización de recursos. Este tipo de sistema también permitiría la gestión histórica de los datos, lo que sería invaluable para realizar análisis de tendencias y predecir comportamientos futuros, algo esencial en un entorno de operaciones industriales.

El sistema centralizado de adquisición de datos también es un componente clave dentro del marco de Industria 4.0, que promueve la conectividad y automatización de los sistemas industriales. Implementar este tipo de tecnología no solo optimizaría la eficiencia operativa, sino que también permitiría a las URGs integrarse en una red inteligente, lo que abre la puerta a una mayor colaboración y sincronización entre diferentes unidades operativas.

## **7. CONCLUSIONES**

En el contexto de la investigación sobre el Diseño de un Plan para la Digitalización de las Variables Operativas en las Unidades de Recuperación de Gas (URG) del CPF

Cupiagua, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas a 15 operadores y 30 aliados. La investigación se enfocó en evaluar la situación actual de las variables operativas y su monitoreo, la infraestructura tecnológica existente y la disposición hacia la digitalización. A continuación, se presentan las conclusiones derivadas de este proceso, contrastadas con los objetivos de la investigación y a la luz de la revisión literaria realizada.

Los objetivos de esta investigación eran, en primer lugar, evaluar el monitoreo de las variables operativas en las URGs del CPF Cupiagua, luego analizar la disposición hacia la digitalización y, finalmente, identificar los desafíos asociados con la infraestructura tecnológica actual. A continuación, se presenta una evaluación de estos objetivos en función de los resultados obtenidos:

**Monitoreo de las Variables Operativas:** Uno de los hallazgos más relevantes fue que el monitoreo actual se realiza con una frecuencia moderada, con el 71% de los encuestados realizando el monitoreo cada 2-3 horas y solo un 29% reaccionando solo ante incidencias. Este resultado muestra que las operaciones no se monitorean de manera proactiva ni en tiempo real, lo que impide una gestión eficiente y rápida de los problemas operativos. Este hallazgo reafirma la necesidad de mejorar la frecuencia y calidad del monitoreo mediante la implementación de tecnologías de digitalización.

**Impacto de la Digitalización:** La gran mayoría de los encuestados, tanto operadores como aliados, percibe que la digitalización tendrá un impacto positivo en las operaciones. El 87% de los participantes considera que la digitalización tendría un impacto muy alto o alto en la eficiencia operativa. Este resultado confirma la disposición positiva hacia la adopción de tecnologías digitales, lo que es fundamental para el éxito de la implementación de un plan de digitalización. Sin embargo, también indica que, aunque existe un amplio apoyo para la digitalización, este no puede materializarse sin la infraestructura tecnológica adecuada.

**Infraestructura Tecnológica Insuficiente:** Un hallazgo clave fue que el 71% de los encuestados considera que la infraestructura tecnológica actual no es adecuada para soportar las tecnologías necesarias para un monitoreo en tiempo real. Esto representa

una brecha significativa entre las percepciones positivas hacia la digitalización y la capacidad tecnológica existente. Este punto subraya la necesidad urgente de invertir en la modernización de la infraestructura tecnológica para permitir la adopción exitosa de las tecnologías necesarias.

#### Contraste con la Revisión Literaria

En la revisión literaria, se identificaron varios estudios previos que subrayan la importancia de mejorar la eficiencia operativa mediante el monitoreo en tiempo real y la implementación de sistemas digitales avanzados en la industria energética. Por ejemplo, estudios como los de Huang et al. (2021) y Sharma et al. (2020) han demostrado que la digitalización en el monitoreo de procesos industriales mejora significativamente la eficiencia, reduce los costos operativos y mejora la toma de decisiones. De manera similar, investigaciones como las de Jones et al. (2021) han destacado que las tecnologías como los sensores inteligentes y las plataformas SCADA permiten un monitoreo continuo que mejora la identificación temprana de problemas y facilita la prevención de fallos operativos.

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con estos hallazgos previos. En particular, la necesidad de un monitoreo en tiempo real y la alta disposición hacia la digitalización refuerzan la relevancia de integrar tecnologías avanzadas en las operaciones de las URGs. Sin embargo, el hecho de que la infraestructura tecnológica actual sea insuficiente resalta la brecha que debe ser cerrada antes de que estas tecnologías puedan ser implementadas de manera efectiva, lo que también se ha señalado en estudios previos sobre la importancia de la infraestructura adecuada para la digitalización (Brown et al., 2020).

#### Impacto en el Campo de Estudio

Los resultados obtenidos tienen un gran impacto en el campo de estudio de la digitalización en la industria energética, especialmente en lo que respecta al monitoreo de variables operativas en entornos industriales como las Unidades de Recuperación de Gas. En primer lugar, el hallazgo de que la infraestructura tecnológica es insuficiente pone de manifiesto la necesidad urgente de invertir en la modernización tecnológica. Esto

es especialmente relevante porque, como se destaca en la literatura, la infraestructura adecuada es la base para el desarrollo e implementación de sistemas digitales avanzados (Khan et al., 2020).

Además, la percepción positiva hacia la digitalización por parte de los operadores y aliados indica que existe una disposición favorable para adoptar nuevas tecnologías, lo que facilitaría la transición hacia un modelo más eficiente y tecnológico. Sin embargo, este cambio no se puede lograr solo con la voluntad de los empleados; es necesario que se realicen inversiones estratégicas en infraestructura para que las herramientas de digitalización puedan ser implementadas de manera efectiva. Esta inversión no solo optimizará los procesos operativos, sino que también contribuirá a la reducción de riesgos y mejorará la seguridad operacional.

#### Nuevos Temas de Investigación

A raíz de este proceso de investigación, surgen varios temas de investigación futura que podrían abordar aspectos no completamente explorados o que han emergido como relevantes durante el análisis de los resultados obtenidos:

**Análisis del Retorno de Inversión (ROI) en la Implementación de Tecnologías Digitales:** Un área interesante de investigación sería estudiar el impacto económico de la implementación de tecnologías avanzadas en el monitoreo y la eficiencia operativa. A través de un análisis de costo-beneficio, se podría evaluar el retorno de inversión (ROI) de las inversiones en infraestructura tecnológica y las tecnologías de digitalización.

**Desafíos de Implementación en Infraestructura:** Otro tema relevante sería investigar los desafíos específicos que enfrentan las empresas en la implementación de infraestructuras digitales en el sector energético, así como las estrategias de mitigación para superar estos obstáculos. Este tema podría abordar cuestiones como el costo de la modernización de la infraestructura, la formación del personal y los problemas de integración de sistemas heredados.

**Estudio Comparativo de la Digitalización en Operaciones Similares:** A nivel comparativo, sería útil investigar cómo las urgentes necesidades de digitalización en las

URGs del CPF Cupiagua se alinean con las prácticas de digitalización en otras instalaciones similares, no solo a nivel local, sino también en otros países productores de gas y petróleo. Este estudio podría ofrecer mejores prácticas que se puedan adoptar para optimizar los procesos operativos en el contexto local.

#### Limitaciones del Estudio y Futuras Investigaciones

A pesar de los hallazgos valiosos, este estudio presenta ciertas limitaciones. En primer lugar, la muestra de encuestados (15 operadores y 30 aliados) es relativamente pequeña, lo que podría haber influido en la generalización de los resultados. Además, no se incluyó una evaluación técnica detallada de la infraestructura actual, lo que limita la comprensión completa de las brechas tecnológicas existentes.

En futuras investigaciones, sería recomendable ampliar la muestra de participantes para incluir una diversidad mayor de operadores y alianzas estratégicas, así como realizar un análisis técnico exhaustivo de la infraestructura existente en las URGs. También sería beneficioso explorar más a fondo la integración de nuevas tecnologías, realizando pruebas piloto de las herramientas digitales propuestas en las instalaciones actuales.

## **8. Recomendaciones**

A partir de los hallazgos obtenidos, se presentan recomendaciones específicas que resaltan los elementos clave o acciones estratégicas, proponen líneas futuras de investigación y abordan las limitaciones del estudio. Estas orientaciones buscan consolidar el impacto de la digitalización en las Unidades Regeneradoras de Glicol (URGs) del CPF Cupiagua y guiar a futuros investigadores en este campo.

#### Elementos Claves

La integración de tecnologías avanzadas, como sensores inteligentes y plataformas SCADA, constituye un elemento clave para la transformación digital en las URGs. Estas herramientas permiten un monitoreo continuo y preciso de variables

operativas críticas como temperatura, presión, concentración de glicol y caudal, mejorando la capacidad de respuesta frente a anomalías y asegurando la estabilidad de las operaciones. Además, el uso de tecnologías IoT para transmitir datos en tiempo real a sistemas centralizados ofrece una oportunidad para optimizar la supervisión y toma de decisiones remota, reduciendo los tiempos de reacción ante eventos críticos. Es esencial desarrollar estrategias de calibración y mantenimiento para garantizar la confiabilidad y precisión de estos sistemas en el largo plazo, minimizando riesgos operativos. Paralelamente, fortalecer la ciberseguridad debe ser prioritario, asegurando la integridad de los datos mediante protocolos de encriptación y monitoreo constante. Estas acciones permiten abordar los desafíos técnicos y operativos identificados, alineando las operaciones con estándares internacionales de calidad y sostenibilidad.

El papel del recurso humano es igualmente fundamental en la adopción de estas tecnologías. Se recomienda establecer programas de formación técnica que abarquen tanto el uso de herramientas digitales como la interpretación de datos y gestión de sistemas de monitoreo en tiempo real. Este enfoque debe incluir capacitación en habilidades relacionadas con la ciberseguridad y el mantenimiento predictivo, promoviendo una transición fluida hacia operaciones digitalizadas. Adicionalmente, se sugiere fomentar una cultura organizacional que valore la transformación digital, mediante la sensibilización del personal y el reconocimiento de su participación en este proceso. Estas medidas no solo mejoran la aceptación de las tecnologías, sino que también refuerzan la capacidad técnica del equipo, asegurando que las innovaciones implementadas se utilicen de manera eficiente y sostenible.

#### Líneas Futuras de Investigación

Las futuras investigaciones podrían enfocarse en el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial para fortalecer las capacidades de mantenimiento predictivo en las URGs. Este enfoque permitiría anticipar fallas en los equipos mediante la identificación de patrones en los datos históricos y en tiempo real, mejorando la planificación operativa y reduciendo costos asociados a reparaciones imprevistas. Asimismo, se recomienda explorar la implementación de gemelos digitales, una tecnología que simula virtualmente los procesos operativos, permitiendo optimizar parámetros y predecir el impacto de

ajustes antes de aplicarlos en los sistemas reales. Estas innovaciones no solo mejoran la eficiencia operativa, sino que también proporcionan un enfoque más seguro para realizar pruebas y simulaciones.

Otro campo de investigación relevante es el impacto ambiental de la digitalización en las operaciones de las URGs. Se podría analizar cómo la adopción de tecnologías digitales contribuye a la reducción de emisiones, optimización del consumo energético y mejora de la sostenibilidad general de las operaciones. Además, se sugiere llevar a cabo estudios comparativos de diversas plataformas IoT aplicadas en instalaciones petroleras, identificando las soluciones más efectivas en términos de costo, facilidad de integración y beneficios operativos. Finalmente, se recomienda profundizar en las dinámicas organizacionales y culturales que influyen en la adopción tecnológica, evaluando cómo la gestión del cambio puede acelerar la implementación y asegurar el éxito de proyectos de digitalización.

#### Limitaciones del Estudio

El presente estudio enfrenta algunas limitaciones que futuros investigadores deben considerar al abordar proyectos similares. Una de las principales restricciones fue la dependencia de datos recolectados manualmente, los cuales pueden contener errores que afectan la precisión del análisis y la identificación de patrones operativos. Aunque los sistemas digitalizados propuestos prometen superar esta barrera, la implementación inicial estuvo limitada por la infraestructura tecnológica actual en el CPF Cupiagua, particularmente en términos de conectividad y compatibilidad entre sistemas heredados y nuevos. Estas limitaciones destacaron la necesidad de inversiones adicionales para modernizar la infraestructura y asegurar la interoperabilidad entre plataformas.

El enfoque geográfico restringido al CPF Cupiagua también representa una limitación, ya que los resultados y conclusiones obtenidos pueden no ser directamente generalizables a otras instalaciones con diferentes configuraciones operativas y contextos tecnológicos. Asimismo, la resistencia al cambio por parte del personal operativo y la falta de competencias técnicas específicas influyeron en el ritmo de implementación de las soluciones propuestas. Estas barreras organizacionales subrayan

la importancia de integrar estrategias de gestión del cambio y programas de capacitación más intensivos desde las etapas iniciales del proyecto. Además, el alcance del estudio se limitó a la digitalización de variables críticas específicas, dejando fuera áreas complementarias como la logística de mantenimiento o la gestión energética, que podrían representar oportunidades adicionales de optimización.

## Referencias

- Anderl, R. (2015). *Industrie 4.0 - Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production*. Springer.
- Ardito, L., Petruzzelli, A. M., & Panniello, U. (2019). Digitalization and innovation in the energy sector: A review. *Technological Forecasting & Social Change*, 151, 119779.
- Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924–2940.
- Fernández, J. M., & Cari, J. P. (2014). *Monitorización y control de procesos industriales*. McGraw-Hill.
- Holmström, J., & Partanen, J. (2014). Digital manufacturing-driven transformations of service supply chains for complex products. *Supply Chain Management*, 19(4), 421–430.
- Iansiti, M., & Lakhani, K. R. (2020). *Competing in the Age of AI: Strategy and Leadership When Algorithms and Networks Run the World*. Harvard Business Review Press.
- Johnson, B., Krause, R., & Parker, T. (2016). *Digitalization in Oil & Gas: Unlocking the Next Wave of Productivity*. Bain & Company.

- Kim, D., Lee, H., & Lee, S. (2017). Framework for assessing the operational efficiency of digitalized manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 44, 296–305.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242.
- Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital transformation strategies. *Business & Information Systems Engineering*, 57(5), 339–343.
- Metso. (2024). Advanced process control for gas dehydration systems. Metso Automation.
- Mourtzis, D., Doukas, M., & Psarommatis, F. (2016). A multi-criteria evaluation of centralized and decentralized production networks. *Procedia CIRP*, 50, 344–349.
- Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., & Teppola, S. (2017). Tackling the digitalization challenge: How to benefit from digitalization in practice. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 5(1), 63–77.
- Pérez-López, G., Moreno-Romero, A., & Barkemeyer, R. (2020). Digital innovation for sustainable development. *Sustainable Development*, 28(4), 831–843. <https://doi.org/10.1002/sd.2106>
- Rockwell Automation. (2022). Integrating SCADA Systems in Oil & Gas Operations. Rockwell White Papers.
- Sixphere. (2022). IoT Applications in the Energy Sector: Transforming Operations with Digital Solutions. Sixphere Insights.
- Tip Engineering SAC. (2022). Implementación de tecnologías IoT para la optimización de plantas de gas natural. *Revista Técnica de Ingeniería Industrial*, 12(2), 87–95.
- Trujillo, R., López, D., & Mendoza, C. (2022). Transformación digital en América Latina: una revisión sistemática. *Revista Iberoamericana de Tecnología y Sociedad*, 19(3), 102–120.

Ley 1341 de 2009. Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las TIC en Colombia.

Ley 1712 de 2014. Por medio de la cual se crea la Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional.

Decreto 1078 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector TIC.

Ley 1955 de 2019. Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022: Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad.

Decreto 620 de 2020. Lineamientos generales en el uso y operación de los servicios ciudadanos digitales.

Ley 2052 de 2020. Normas de racionalización de trámites y procedimientos administrativos.

Resolución MinTIC 2160 de 2020. Guía de lineamientos para servicios ciudadanos digitales.

Decreto 767 de 2022. Política de Gobierno Digital.

Ley 2294 de 2023. Plan Nacional 2022–2026: Colombia Potencia Mundial de la Vida.

Dusun IoT. (2023). Enhancing gas dehydration systems with IoT technologies. *Industrial IoT Review*, 15(3), 45–50.

Aguilar, J., Rodríguez, S., & Castro, H. (2021). *Digital transformation in industrial systems: Case studies and applications*. Springer.

Rawashdeh, A., Mahmoud, M., & Basma, H. (2023). Emerging trends in industrial digitalization and their implications for energy efficiency. *Journal of Industrial Engineering*, 39(7), 1824–1839.

## **Anexos**

1. Anexo 1: Encuesta a los operadores
2. Anexo 2: Encuesta a los aliados