



**Diseño de un sistema de monitoreo inteligente para la gestión de riesgos en tiempo real en el izaje de cargas críticas en una empresa del sector de hidrocarburos**

**Julián David Arias Coronado**

**Alexander Cogollo Céspedes**

**Corporación Universitaria Minutos de Dios**

**Rectoría Oriente / Centro Regional Bucaramanga**

**Especialización en Gerencia de Riesgos Laborales Seguridad y Salud en el Trabajo**

**Noviembre de 2025**

**Diseño de un sistema de monitoreo inteligente para la gestión de riesgos en tiempo real en el izaje de cargas críticas en una empresa del sector de hidrocarburos**

**Julián David Arias Coronado**

**Alexander Cogollo Céspedes**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Riesgos Laborales Seguridad y Salud en el Trabajo**

**Angelica Nohemy Rangel Pico**

**Especialista en Seguridad y Salud en el Trabajo**

**Corporación Universitaria Minutos de Dios**

**Rectoría Oriente / Centro Regional Bucaramanga**

**Especialización en Gerencia de Riesgos Laborales Seguridad y Salud en el Trabajo**

**Noviembre 2025**

### **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo a Dios, por guiarnos con sabiduría y fortaleza en cada etapa del proceso. A nuestras familias, por su apoyo incondicional, paciencia y confianza, pilares fundamentales en este logro. A nuestros compañeros de estudio y trabajo, por compartir experiencias, aprendizajes y desafíos que enriquecieron esta investigación. Y especialmente, a los trabajadores del sector industrial que enfrentan riesgos diariamente: este proyecto es un homenaje a su compromiso, esfuerzo y seguridad.

### **Agradecimientos**

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Corporación Universitaria Minuto de Dios, por brindarnos un espacio académico que promueve la investigación aplicada y el desarrollo profesional. A nuestras docentes asesoras, Yohanna Milena Rueda Mahecha y Angelica Rangel, por sus sabios consejos, sus rigurosos estándares académicos y su apoyo inquebrantable. A los colaboradores de la industria petrolera que participaron en el proceso de recopilación de datos, gracias por compartir sus conocimientos sobre esta gran tarea que ejecutan y ofrecer sugerencias tan útiles para esta propuesta. A nuestros amigos y familiares: gracias por su apoyo, ánimo y comprensión en los momentos más difíciles. Por último, queremos expresar nuestro agradecimiento a todas las personas que nos han ayudado a completar esta tarea, ya sea de forma directa o indirecta. Su ayuda ha sido fundamental para alcanzar este objetivo.

## Índice

Introducción .....	13
1 Justificación.....	15
2 Descripción del problema.....	16
2.1 Planteamiento del problema.....	16
2.2 Formulación de Investigación.....	19
3 Objetivos.....	19
3.1 Objetivo General.....	19
3.2 Objetivos Específicos.....	19
4 Marco Referencial .....	20
4.1 Estado del Arte.....	20
4.2 Marco Teórico.....	27
4.3 Marco Conceptual.....	30
4.4 Marco Legal.....	33
5 Metodología de la investigación.....	35
5.1 Tipo de Investigación.....	35
5.2 Enfoque de la Investigación.....	37
5.3 Población y Muestra Poblacional.....	37
5.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información.....	38
6 Desarrollo de los Objetivos .....	42
6.1 Objetivo Específico 1. Identificar los riesgos de izaje de cargas críticas .....	42
6.2 Objetivo Específico 2. Establecer lineamientos de integración del sistema de monitoreo inteligente con la normativa nacional e internacional.....	45

6.2.1	<i>Estado de la técnica</i> .....	51
6.2.2	<i>Búsqueda de información cuadro de control 1</i> .....	51
6.2.3	<i>Filtración de Información</i> .....	53
6.2.4	<i>Procesamiento de datos</i> .....	54
6.2.5	<i>Generación de resultados</i> .....	55
6.2.6	<i>Análisis de resultados</i> .....	56
6.2.7	<i>Búsqueda de información cuadro de control 2</i> .....	58
6.2.8	<i>Filtración de Información</i> .....	60
6.2.9	<i>Procesamiento de datos</i> .....	61
6.2.10	<i>Generación de resultados</i> .....	62
6.3	Análisis de resultados .....	63
6.4	Objetivo Específico 3. Definir los requerimientos funcionales y técnicos del sistema de monitoreo inteligente para el izaje de cargas críticas. ....	66
6.5	Selección técnica de sensores y módulos electrónicos para la obtención de datos del sistema de monitoreo .....	69
6.5.1	<i>Microcontrolador</i> .....	69
6.5.2	<i>Sensor de viento</i> .....	71
6.5.3	<i>Sensor de inclinación</i> .....	72
6.5.4	<i>Sensor de gases</i> .....	74
6.5.5	<i>Creación de la interfaz de usuario para la aplicación móvil del sistema de monitoreo inteligente</i> .....	76
7	Conclusiones .....	79
8	Recomendaciones .....	80

Referencias bibliográficas.....	82
Apéndice .....	87

### Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Descripción de desarrollo de objetivos</i> .....	40
<b>Tabla 2</b> <i>Matriz comparativa de identificación de riesgos en izaje de cargas críticas</i> .....	43
<b>Tabla 3</b> <i>Matriz comparativa de identificación de riesgos y la normativa Nacional e Internacional en izaje de cargas críticas</i> .....	46
<b>Tabla 4</b> <i>Caracterización de la búsqueda #1</i> .....	52
<b>Tabla 5</b> <i>Caracterización de la búsqueda #2</i> .....	59
<b>Tabla 6</b> <i>Especificaciones técnicas Microcontrolador</i> .....	70

### Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Estructura interna</i> .....	51
<b>Figura 2</b> <i>Resultados de búsqueda global en Scopus</i> .....	53
<b>Figura 3</b> <i>Resultados de búsqueda en Scopus con criterios definidos</i> .....	54
<b>Figura 4</b> <i>Extensiones y referenciación Scopus</i> .....	54
<b>Figura 5</b> <i>Gráficos de Scopus, años y autores</i> .....	55
<b>Figura 6</b> <i>Gráficos de Scopus, país-territorio</i> .....	56
<b>Figura 7</b> <i>Relación de publicaciones por coautoría institucional. Visualización de Red, Vos Viewer</i> .....	57
<b>Figura 8</b> <i>Relación de países, Vos Viewer</i> .....	58
<b>Figura 9</b> <i>Resultados de búsqueda en Scopus con criterios definidos.</i> .....	60
<b>Figura 10</b> <i>Resultados de búsqueda en Scopus con criterios definidos.</i> .....	61
<b>Figura 11</b> <i>Extensiones y referenciación Scopus.</i> .....	61
<b>Figura 12</b> <i>Gráficos de Scopus, autores e instituciones.</i> .....	62
<b>Figura 13</b> <i>Gráficos de Scopus, país-territorio.</i> .....	63
<b>Figura 14</b> <i>Relación de publicaciones por coautoría institucional. Visualización de Red, Vos Viewer.</i> .....	64
<b>Figura 15</b> <i>Relación de citas por autores, Vos Viewer</i> .....	65
<b>Figura 16</b> <i>Arduino ESP32 del Microcontrolador</i> .....	71
<b>Figura 17</b> <i>Sensor de viento</i> .....	72

<b>Figura 18</b> <i>Sensor de inclinación</i> .....	74
<b>Figura 19</b> <i>Sensor de gases</i> .....	76
<b>Figura 20</b> <i>Interfaz de usuario para la aplicación móvil, verificación de documentos</i> .....	77
<b>Figura 21</b> <i>Interfaz de usuario para la aplicación móvil, selección de placa de vehículo a operar</i> .....	78

**Lista de Apéndices**

<b>Apéndice A</b> <i>Ficha de control de condiciones de seguridad</i>	87
<b>Apéndice B</b> <i>Encuesta aplicada</i>	89

### **Resumen**

Este proyecto evaluó un método de gestión de riesgos con monitoreo inteligente para operaciones de izaje de cargas críticas en entornos industriales complejos. Se realizó una revisión documental de autores que abordan el tema, apoyados en teorías como la del riesgo generado y la del cambio. También se emplearon dispositivos de campo NTP 701 para identificar variables relevantes en la industria de hidrocarburos. El análisis incluyó condiciones reales de trabajo, supervisión en tiempo real y promoción de una cultura preventiva de seguridad, con el fin de fortalecer la formación técnica. El avance permitió crear un modelo que brinda una base sólida para futuras innovaciones y organiza la capacitación técnica según las demandas actuales de la industria.

**Palabras claves:** Monitoreo inteligente, supervisión en tiempo real, gestión de riesgos, izaje de cargas críticas y capacitación técnica.

**Abstract**

This project evaluated a risk management method with intelligent monitoring for critical load lifting operations in complex industrial environments. A documentary review of authors addressing the subject was conducted, supported by theoretical frameworks such as generated risk theory and change theory. Field devices based on NTP 701 were also employed to identify relevant variables in the hydrocarbon industry. The analysis included real working conditions, real-time supervision, and the promotion of a preventive safety culture, aiming to strengthen technical training. The progress led to the creation of a model that provides a solid foundation for future innovations and organizes technical training according to current industry demands.

**Keywords:** Intelligent monitoring, real-time supervision, risk management, critical load lifting, technical training.

## Introducción

El izaje de cargas críticas representa una de las tareas más exigentes y riesgosas en sectores como la minería, el petróleo, la energía y la construcción. Esta labor requiere el uso de equipos especializados como grúas, polipastos y aparejos para levantar y movilizar elementos de gran tamaño en ambientes donde las condiciones físicas, humanas y del entorno pueden cambiar de forma repentina. En este contexto, el presente estudio tiene como propósito diseñar un sistema de monitoreo inteligente que permita gestionar los riesgos en tiempo real y así fortalecer la seguridad durante estas operaciones.

La relevancia de este estudio radica en la necesidad urgente de fortalecer los mecanismos de prevención y capacitación en tareas de izaje, dado que los métodos tradicionales como el Análisis de Riesgo por Tarea (ART) presentan limitaciones frente a escenarios dinámicos y de alta incertidumbre. A pesar de los avances en automatización y protocolos de seguridad, persisten brechas entre la teoría y la práctica, lo que puede derivar en decisiones inseguras y accidentes graves. En este contexto, el monitoreo inteligente ofrece nuevas posibilidades para gestionar entornos de riesgo de forma más segura, entrenar operarios en condiciones controladas y supervisar tareas en tiempo real.

La gestión de riesgos en el levantamiento de cargas ha sido objeto de numerosas investigaciones hasta la fecha desde el punto de vista técnico, jurídico y pedagógico. Estudios como los de Tapia Erazo (2023) y Sánchez Soto y Tiburcio Chambilla (2024) han destacado la importancia de las herramientas digitales, la formación continua y los procedimientos bien definidos para reducir los accidentes. No obstante, se necesitan más investigaciones para determinar cómo la supervisión inteligente podría salvar las diferencias entre la formación

teórica y la aplicación en el mundo real, especialmente en entornos industriales complejos en los que los peligros cambian constantemente.

Desde un punto de vista crítico, este estudio contrasta los resultados empíricos de encuestas y fichas técnicas basadas en la norma NTP 701 con teorías como el riesgo generado, la teoría del cambio de Lewin y la teoría de los dos factores de Herzberg. Existen lagunas en la percepción que tienen los trabajadores de la seguridad, su capacidad para reaccionar ante situaciones imprevistas y la incorporación de la tecnología en la formación técnica. Además, los argumentos se organizan en torno a tres temas: identificación de riesgos, diseño de sistemas de supervisión y desarrollo de situaciones de formación inmersivas.

Este estudio ofrece una solución novedosa que responde a las demandas actuales de los sectores académico e industrial. Su objetivo es mejorar la seguridad operativa, reforzar la formación técnica y fomentar una cultura preventiva más sólida mediante la creación de un sistema de supervisión inteligente. Además de avanzar en el tema de la seguridad industrial, esta propuesta abre nuevas vías de estudio en materia de evaluación formativa, supervisión sofisticada y transformación digital en entornos de trabajo de alto riesgo. Por lo tanto, se prevé que los resultados de este estudio sentarán las bases para los próximos avances tecnológicos, técnicas de intervención y mejoras en los procedimientos de formación en materia de seguridad laboral.

## 1 Justificación

Los procesos industriales han experimentado cambios significativos debido a la innovación tecnológica, especialmente en tareas de alto riesgo como el izaje de cargas. Se ha demostrado que el monitoreo inteligente es una herramienta útil para mejorar la seguridad en contextos complicados, reducir los errores operativos y mejorar la formación. Estas soluciones facilitan una formación más segura, mejoran la retención de conocimientos y maximizan los recursos en áreas cruciales, según iQ3Connect (2023).

Para las actividades cruciales de izaje de cargas en entornos industriales complejos, esta investigación sugiere la creación de un sistema de supervisión en tiempo real. Esta idea tiene como objetivo proporcionar una alternativa más dinámica y adaptable a los enfoques tradicionales, como el análisis de riesgos de tareas (TRA), que tienen limitaciones en entornos operativos cambiantes. Este modelo está orientado con las tendencias actuales en materia de transformación digital en el ámbito de la seguridad laboral.

Esta tecnología está siendo utilizada por varias empresas para la formación en seguridad laboral. Por ejemplo, Positiva Compañía de Seguros ha mejorado significativamente la prevención de accidentes mediante la formación de más de 22 000 trabajadores utilizando simuladores con tecnologías hápticas (percepción a través del tacto) (Positiva Compañía de Seguros, 2023). Estas experiencias muestran la eficacia de este enfoque formativo en entornos de trabajo difíciles.

Por otro lado, el izaje de cargas críticas continúa siendo una de las operaciones más riesgosas en sectores de hidrocarburos, donde las condiciones operativas cambian constantemente. Tal como lo señalan (Mancilla et al., 2024), la ausencia de protocolos

adaptativos y la limitada regulación específica incrementan la exposición al riesgo, lo que exige nuevas herramientas para anticipar y gestionar peligros de forma más eficaz.

El diseño del sistema propuesto tiene como objetivo abordar esta necesidad proporcionando una solución que mejore la preparación técnica de los operadores, refuerce la toma de decisiones bajo presión y fomente una cultura preventiva más sólida. Como resultado, el proyecto contribuye de manera sustancial tanto a la formación académica como a la seguridad industrial, satisfaciendo las expectativas actuales de los sectores productivo y educativo.

Al combinar componentes tecnológicos con requisitos operativos y normativos propios de la industria de los hidrocarburos, el desarrollo de este proyecto refuerza aún más la investigación aplicada en materia de seguridad y salud de los trabajadores. Además de cumplir con un requisito tecnológico, el diseño del sistema de monitoreo inteligente fomenta la creatividad y el pensamiento crítico en la gestión de riesgos laborales. Esta estrategia crea nuevas oportunidades para formar colaboradores mejor preparados para manejar las dificultades de la industria con soluciones sostenibles y contextualizadas que cumplen con los estándares internacionales. De esta manera, la iniciativa sirve como base para futuros estudios, avances técnicos y técnicas de intervención que mejoran la seguridad en entornos industriales complejos.

## **2 Descripción del problema**

### **2.1 Planteamiento del problema**

En sectores como la construcción, la minería y los hidrocarburos, el izaje de cargas críticas es una de las tareas más peligrosas debido al gran tamaño de los objetos que se manipulan, las condiciones del terreno y el nivel de experiencia de los recursos humanos. La gravedad del problema queda patente en la advertencia de la Organización Internacional del

Trabajo (OIT) de que “cada 15 segundos, un trabajador muere a causa de accidentes o enfermedades relacionados con el trabajo” (Arias, 2022, p. 21).

Un ejemplo de América Latina es la mina Ticlio en Perú, donde “el levantamiento/elevación de cargas y el trabajo con grúas representan el 5,56 %” de las lesiones laborales (Ayre, 2024, p. 67). A pesar del modesto porcentaje, estos incidentes pueden tener graves consecuencias. Además, según Movicarga (2021), las principales causas de los accidentes en las operaciones con grúas son las siguientes: el 25 % se debe a aplastamientos o golpes con la carga; el 24 % se debe a la caída de objetos; el 19 % se debe al impacto de la grúa; el 11 % se debe al contacto eléctrico; y el 9 % se debe al vuelco. Estas cifras demuestran ampliamente el impacto de los comportamientos peligrosos, los errores humanos y las deficiencias en los sistemas de supervisión y respuesta existentes.

En industrias como la petrolera, donde las circunstancias operativas son complicadas y requieren altos niveles de precisión y seguridad, el izaje de cargas sigue siendo una actividad de alto riesgo en Colombia. A pesar de los avances tecnológicos en los sistemas de monitoreo, la probabilidad de accidentes sigue siendo latente, ya que estos sistemas no garantizan un monitoreo exacto y continuo en tiempo real. La situación se ve agravada por el uso restringido de tecnología de monitoreo inteligente en las operaciones de elevación y la formación técnica inadecuada del personal.

En Barrancabermeja (Santander), donde se encuentra la refinería principal de Ecopetrol, se han documentado emergencias relacionadas con maniobras de izaje. Un caso representativo ocurrió en la planta de la refinería, donde se produjo el volcamiento de un andamio debido a la operación de una grúa durante el proceso de carga. Aunque no hubo víctimas mortales, el incidente puso de manifiesto deficiencias en la percepción de riesgos, los controles operativos y

la supervisión de los procedimientos. Este tipo de incidentes ponen en evidencia la necesidad de reforzar los protocolos de seguridad y la formación técnica del personal en operaciones críticas.

Ante esta realidad, se hacen evidentes dos exigencias básicas. Por un lado, la implementación de un sistema de evaluación inteligente basado en la monitorización que permite una gestión de riesgos más dinámica, continua y contextual en entornos industriales complejos. Estas tecnologías permiten un monitoreo en tiempo real que no solo identifica las situaciones de riesgo actuales, sino que también examina las circunstancias técnicas, los patrones de comportamiento y los factores ambientales para prever dichos problemas antes de que se produzcan.

Por otro lado, el monitoreo inteligente puede incorporarse de manera efectiva en procesos de capacitación continua, permitiendo entrenamientos más realistas, interactivos y adaptativos. A través de escenarios virtuales altamente realistas, los operarios pueden enfrentarse a múltiples situaciones críticas sin exponerse físicamente al peligro, lo cual mejora su preparación, su capacidad de análisis en tiempo real y su toma de decisiones bajo presión. Esta modalidad formativa facilita una transferencia más efectiva del conocimiento al entorno laboral, ya que replica con precisión las condiciones técnicas, ambientales y humanas del proceso de izaje, promoviendo una cultura de seguridad proactiva.

Estas tecnologías, combinadas con procesos educativos actualizados, facilitarían la detección temprana de peligros y reforzarían la pericia técnica de los trabajadores mediante monitoreo inteligente, permitiendo aplicar esos aprendizajes directamente en su entorno laboral. En términos concretos, los resultados de esta investigación contribuirán al diseño de herramientas educativas basadas en monitoreos en tiempo real, integradas en plataformas de formación técnica y programas de capacitación. Esto permitirá fortalecer la formación de los trabajadores actuales y

futuros, proporcionándoles competencias específicas en gestión de riesgos industriales mediante metodologías activas. Así, tanto el sector productivo como el académico se beneficiarán de una formación más eficaz, alineada con las necesidades de la industria moderna y con un enfoque preventivo centrado en la tecnología y la seguridad.

## **2.2 Formulación de Investigación**

¿De qué manera el diseño de un sistema de monitoreo inteligente puede contribuir a fortalecer la gestión de riesgos en tiempo real en el izaje de cargas críticas en una empresa del sector de hidrocarburos?

# **3 Objetivos**

## **3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de monitoreo inteligente que seleccione y examine datos en tiempo real en izaje de cargas críticas en una empresa del sector de hidrocarburos.

## **3.2 Objetivos Específicos**

Identificar los riesgos presentes en las maniobras de izaje de cargas críticas en una empresa del sector de hidrocarburos, de acuerdo con la normatividad nacional e internacional vigente, para el diseño de medidas de prevención y control que garanticen la seguridad de los trabajadores y la continuidad de las operaciones.

Establecer lineamientos de integración del sistema de monitoreo inteligente con la normativa nacional e internacional en seguridad para el izaje de cargas críticas, orientando su pertinencia en el sector de hidrocarburos.

Definir los requerimientos funcionales y técnicos del sistema de monitoreo inteligente para el izaje de cargas críticas, de manera que sirvan como base para su implementación futura en la empresa del sector de hidrocarburos.

## **4 Marco Referencial**

### **4.1 Estado del Arte**

Uno de los principales desafíos en la gestión de riesgos en izaje de cargas es la identificación de áreas críticas dentro de los entornos industriales. La investigación de Sánchez Soto y Tiburcio Chambilla (2024), en una mina a tajo abierto identificó que las zonas de mayor incidencia de incidentes laborales se encuentran en las áreas de construcción por expansión de planta, los trabajos en izaje y los trabajos en altura. Estos entornos presentan riesgos elevados debido a la naturaleza de las actividades y la insuficiencia de medidas de seguridad adecuadas.

El estudio resalta la importancia de implementar controles preventivos robustos, tales como mejorar la señalización, capacitar al personal en el manejo seguro de equipos de izaje y realizar mantenimientos regulares. Asimismo, en los trabajos en altura, se enfatiza la necesidad del uso de equipos de protección personal adecuados y la instalación de barreras físicas para mitigar caídas.

Ellos plantean el uso de la técnica Bow Tie como una metodología efectiva que visualizar de manera clara los peligros identificados, las causas potenciales y las consecuencias de los incidentes, facilitando la definición de controles preventivos y mitigantes. Su implementación en entornos industriales ha permitido un análisis más preciso y una mejor toma de decisiones en la prevención de accidentes.

En el contexto del izaje de cargas, la integración de esta técnica podría optimizar la prevención de riesgos. La inclusión monitoreo inteligente en estos procesos fortalecería la capacitación de los operarios mediante que permiten experimentar escenarios de riesgo de manera segura. Ahora bien, la aplicación de auditorías sobre riesgos críticos en entornos industriales ha demostrado su efectividad en la reducción de incidentes laborales y en el fortalecimiento de la cultura de seguridad. En el estudio analizado, “La evaluación de los controles críticos, basada en el cumplimiento de los hallazgos de auditorías sobre riesgos críticos, demostró ser efectiva, con un cumplimiento del 84.2%” (Sánchez, 2024, p. 53.).

Por su parte, el estudio de Collaguazo Hurtado (2024) resalta la importancia de documentar protocolos de seguridad y aplicar metodologías estructuradas para reducir accidentes y mejorar la eficiencia operativa. Sin embargo, la tendencia actual apunta hacia la integración de tecnologías avanzadas, como monitoreo inteligente que permiten una capacitación más efectiva y una identificación proactiva de riesgos en tiempo real.

La incorporación del monitoreo inteligente en la gestión de riesgos representa una oportunidad para complementar los enfoques tradicionales con herramientas digitales que mejoran la prevención y el entrenamiento de trabajadores en entornos controlados. Aunque el manual de procedimientos de Collaguazo Hurtado establece una base sólida, su impacto podría potenciarse con la implementación de modelos predictivos basados en sensores IoT y simulaciones interactivas. De esta manera, se facilita una transición hacia sistemas de seguridad más eficientes y adaptados a las necesidades de entornos industriales complejos.

Ahora bien, el estudio de Tapia Triveño (2020) propone el desarrollo de un software para controlar los riesgos críticos en la minería subterránea de explotación convencional en Arequipa, específicamente en la unidad minera Yanaquihua SAC. La investigación busca fortalecer la

seguridad mediante una herramienta digital accesible en dispositivos móviles, permitiendo inspecciones en tiempo real, generación de reportes y aplicación inmediata de medidas correctivas. La motivación principal radica en la alta tasa de accidentes fatales en este sector, lo que resalta la necesidad de innovar en los sistemas de prevención y supervisión de riesgos.

El software diseñado establece controles preventivos y mitigadores para diez riesgos críticos, como caída de rocas, explosiones e intoxicaciones, alineándose con estándares como la OHSAS 18001 y el DS N° 024-2016-EM. A través de la verificación digital de medidas de seguridad, la aplicación mejora la supervisión operativa y facilita la detección de incumplimientos, permitiendo una gestión más eficiente del riesgo. Además, el estudio destaca la importancia de integrar tecnología en la pequeña y mediana minería para elevar los estándares de seguridad y consolidar una cultura de prevención basada en herramientas digitales innovadoras.

Esta idea se complementa con la investigación de Tapia Erazo (2023) quien analiza la mejora en la eficiencia y seguridad en el proceso de izaje de estructuras metálicas dentro de entornos industriales, destacando la importancia de la capacitación del personal, el cumplimiento normativo y la optimización de procedimientos.

En particular, se observa la implementación de estrategias administrativas, el diseño de cronogramas de formación y la evaluación de costos operativos para garantizar un proceso más seguro y eficiente.

Desde la perspectiva del estado del arte en sistemas de monitoreo inteligente, este estudio proporciona una base relevante al enfatizar la necesidad de procedimientos bien estructurados y de capacitación continua. En la actualidad, la combinación de monitoreo en tiempo real con tecnologías inmersivas está permitiendo avanzar en la simulación de escenarios críticos, donde

se pueden prevenir riesgos mediante entrenamientos en entornos virtuales seguros antes de la ejecución real de las maniobras.

Uno de los aspectos clave de este estudio es la identificación de deficiencias en el cumplimiento de normativas de seguridad, lo cual sugiere una oportunidad para la integración de monitoreo inteligente para entrenamientos más dinámicos y efectivos. Como menciona Tapia Erazo (2023): "la empresa no cumple con la seguridad en los riesgos laborales ya que existe un 57% de no cumplimiento dentro de la empresa, esto hace que el procedimiento sea la salida hacia una solución" (p. 54). Este hallazgo refuerza la necesidad de herramientas avanzadas como monitoreo inteligente en tiempo real para garantizar un entorno de trabajo más seguro y controlado.

Arias et al. (2022) presentan una propuesta para el diseño de un manual de procedimientos seguros en la empresa Multigrúas del Cesar S.A.S., destacando la relevancia de establecer protocolos que minimicen riesgos en actividades de levantamiento mecánico. La investigación enfatiza que el izaje de cargas en el sector petrolero es una labor de alto riesgo debido a la manipulación de elementos pesados y la necesidad de coordinación entre operadores. En este sentido, la ausencia de procedimientos claros ha generado incidentes con consecuencias humanas, económicas y ecológicas, lo que hace imprescindible la estandarización de medidas de seguridad.

El estudio evidencia que, aunque el personal de la empresa posee competencias para la ejecución del izaje de cargas, no existen manuales que regulen sus funciones y garanticen la seguridad de las operaciones. Por ello, se propone la entrega de un modelo de un sistema que sirva como guía práctica para la correcta manipulación de grúas y accesorios, asegurando la protección tanto de los trabajadores como del material de carga. La implementación del sistema

permitiría estructurar un plan de trabajo que reduzca la ocurrencia de accidentes, fortaleciendo la cultura de seguridad dentro de la empresa y mejorando la eficiencia en los procesos de izaje.

La investigación de Arias et al, (2022) evidencian la necesidad de un manual de procedimientos seguros en la empresa Multigrúas del Cesar S.A.S., destacando que la falta de lineamientos claros genera incidentes y accidentes con pérdidas humanas, económicas y ecológicas. Su propuesta busca establecer parámetros de seguridad en el levantamiento mecánico de cargas, garantizando el uso adecuado de equipos y herramientas mediante una guía práctica que permita reducir riesgos en la operación. En este sentido, contar con un manual que especifique las funciones de los operadores y aparejadores es fundamental para mejorar la seguridad y eficiencia en el izaje de cargas.

Por otro lado, Rivera Vásquez (2023) propone un diseño de sistema de izaje hecho a medida, evaluando tres alternativas mediante una matriz de selección y utilizando simulaciones en SolidWorks para determinar el tipo de perfiles estructurales más adecuados. Su estudio resalta la importancia de mantener un factor de seguridad mínimo de 4 en los sistemas de izaje, asegurando la resistencia estructural y la protección de los operarios.

Además, su diseño minimiza la necesidad de elementos adicionales como andamios, optimizando la seguridad en el espacio de trabajo. Esta investigación refuerza la importancia de establecer normativas y metodologías basadas en cálculos estructurales y procedimientos documentados para garantizar un izaje seguro y eficiente.

Por último, el estudio realizado por Bernal Rangel y Torrado Gómez (2022) se enfocó en el diseño y validación de un sistema de izaje para transformadores de baja tensión, desarrollando un prototipo a escala 1:10 con una capacidad de carga de 30 kg. Para garantizar estabilidad y seguridad en la operación, el sistema incluyó un anclaje con seis puntos de apoyo, que podrían ser

fijados mediante soldadura o tornillería, proporcionando modularidad y permitiendo su adaptación a vehículos para su transporte. Durante las pruebas de carga, el sistema respondió satisfactoriamente, implementando un trinquete para mejorar la estabilidad y corrigiendo una ligera curvatura en la horquilla mediante la modificación de su longitud y la adición de soportes soldados.

En términos de desempeño, el sistema debía operar a una velocidad de izaje de 5 cm/s; sin embargo, debido a los efectos de inercia, se requirió reducir la velocidad a 3 cm/s para mejorar la precisión en la alineación de los rieles al frenar. Para optimizar el control de la carga en ambos sentidos, se incorporó una válvula reguladora de caudal unidireccional. Además, se diseñó un mando a distancia que demostró una comunicación estable y efectiva a más de 3 metros, garantizando un control adecuado del mecanismo. El estudio concluyó que la estructura diseñada cumplió con los requerimientos establecidos, permitiendo su escalabilidad a un modelo real con capacidad para izar transformadores de 300 kg. Asimismo, la baja velocidad de izaje implementada contribuyó a reducir el riesgo de lesiones y daños a los equipos, optimizando la seguridad en la operación.

En Colombia, la implementación de tecnologías de monitoreo inteligente en seguridad industrial ha comenzado a consolidarse en sectores como energía, minería, manufactura y logística. Según el Consejo Colombiano de Seguridad y la ARL SURA, se han desarrollado guías metodológicas para el aseguramiento de operaciones de izaje mecánico, que incluyen recomendaciones sobre supervisión activa, planificación técnica, uso de sensores y control de equipos en tiempo real.

Por otro lado, empresas como Colcranes han liderado la automatización de puentes grúa mediante la incorporación de sensores, controladores programables (PLC) y sistemas de

monitoreo remoto. Estos sistemas permiten programar rutas de desplazamiento, definir zonas seguras y emitir alertas en tiempo real, lo que ha reducido los tiempos de operación y mejorado la seguridad en maniobras de izaje. Un caso destacado fue la modernización de un sistema de izaje en el sector vidriero, donde se logró una reducción del 40% en el tiempo de desplazamiento de carga y se eliminaron fallas por sobrecarga.

Además, el uso de sensores IoT en la industria colombiana ha permitido detectar riesgos antes de que se conviertan en incidentes. Estos sensores monitorean variables como temperatura, vibración, gases tóxicos y condiciones estructurales, generando alertas automáticas y facilitando el análisis predictivo. Esta tecnología ha sido aplicada en subestaciones eléctricas, plantas industriales y operaciones logísticas, mejorando la capacidad de respuesta y la eficiencia operativa.

Por otro lado, en la refinería de Ecopetrol en Barrancabermeja se ha documentado una emergencia por volcamiento de andamio durante una maniobra de izaje. Aunque no hubo víctimas fatales, el incidente evidenció fallas en la percepción del riesgo, en los controles operativos y en la supervisión del procedimiento. Este tipo de eventos pone de manifiesto la necesidad de fortalecer los protocolos de seguridad y la formación técnica del personal en maniobras críticas.

Adicional, en el sector petrolero de Barrancabermeja se han comenzado a implementar tecnologías de monitoreo inteligente como parte de la transformación digital de las operaciones. El uso de sensores IoT en tanques, grúas y sistemas de izaje permite recopilar datos en tiempo real sobre presión, temperatura, vibración y estado estructural de los equipos. Estas tecnologías han sido integradas con sistemas SCADA y plataformas de análisis predictivo, lo que ha permitido anticipar fallas, mejorar la trazabilidad operativa y reducir el riesgo de accidentes.

Además, empresas del sector han adoptado cámaras térmicas y sistemas de termografía para detectar anomalías en tuberías, estructuras metálicas y puntos de izaje. Estas herramientas permiten realizar inspecciones remotas, reducir el tiempo de inactividad y evitar fallas críticas en los equipos utilizados para el levantamiento de cargas.

#### **4.2 Marco Teórico.**

Existen diversas teorías que permiten apoyar esta investigación desde el ámbito académico y científico, ya que se relacionan directamente con el objetivo de estudio. Estas comprenden desde la Teoría del riesgo creado hasta la Teoría del cambio, pensada en términos de capacitación laboral.

Para comenzar, la Teoría del riesgo creado establece que quien emplea elementos peligrosos debe asumir la responsabilidad por los daños que estos generen, incluso si su actuar ha sido lícito. Según Marmolejo (2019), esta teoría “es aquella en la cual, quien emplea cosas peligrosas, debe reparar los daños que cause, aun cuando haya actuado lícitamente. Por otro lado, la responsabilidad subjetiva procede de un elemento personal, consistente en la negligencia, culpa o dolo” (p. 110). En ese sentido, se reconoce que los actos peligrosos, aun sin intención de daño, deben contemplar un proceso de resarcimiento.

Ahora bien, en el contexto de la gestión de riesgos en izaje de cargas críticas, la aplicación de esta teoría cobra especial relevancia debido al uso de maquinaria pesada, grúas y equipos que, por su misma naturaleza, pueden generar situaciones de alto riesgo. Por tanto, la implementación de estrategias preventivas como protocolos de operación o simuladores virtuales no solo se convierte en una medida de formación, sino también en una forma de reducir el riesgo de responsabilidad civil o penal. Este enfoque no solo atiende lo legal, sino que fomenta una cultura preventiva en entornos industriales.

Por otro lado, el desarrollo tecnológico ofrece herramientas que complementan esta visión. El uso de tecnologías de monitoreo inteligente permite entrenamientos más seguros y efectivos en entornos controlados. En este sentido, la teoría aporta un marco teórico que explica cómo la evolución tecnológica facilita la adquisición de conocimientos aplicables. Esta revolución industrial moderna incorpora herramientas en las que el trabajador afronta situaciones propias de su cotidianidad. Además, brindan características en las que los usuarios u operarios pueden “ver y manipular objetos virtuales mezclados con su entorno físico mediante el uso de dispositivos especializados, como gafas o cascos” (López, 2024, p. 5).

Esta capacidad de monitoreo inteligente permite una formación más realista, especialmente útil en actividades de alto riesgo como el izaje de cargas críticas. Gracias al monitoreo inteligente, se crean escenarios de entrenamiento más dinámicos y eficaces, en donde los operarios pueden practicar maniobras complejas sin riesgo real, preparando el terreno para una ejecución segura en el entorno físico.

Además, este tipo de entrenamiento incide directamente en la percepción de seguridad del trabajador. Cuando esta percepción es baja, se deterioran los llamados factores de higiene, lo cual puede incrementar la rotación, el ausentismo y disminuir la calidad del trabajo. Por el contrario, al mejorar estos factores mediante simulaciones efectivas y entornos seguros, se fortalece la motivación y se promueve la permanencia laboral.

A propósito de lo anterior, desde la psicología del trabajo, la Teoría de los dos factores de Herzberg aporta una visión que se articula directamente con la seguridad en el entorno laboral. Esta teoría plantea que existen dos tipos de factores que influyen en la satisfacción de los trabajadores: los motivacionales (que generan satisfacción) y los de higiene (cuya ausencia produce insatisfacción). Según Herzberg, existen dos tipos de factores que influyen en la

satisfacción laboral, y que, por tanto, pueden incidir en la práctica laboral. A saber, los factores motivacionales y los factores de higiene. De acuerdo con Flórez (2021), "Dichos motivadores son: el logro, el reconocimiento, el trabajo, la responsabilidad, el avance y el crecimiento personal." (p. 2). En cuanto a los factores de higiene, él los determinó con el nivel de satisfacción o insatisfacción del trabajador en relación con los factores de su contexto laboral.

Entonces, ¿cómo se puede relacionar esta teoría con los riesgos ocupacionales? Pues estos últimos pueden ser considerados como factores de higiene, ya que la ausencia de medidas adecuadas de seguridad genera insatisfacción, desmotivación y aumenta la percepción de riesgo en los trabajadores. Sin embargo, al implementar las teorías vistas anteriormente, se pueden crear factores de higiene positivos que contribuyan a un entorno controlado, seguro y estimulante para el trabajador.

En cuanto a la Teoría del cambio de Lewin, resulta clave en la implementación de estrategias innovadoras para la gestión de riesgos en izaje de cargas críticas. Lewin plantea que el cambio ocurre en tres etapas: descongelamiento, movimiento y recongelamiento. Estos momentos o pasos facilitan el proceso educativo que se da a la par con la configuración de un simulador para la industria. Según Ferrero (2021), esta teoría "reconoce a las conductas como el resultado de la interacción entre fuerzas impulsoras y restrictivas, donde las impulsoras favorecen la conducta deseada y las restrictivas la obstaculizan. Su teoría del cambio plantea tres pasos: descongelamiento, movimiento y recongelamiento." (p. 36). En el contexto del trabajo industrial, el descongelamiento implica reconocer la necesidad de modificar prácticas tradicionales de formación y monitoreo de riesgos. A su vez, el movimiento representa la transición hacia nuevas metodologías de capacitación y supervisión. Finalmente, el recongelamiento permite consolidar dichos cambios en la cultura organizacional.

En suma, desde la Teoría del cambio de Lewin, de monitoreo inteligente permite que los trabajadores se adapten a nuevas formas de entrenamiento y mejora de la seguridad operativa. Si bien es cierto que los seres humanos podemos ser animales de costumbre y surgen resistencias al cambio, también es pertinente anotar que una constante capacitación y motivación facilita el acercamiento a estas nuevas formas de aprendizaje para la mejora de la actividad humana en izaje de cargas.

Por último, la Teoría del dominio del error humano de Reason (1990), la cual explica cómo los errores pueden surgir en diferentes niveles del sistema organizacional. Esta teoría distingue entre errores activos (cometidos por los operadores) y errores latentes (condiciones organizacionales que propician fallos).

En el izaje de cargas críticas, esta teoría permite comprender cómo las fallas humanas pueden estar influenciadas por deficiencias en la capacitación, supervisión o diseño del sistema. La implementación de monitoreo inteligente ayuda a reducir los errores activos mediante retroalimentación inmediata y entrenamiento contextualizado, mientras que los errores latentes pueden ser mitigados con mejoras estructurales y organizacionales.

### **4.3 Marco Conceptual.**

El izaje de cargas críticas hace referencia a las maniobras de levantamiento y traslado de elementos pesados que, por sus características físicas, ubicación o condiciones operativas, implican un alto nivel de riesgo. Para llevar a cabo estas operaciones es necesario cumplir estrictamente los procedimientos de seguridad, contar con trabajadores cualificados y realizar una planificación meticulosa. El izaje se convierte en una tarea que requiere precisión técnica,

control continuo y gestión proactiva de los riesgos en sectores como el del petróleo y el gas, donde las condiciones son extremadamente dinámicas.

La gestión eficaz de riesgos, definida como el proceso sistemático de evaluar y controlar los peligros relacionados, se vuelve necesaria como resultado de esta actividad crucial. Además de la experiencia técnica, esta gestión se basa en la capacidad de prever resultados desfavorables mediante el análisis de datos, la observación del comportamiento humano y la aplicación de medidas preventivas. Se incorporan herramientas de supervisión en tiempo real, ya que esta gestión debe ser dinámica y adaptable en situaciones industriales complicadas.

La observación continua de las condiciones operativas, la detección de desviaciones y la toma de decisiones rápida son posibles gracias al monitoreo en tiempo real. El monitoreo inteligente, que emplea sensores, inteligencia artificial y análisis de datos para generar alertas tempranas y permitir una toma de decisiones bien informada, mejora este enfoque. Además, el monitoreo inteligente ofrece datos útiles para la evaluación del rendimiento, la retroalimentación del proceso de formación y la mejora continua de la seguridad en campo.

La información generada por el monitoreo y la supervisión puede ser aprovechada en procesos de evaluación formativa, los cuales se convierten en un eje articulador de la capacitación técnica en ambientes laborales de alto riesgo. Esta evaluación, más que una medición puntual, es una herramienta estratégica que permite ajustar metodologías, identificar fortalezas, reconocer oportunidades de mejora y asegurar que los aprendizajes estén alineados con las competencias requeridas. Como lo señala García (2023), “la evaluación se utiliza como una retroalimentación de los procesos educativos, contribuye de manera significativa a mejorar los aprendizajes” (p. 21).

Complementariamente, la autoevaluación promueve la reflexión individual sobre el propio desempeño. Al enfrentarse a situaciones simuladas o reales, los trabajadores pueden identificar sus errores, reconocer sus aciertos y tomar decisiones más conscientes. Esta práctica fortalece el aprendizaje autónomo y significativo, y contribuye al desarrollo de una cultura de seguridad basada en la responsabilidad individual.

Las herramientas que permiten simular situaciones reales sin poner en peligro a los colaboradores son necesarias para que la evaluación formativa y la autoevaluación tengan éxito. Los simuladores tecnológicos son un avance importante en la formación técnica en este sentido. En estas situaciones virtuales se pueden practicar maniobras complejas, tomar decisiones bajo presión y corregir errores al instante. Estas herramientas pueden promover la toma de decisiones eficaz y el pensamiento crítico sin exponer al personal en formación a situaciones de riesgo y retos que requieren una evaluación rápida y una respuesta adecuada, según Patraca (2023) (p. 2).

Además, los simuladores permiten una experiencia inmersiva, donde los usuarios interactúan con el entorno virtual utilizando controladores, inspeccionan equipos, utilizan elementos de protección personal y enfrentan situaciones similares a las del campo. Esta vivencia no solo fortalece el desempeño técnico, sino que también desarrolla competencias cognitivas como el análisis, la resolución de problemas y la toma de decisiones.

Finalmente, el uso de simuladores, junto con procesos de evaluación formativa, supervisión en tiempo real y monitoreo inteligente, contribuye al desarrollo de competencias laborales integrales. Estas competencias no se limitan a habilidades técnicas, sino que incluyen capacidades cognitivas, actitudinales y sociales que permiten actuar con eficacia en entornos de alta exigencia. Como lo indica Cáceres (2021), “el uso de estas herramientas para impartir conocimientos permitirá que los formadores puedan trabajar sobre las fortalezas y deficiencias de

cada uno de los colaboradores, y estimularlos a ser más creativos y emprendedores de una manera mucho más personalizada a como se viene realizando actualmente” (p. 46).

Esta estrategia integral fomenta el desarrollo de una cultura de seguridad, que se define como el conjunto de creencias, actitudes y comportamientos que apoyan la prevención de riesgos, el autocuidado y el desarrollo continuo en el lugar de trabajo. Como resultado, los empleados asumen un papel activo en su propia formación y están mejor preparados para afrontar las dificultades de entornos de trabajo extremadamente complejos.

#### **4.4 Marco Legal.**

El presente proyecto se sustenta en un conjunto de referentes legales que abarcan desde principios globales hasta normativas específicas del contexto colombiano. Esta estructura legal permite enmarcar la investigación dentro de los estándares internacionales, las obligaciones nacionales y las exigencias sectoriales, garantizando la pertinencia y aplicabilidad de la propuesta.

En el plano global, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico, promueven condiciones laborales seguras, inclusivas y sostenibles. Este objetivo impulsa la mejora continua de los entornos laborales mediante la innovación, la formación técnica y la prevención de riesgos, principios que se alinean directamente con el propósito de esta investigación. Asimismo, el concepto de trabajo decente, promovido por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), establece que la seguridad, la salud y la capacitación son pilares fundamentales para el desarrollo humano y organizacional.

En coherencia con estos principios, la Norma ISO 45001:2018 establece los requisitos para implementar un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), orientado a prevenir accidentes, incidentes y enfermedades laborales. Esta norma exige que las organizaciones estén preparadas para responder a situaciones de emergencia, lo cual es esencial en actividades de izaje de cargas críticas, donde los riesgos operativos son elevados.

También, la Norma ISO 31000:2018 proporciona directrices para la gestión del riesgo, promoviendo un enfoque estructurado, sistemático y proactivo que permite integrar la prevención en todos los niveles de la organización. Esta norma respalda el uso de tecnologías de supervisión en tiempo real y monitoreo inteligente, al fomentar la toma de decisiones basada en evidencia.

Del mismo modo, la Norma Técnica NTP 701, emitida por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), ofrece recomendaciones específicas para el manejo seguro de grúas torre, destacando los riesgos asociados y las medidas preventivas que deben adoptar los operadores. Esta norma es especialmente útil para sensibilizar sobre los peligros del izaje y orientar la capacitación técnica del personal.

En el contexto colombiano, el artículo 53 de la Constitución Política de 1991 establece el deber de garantizar condiciones laborales dignas y seguras, lo cual fundamenta la implementación de sistemas que protejan la vida y salud de los trabajadores.

El Decreto 1072 de 2015, que compila la normativa del sector trabajo, exige la implementación del SG-SST en todas las organizaciones, incluyendo la identificación y control de riesgos laborales. Esta disposición se articula con la Ley 1562 de 2012, que refuerza la responsabilidad empresarial frente a la prevención de siniestros derivados del manejo de cargas, especialmente en organizaciones con actividades de alto riesgo.

La Resolución 2400 de 1979, particularmente en sus artículos 410 al 426, regula el uso de maquinaria y equipos de izaje, estableciendo requisitos técnicos, medidas de protección, inspecciones periódicas y competencias mínimas del personal. Aunque es una norma antigua, sigue siendo un referente técnico importante en el país.

La Resolución 312 de 2019 establece los estándares mínimos del SG-SST, ajustados al tamaño y nivel de riesgo de cada organización. En el caso del izaje de cargas críticas, esta resolución exige protocolos específicos, formación continua y mecanismos de control adaptados a la complejidad del entorno.

Finalmente, desde una perspectiva sectorial, la Resolución 4272 de 2021 regula el trabajo seguro en alturas, actividad que frecuentemente se relaciona con el izaje de cargas en obras de construcción y sectores como el petrolero. Esta norma incluye disposiciones sobre el uso de grúas, capacitación técnica del personal y medidas de protección contra caídas, reemplazando a la anterior Resolución 1409 de 2012 (Ministerio del Trabajo, 2021; Ministerio del Trabajo, 2012).

## **5 Metodología de la investigación**

### **5.1 Tipo de Investigación**

El presente proyecto de grado se enmarcó en una investigación de tipo cualitativo, orientada a comprender, interpretar y proponer soluciones frente a las problemáticas asociadas al izaje de cargas en ambientes críticos, como lo es el sector de hidrocarburos. Este tipo de investigación permitió explorar fenómenos complejos en su contexto natural, accediendo a las percepciones, experiencias y significados construidos por los actores involucrados en estas

operaciones de alto riesgo, las cuales son reconocidas como tareas críticas que “requieren planeación y supervisión especializada para garantizar la seguridad” (ARL SURA, 2022, p. 5).

La investigación se fundamentó en la interpretación de realidades construidas socialmente, utilizando técnicas como la observación directa, las entrevistas semiestructuradas, análisis bibliométrico y vigilancia tecnológica. Estas herramientas permitieron captar la riqueza del contexto operativo, los factores humanos y organizacionales, así como las condiciones técnicas y ambientales que incidieron en la seguridad del izaje de cargas en entornos complejos (Pérez Gamboa, et al., 2024, p. 37)

Desde el punto de vista metodológico, se adoptó un diseño descriptivo-interpretativo, el cual facilitó la identificación de brechas operativas, técnicas y procedimentales en las prácticas de izaje, así como la formulación de estrategias de mejora contextualizadas. Este tipo de diseño es especialmente útil para investigaciones aplicadas que buscan identificar brechas operativas y construir propuestas contextualizadas mediante el análisis documental y la observación directa. Este diseño permitió describir detalladamente las condiciones actuales en las que se desarrollan estas maniobras, interpretar las causas de los incidentes o desviaciones, y construir alternativas de solución desde una perspectiva crítica y reflexiva (CCS, 2023, p. 18).

La elección de este enfoque respondió a la necesidad de comprender el izaje de cargas no solo como una actividad técnica, sino como un proceso multidimensional que involucra cultura de seguridad, competencias del personal, condiciones del entorno, liderazgo operativo y cumplimiento normativo. Así, se busca generar propuestas que no solo mitiguen riesgos, sino que fortalezcan la gestión integral de estas operaciones en ambientes de alta complejidad (ANH, 2021, p. 14).

## **5.2 Enfoque de la Investigación**

El enfoque de esta investigación es cualitativo, ya que permite comprender fenómenos complejos desde una perspectiva interpretativa, centrada en el análisis de significados, experiencias y contextos. Según Sampieri, Collado y Lucio (2021), el enfoque cualitativo se caracteriza por estudiar la realidad en su contexto natural, interpretando los fenómenos según los significados que las personas les atribuyen. Este enfoque resulta pertinente para explorar cómo el monitoreo inteligente puede mejorar la gestión de riesgos en maniobras de izaje de cargas críticas, considerando tanto los factores técnicos como humanos que inciden en la seguridad laboral.

## **5.3 Población y Muestra Poblacional**

La población total de la organización está constituida por 36 colaboradores, pero para la muestra poblacional de este estudio está constituida por tres (3) trabajadores operativos del sector petrolero que son los involucrados directamente en maniobras de izaje de cargas críticas, desempeñando funciones como operario, supervisor y gestor de riesgos. Se aplicó un muestreo no probabilístico intencional, mediante el cual se seleccionaron deliberadamente individuos con experiencia relevante en las operaciones de izaje, con el fin de garantizar la obtención de datos ricos y profundos.

Por otra parte, los criterios de inclusión reconocen al personal con más de dos años de experiencia en su cargo y formación técnica relacionada con protocolos o manejo de equipos de izaje. También contemplan edad entre 25 y 55 años. Se excluyen aquellos sin experiencia operacional real en izaje o sin vinculación con protocolos de seguridad establecidos.

#### **5.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Información**

Para el desarrollo de este proyecto se aplicaron dos técnicas principales que permitieron abordar de manera complementaria los aspectos cualitativos y cuantitativos del estudio: el análisis documental y la ficha de control de condiciones de seguridad. Estas herramientas fueron fundamentales para sustentar los diferentes componentes del trabajo, desde la formulación del problema hasta el análisis de los resultados, y se articularon en un proceso metodológico organizado en etapas consecutivas.

En primer lugar, se realizó un análisis documental de fuentes académicas, técnicas y normativas, con el fin de identificar antecedentes, conceptos clave y criterios de seguridad aplicables al izaje de cargas críticas. Tal como lo plantea Odón (2023), este tipo de investigación se “orienta a la búsqueda de nuevos conocimientos a partir del análisis de datos secundarios, es decir, aquellos que han sido previamente recopilados y publicados por otros autores o instituciones científicas” (p. 12). Para su aplicación, se consultaron artículos académicos, tesis, informes técnicos y publicaciones relevantes, seleccionadas mediante búsquedas en bases de datos científicas, atendiendo a criterios de actualidad, rigor metodológico y pertinencia temática. Esta etapa permitió construir el planteamiento del problema, el estado del arte, el marco teórico y el marco conceptual, aportando una base sólida para el desarrollo del proyecto.

Posteriormente, se seleccionó y adaptó la ficha de control de condiciones de seguridad, basada en la NTP 701: Grúas torre. Recomendaciones de seguridad en su manipulación (INSST, 1994). Este instrumento, validado oficialmente y utilizado en investigaciones previas, fue ajustado para verificar de forma sistemática las condiciones de seguridad durante las maniobras de izaje de cargas críticas. La ficha, presentada en el Apéndice A, está compuesta por una tabla que agrupa ítems esenciales para la evaluación, tales como acceso al puesto de

conducción, visibilidad, señalización, alarmas sonoras, limitadores de giro, distancias a líneas eléctricas, formación de operadores, dispositivos de seguridad y uso de elementos de protección individual (EPI).

De manera complementaria, se incluyó la validación de la herramienta mediante encuestas aplicadas a los operarios vinculados a las maniobras de izaje, con el propósito de evaluar su pertinencia, utilidad y aplicabilidad en el contexto operativo. Los resultados de estas encuestas se presentan en el Apéndice B, constituyendo la evidencia empírica que respalda la fase de validación.

A continuación, los instrumentos fueron aplicados en las operaciones de izaje de cargas críticas, contrastando las condiciones reales observadas con los estándares técnicos establecidos. Esta aplicación permitió obtener evidencia empírica para el cumplimiento del primer objetivo específico y generar insumos para el análisis comparativo normativo del segundo.

Finalmente, los resultados obtenidos se organizaron en tablas comparativas y matrices de riesgos, integrando los hallazgos documentales, normativos y empíricos. Este análisis permitió identificar brechas operativas y técnicas, y constituyó la base para avanzar hacia el establecimiento de lineamientos de integración del sistema de monitoreo inteligente con la normativa nacional e internacional, así como hacia la definición de los requerimientos técnicos y funcionales del sistema.

**Tabla 1***Descripción de desarrollo de objetivos*

Titulo	Objetivo		Fases	Resultado
	Objetivo General	Objetivos Específicos		
Diseño de un sistema de monitoreo inteligente para la gestión de riesgos en tiempo real en el izaje de cargas críticas en una empresa del sector de hidrocarburos	Diseñar un sistema de monitoreo inteligente que seleccione y examine datos en tiempo real en el izaje de cargas críticas en una empresa del sector de hidrocarburos.	<p><b>Objetivo específico 1</b></p> <p>Identificar los riesgos presentes en las maniobras de izaje de cargas críticas en una empresa del sector de hidrocarburos, de acuerdo con la normatividad nacional e internacional vigente, para diseñar medidas de prevención y control que garanticen la seguridad de los trabajadores y la continuidad de las operaciones.</p>	<p>Actividad 1.</p> <p>Realizar una revisión documental de estudios y aplicaciones de monitoreo inteligente enfocadas en seguridad industrial para escenarios de alto riesgo, con atención especial a contextos de grúas y entornos de hidrocarburos</p>	<p>Se obtiene un diagnóstico fundamentado en fuentes académicas y técnicas que valida la viabilidad de un monitoreo inteligente y detectar riesgos operativos en tiempo real, aportando un informe cualitativo estructurado sobre posibles peligros durante las maniobras de izaje y orientando los siguientes pasos metodológicos del estudio.</p>
		<p><b>Objetivo específico 2</b></p> <p>Establecer lineamientos de integración del sistema de monitoreo inteligente con la normativa nacional e internacional en seguridad para el izaje de cargas críticas, orientando su pertinencia en el</p>	<p>Actividad 1</p> <p>Realizar un análisis técnico de las variables críticas identificadas en maniobras de izaje de cargas, con base en la revisión documental, para establecer criterios que</p>	<p>Se obtiene un análisis bibliométrico que sistematiza las principales fuentes documentales relacionadas con el izaje de cargas críticas y el monitoreo inteligente. Este análisis permite identificar patrones temáticos, variables recurrentes y enfoques técnicos relevantes, orientando la integración del sistema propuesto con las prácticas seguras del sector hidrocarburos.</p>

Titulo	Objetivo		Fases	Resultado
	Objetivo General	Objetivos Específicos		
		sector de hidrocarburos.	orienten la integración del sistema de monitoreo inteligente en contextos operativos del sector hidrocarburos.	
		<p><b>Objetivo específico 3</b></p> <p>Determinar un sistema de monitoreo inteligente que seleccione y examine datos en tiempo real sobre el contexto de seguridad, equipos y recurso humano implicado en el izaje.</p>	<p>Actividad 1.</p> <p>Diseño un esquema funcional del sistema de monitoreo inteligente para maniobras de izaje, mediante un diagrama de flujo que represente el proceso de captura, análisis y visualización de datos en tiempo real. Este diseño debe incluir especificaciones técnicas como sensores, dispositivos de comunicación, variables monitoreadas y actores involucrados.</p>	<p>Entrega un diagrama de flujo que describe el funcionamiento del sistema de monitoreo inteligente, detallando sus componentes técnicos (sensores, interfaces, protocolos de comunicación, variables críticas) y su interacción con el contexto operativo del izaje. Este insumo permite visualizar el proceso completo de supervisión en tiempo real y sirve como base para su futura implementación.</p>

## 6 Desarrollo de los Objetivos

### 6.1 Objetivo Específico 1. Identificar los riesgos de izaje de cargas críticas

Para el desarrollo de este objetivo se integraron tres fuentes principales de análisis: la revisión de literatura especializada, la normativa técnica vigente (NTP 701) y la aplicación de la ficha de control de condiciones de seguridad (Apéndice A). Esta triangulación metodológica permitió establecer un diagnóstico inicial sobre los riesgos críticos presentes en las maniobras de izaje de cargas en el sector hidrocarburos.

La revisión documental permitió identificar riesgos recurrentes como señalización deficiente, fallas en la comunicación entre operarios, interferencias con estructuras cercanas y errores humanos derivados de la presión operativa. Estos hallazgos fueron contrastados con los lineamientos técnicos de la NTP 701, que establece condiciones mínimas de seguridad en el manejo de grúas, tales como el uso de limitadores de giro, distancias mínimas a líneas eléctricas, prohibición de maniobras en oblicuo, visibilidad adecuada y presencia de alarmas sonoras.

Complementariamente, se aplicó en campo una ficha de control a tres operarios directamente vinculados con las maniobras de izaje. El instrumento evaluó 22 ítems relacionados con condiciones de seguridad, tales como uso de elementos de protección personal, cumplimiento de las distancias de seguridad, verificación de equipos y comunicación entre personal. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla siguiente, donde se evidencia un cumplimiento integral de la mayoría de los ítems evaluados. Este hallazgo refleja una percepción positiva de las prácticas actuales, aunque también pone de manifiesto la necesidad de fortalecer los mecanismos de supervisión mediante sistemas de monitoreo inteligente que no dependan

exclusivamente de la experiencia del operario, sino que permitan supervisar en tiempo real las variables críticas de la operación.

La matriz comparativa (Tabla 2) sintetiza las principales variables observadas y facilita la identificación de patrones de riesgo recurrentes. Su análisis comparativo integra los hallazgos documentales y normativos, ofreciendo una visión clara de los riesgos prioritarios en el izaje de cargas críticas. Este insumo constituye la base técnica para el desarrollo del segundo objetivo, orientado a establecer lineamientos de integración del sistema de monitoreo inteligente con la normativa nacional e internacional, respondiendo a las exigencias operativas del sector hidrocarburos.

**Tabla 2**

*Matriz comparativa de identificación de riesgos en izaje de cargas críticas*

<b>Ítem NTP 701 (Ficha de control)</b>	<b>Riesgo asociado</b>	<b>Medidas de prevención</b>
<b>1. Acceso seguro al puesto de conducción</b>	Caídas, golpes, atrapamientos	Diseño seguro del acceso: escaleras antideslizantes y plataformas con barandillas
<b>2. Visibilidad adecuada</b>	Colisión con estructuras/personas	Delimitar y señalizar las zonas de trabajo
<b>3. Encargado de señales y código de comunicación</b>	Fallas de comunicación, errores humanos	Capacitación en señales, códigos y protocolos estandarizados
<b>4. Cabina confortable y equipada</b>	Fatiga, error humano	Ergonomía de la cabina, pausas activas y rotación de tareas
<b>5. Zonas de trabajo señalizadas</b>	Colisiones, atropellamientos	Delimitación física y control de acceso

Ítem NTP 701 (Ficha de control)	Riesgo asociado	Medidas de prevención
<b>6. Alarmas sonoras por cargas</b>	Aplastamientos, golpes por carga	Instalación de alarmas sonoras y visuales. Capacitación al personal sobre estas alarmas de advertencia
<b>7. Plataformas de descarga (evitan oblicuos)</b>	Pérdida de carga, volcamiento	Verificación del terreno y condición de descarga
<b>8. Cargas máximas señalizadas</b>	Sobrecarga, fallo estructural	Verificación técnica antes de cada maniobra
<b>9. Prohibido estar bajo la carga</b>	Aplastamiento fatal	Señalización y control de acceso bajo cargas suspendidas
<b>10. Prohibido tirar en oblicuo</b>	Desestabilización de carga	Capacitación del personal en técnicas de izaje seguras
<b>11. Limitador de giro (<math>\leq 3</math> rotaciones)</b>	Fallo mecánico, pérdida de control	Instalación de limitadores de giro certificados
<b>12. Prohibido subirse a cargas</b>	Caídas graves	Supervisión activa y control de cumplimiento
<b>13. Anemómetro (alertas viento)</b>	Caída de carga por viento	Instalación de anemómetros en zonas de izaje
<b>14. Cables, cadenas y accesorios certificados</b>	Falla de aparejos	Inspección periódica y registro de mantenimiento
<b>15. Personal formado en enganche</b>	Errores de amarre, caída de carga	Capacitación certificada en técnicas de enganche y evaluación periódica

<b>Ítem NTP 701 (Ficha de control)</b>	<b>Riesgo asociado</b>	<b>Medidas de prevención</b>
<b>16. Grúa con todos los dispositivos de seguridad</b>	Fallos múltiples	Mantenimiento preventivo y calibración periódica
<b>17. Cargas de comprobación máxima</b>	Sobrecarga no detectada	Solicitar antes de cada operación el registro técnico de pruebas y certificaciones
<b>18. Distancia entre grúas cercanas</b>	Colisiones entre grúas	Coordinación y comunicación entre operadores
<b>19. Prevención contacto eléctrico</b>	Electrocución	Aislamiento y señalización de líneas eléctricas cercanas
<b>20. Distancia <math>\geq 5</math> m líneas alta tensión</b>	Electrocución	Delimitación física y señalización de zonas de alta tensión
<b>21. Uso de EPI adecuados</b>	Lesiones por exposición	Dotación y uso obligatorio de EPI según riesgo
<b>22. Instrucciones de emergencia</b>	Respuesta ineficaz a incidentes	Capacitación en respuesta ante emergencias

## **6.2 Objetivo Específico 2. Establecer lineamientos de integración del sistema de monitoreo inteligente con la normativa nacional e internacional**

Para el desarrollo del segundo objetivo específico, se llevó a cabo un análisis comparativo de la normativa nacional e internacional aplicable a los 22 ítems establecidos en la NTP 701, tal como se presenta en la Tabla 2. En esta verificación normativa, cada ítem fue contrastado con los estándares técnicos correspondientes, relacionando las condiciones críticas de seguridad con los marcos regulatorios vigentes. En las referencias consideradas se incluyen

las resoluciones y decretos colombianos en materia de seguridad industrial, las guías técnicas del Consejo Colombiano de Seguridad (CCS) y, en el ámbito internacional, la ISO 45001 y la normativa de la OSHA 1926.753(d) – Safety during hoisting operations sobre seguridad durante operaciones de izaje.

**Tabla 3**

*Matriz comparativa de identificación de riesgos y la normativa Nacional e Internacional en izaje de cargas críticas*

<b>Ítem NTP 701 (Ficha de control)</b>	<b>Riesgo asociado</b>	<b>Normativa Nacional e internacional</b>	<b>Medidas de prevención</b>
<b>1. Acceso seguro al puesto de conducción</b>	Caídas, golpes, atrapamientos	ISO 45001:2018 - Sección 8.1 – Planificación y control operacional	Diseño seguro del acceso: escaleras antideslizantes y plataformas con barandillas
<b>2. Visibilidad adecuada</b>	Colisión con estructuras/personas	Res 2400/1979 - Capítulo III, Artículos 79–87	Delimitar y señalizar las zonas de trabajo Capacitación en
<b>3. Encargado de señales y código de comunicación</b>	Fallas de comunicación, errores humanos	Ley 1562/2012 -Art 1.	señales, códigos y protocolos estandarizados
<b>4. Cabina confortable y equipada</b>	Fatiga, error humano	Resolución 2400 de 1979 – Artículos 80 y 85	Ergonomía de la cabina, pausas activas y rotación de tareas
<b>5. Zonas de trabajo señalizadas</b>	Colisiones, atropellamientos	Guía Técnica CCS – Sección 6.1.2.6	Delimitación física y control de acceso

Ítem NTP 701 (Ficha de control)	Riesgo asociado	Normativa Nacional e internacional	Medidas de prevención
<b>6. Alarmas sonoras por cargas</b>	Aplastamientos, golpes por carga	Resolución 2400 de 1979 – Artículo 80	Instalación de alarmas sonoras y visuales. Capacitación al personal sobre estas alarmas de advertencia
<b>7. Plataformas de descarga (evitan oblicuos)</b>	Pérdida de carga, volcamiento	Guía Técnica del Consejo Colombiano de Seguridad (CCS) – Sección 6.1.2.4	Verificación del terreno y condición de descarga
<b>8. Cargas máximas señalizadas</b>	Sobrecarga, fallo estructural	NTC 1647 – Requisitos para izaje de cargas	Verificación técnica antes de cada maniobra
<b>9. Prohibido estar bajo la carga</b>	Aplastamiento fatal	OSHA 1926.753(d) – Safety during hoisting operations	Señalización y control de acceso bajo cargas suspendidas
<b>10. Prohibido tirar en oblicuo</b>	Desestabilización de carga	Guía Técnica del Consejo Colombiano de Seguridad (CCS) – Sección 6.1.2.5	Capacitación del personal en técnicas de izaje seguras
<b>11. Limitador de giro (<math>\leq 3</math> rotaciones)</b>	Fallo mecánico, pérdida de control	NTC 1647 – Requisitos para izaje de cargas	Instalación de limitadores de giro certificados
<b>12. Prohibido subirse a cargas</b>	Caídas graves	Resolución 4272 de 2021 – Artículo 17	Supervisión activa y control de cumplimiento

<b>Ítem NTP 701 (Ficha de control)</b>	<b>Riesgo asociado</b>	<b>Normativa Nacional e internacional</b>	<b>Medidas de prevención</b>
<b>13. Anemómetro (alertas viento)</b>	Caída de carga por viento	Guía Técnica del Consejo Colombiano de Seguridad (CCS) – Sección 6.1.2.8	Instalación de anemómetros en zonas de izaje
<b>14. Cables, cadenas y accesorios certificados</b>	Falla de aparejos	NTC 1647 – Requisitos para izaje de cargas	Inspección periódica y registro de mantenimiento Capacitación
<b>15. Personal formado en enganche</b>	Errores de amarre, caída de carga	Guía Técnica del Consejo Colombiano de Seguridad (CCS) – Sección 6.1.2.1	certificada en técnicas de enganche y evaluación periódica
<b>16. Grúa con todos los dispositivos de seguridad</b>	Fallos múltiples	ISO 10245-1:2008 – Grúas: Dispositivos de seguridad – Parte 1: Generalidades	Mantenimiento preventivo y calibración periódica
<b>17. Cargas de comprobación máxima</b>	Sobrecarga no detectada	NTC 1647 – Requisitos para izaje de cargas	Solicitar antes de cada operación el registro técnico de pruebas y certificaciones
<b>18. Distancia entre grúas cercanas</b>	Colisiones entre grúas	Guía Técnica del Consejo Colombiano de Seguridad (CCS) – Sección 6.1.2.11 Reglamento Técnico de	Coordinación y comunicación entre operadores
<b>19. Prevención contacto eléctrico</b>	Electrocución	Instalaciones Eléctricas (RETIE) - Artículo 3.3.1.2 – Distancias de seguridad	Aislamiento y señalización de líneas eléctricas cercanas

<b>Ítem NTP 701 (Ficha de control)</b>	<b>Riesgo asociado</b>	<b>Normativa Nacional e internacional</b>	<b>Medidas de prevención</b>
<b>20. Distancia <math>\geq</math> 5 m líneas alta tensión</b>	Electrocución	Guía Técnica del Consejo Colombiano de Seguridad (CCS) – Sección 6.1.2.12	Delimitación física y señalización de zonas de alta tensión
<b>21. Uso de EPI adecuados</b>	Lesiones por exposición	Resolución 0312 de 2019 - estándar 2.6.1	Dotación y uso obligatorio de EPI según riesgo
<b>22. Instrucciones de emergencia</b>	Respuesta ineficaz a incidentes	Decreto 1072 de 2015 – Artículo 2.2.4.6.4	Capacitación en respuesta ante emergencias

Asimismo, se realizó un análisis bibliométrico de publicaciones científicas relacionadas con sistemas de monitoreo inteligente, con el propósito de identificar la realidad actual y la importancia del tema a nivel global. Este análisis aportó información cuantitativa sobre tendencias de investigación, países líderes, instituciones y coautorías, evidenciando el creciente interés académico y tecnológico en la integración de sensores IoT, plataformas digitales y sistemas predictivos para la gestión de riesgos. Aunque este componente no permite establecer lineamientos normativos, sí constituye un insumo valioso para contextualizar la propuesta y fortalecer su justificación científica en concordancia con la normativa nacional e internacional.

La búsqueda se realizó principalmente en la base de datos Scopus, utilizando operadores booleanos y palabras clave en inglés, lo que permitió obtener más de 1.100 artículos científicos relacionados con monitoreo inteligente, gestión de riesgos, supervisión en tiempo real, izaje de cargas críticas y capacitación técnica. A partir de estos resultados, se aplicaron criterios de

inclusión que permitieron depurar la información y construir mapas de colaboración académica, redes de coautoría y análisis de citas mediante el software VOSviewer 1.8.

El análisis reveló que países como España, Estados Unidos, Alemania y Francia lideran la producción científica en esta temática, mientras que Colombia, Perú, Ecuador y México presentan una participación emergente. Asimismo, se identificaron autores clave como Estrada, Olivos y Martínez-Aberga, quienes han desarrollado investigaciones relevantes sobre sistemas inteligentes aplicados a la seguridad industrial.

Estos hallazgos permitieron identificar variables críticas para el diseño del sistema de monitoreo inteligente, tales como el estado técnico de los equipos, condiciones ambientales, peso de la carga, experiencia del operador y cumplimiento normativo. Además, se evidenció la necesidad de incorporar tecnologías emergentes como sensores IoT, algoritmos de inteligencia artificial y simuladores inmersivos, que faciliten la supervisión continua, la detección de desviaciones operativas y la generación de alertas predictivas.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta fase constituyen un informe técnico de vigilancia tecnológica, que sirve como insumo clave para la integración normativa y técnica del sistema propuesto, asegurando su pertinencia en el sector hidrocarburos y su alineación con los estándares internacionales de seguridad industrial.

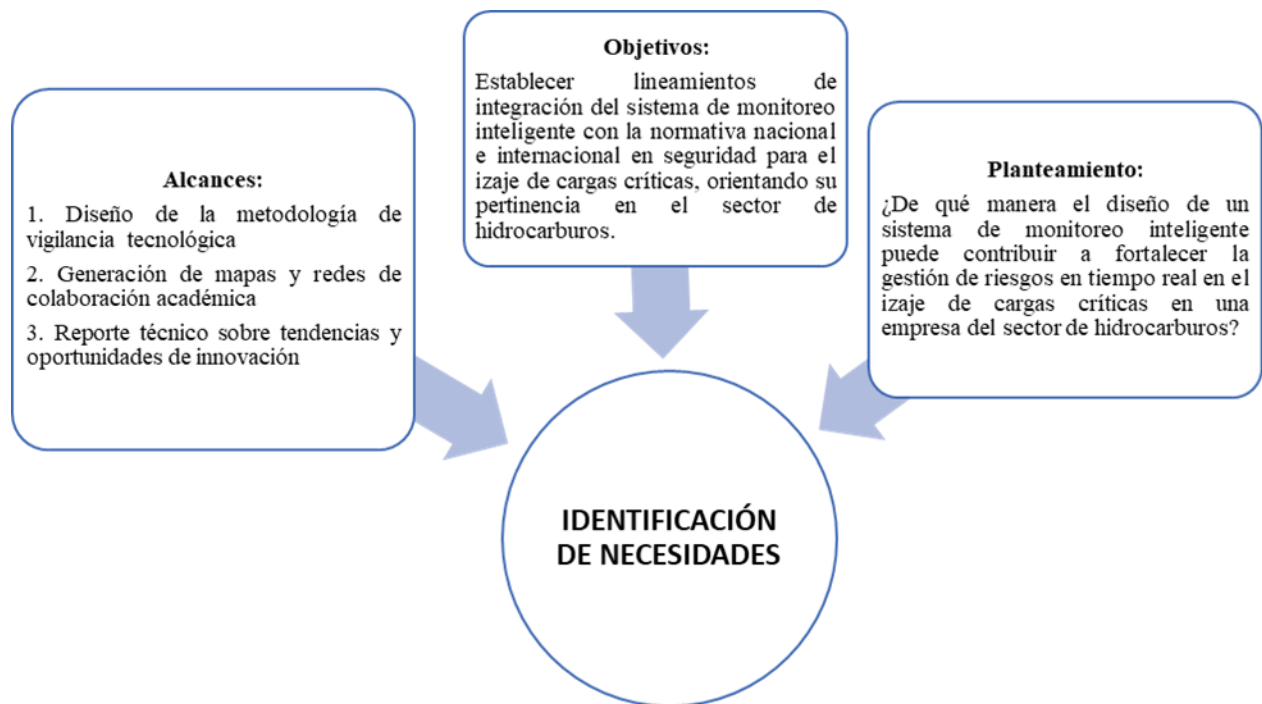
Con base en lo anterior, resulta pertinente presentar el desarrollo del informe de vigilancia tecnológica, el cual se convierte en un insumo fundamental para este objetivo. Este informe permitió identificar autores clave, tecnologías emergentes, tendencias científicas y referentes normativos que fortalecen la propuesta del sistema de monitoreo inteligente, y que además aportan una visión actualizada sobre la gestión de riesgos en tiempo real en operaciones de izaje de cargas críticas.

### 6.2.1 Estado de la técnica

El estado de la técnica se definió bajo el planteamiento de una pregunta problémica y sus objetivos respectivos. El tema principal se estructuró con la premisa de realizar una exploración en “monitoreo inteligente para la gestión de riesgos en tiempo real en el izaje de cargas críticas.

#### Figura 1

##### Estructura interna



### 6.2.2 Búsqueda de información cuadro de control 1

La búsqueda de información se enfocó principalmente en Scopus. Tras realizar la discriminación y delimitación de tópicos y palabras clave, se procedió al rastreo y centralización

precisa de las categorías. Las fuentes incluyeron artículos, oficinas de registro de patentes, bases especializadas (marcas y diseños), catálogos de productos comerciales, entre otros.

Respecto a la información obtenida de artículos, se vincularon las principales bases científicas de revistas indexadas a nivel mundial, haciendo uso de Scopus.

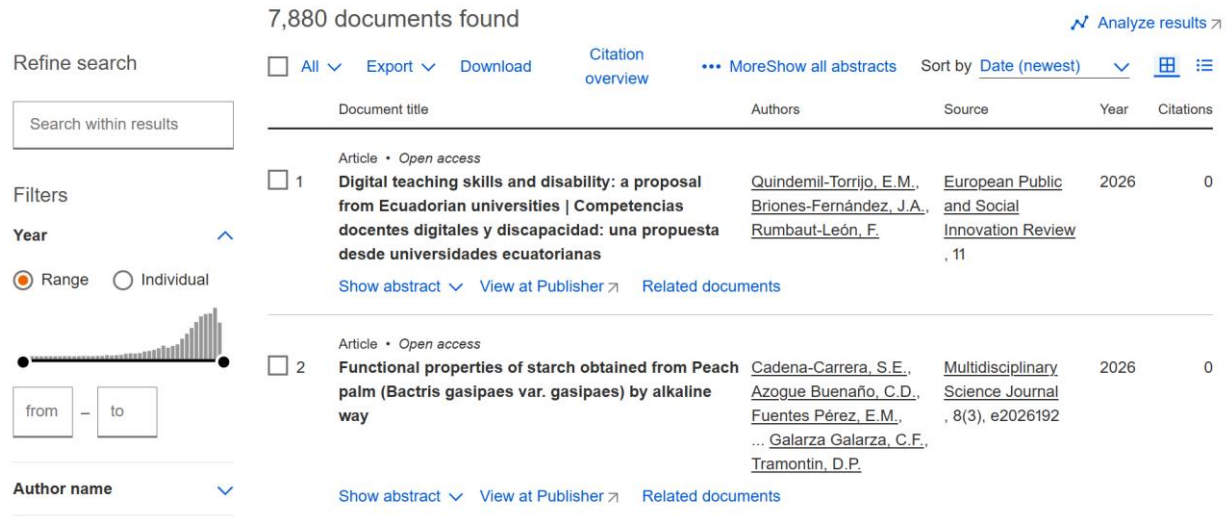
Esto se precisó mediante la aplicación combinada de operadores booleanos y palabras clave en inglés. Los operadores conectan los términos de búsqueda para ampliar o restringir resultados; los básicos fueron: AND, OR y NOT.

La ruta constituyó, en primera instancia, la delimitación de la ODS, los resultados preliminares y la ecuación de búsqueda. Ver tabla 6.

**Tabla 4**

*Caracterización de la búsqueda #1*

ODS	RESULTADOS	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA
Trabajo decente	7,880 document results	( ALL ( monitoreo AND inteligente ) OR ALL ( supervisión AND en AND tiempo AND real ) OR ALL ( gestión AND de AND riesgos ) OR ALL ( izaje AND de AND cargas AND críticas ) OR ALL ( capacitación AND técnica ) )

**Figura 2***Resultados de búsqueda global en Scopus*

Nota. Scopus

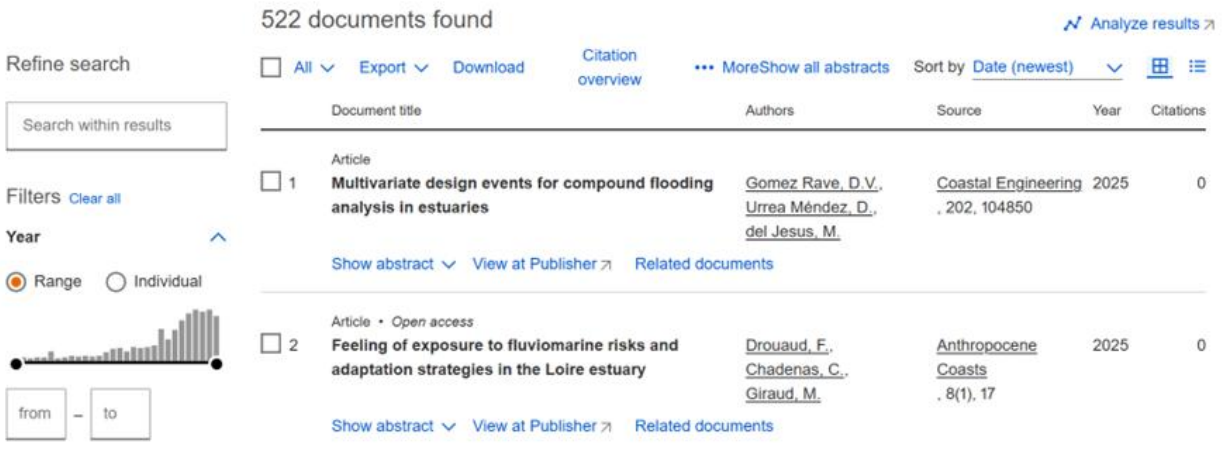
Esta búsqueda se hizo bajo la inclusión de la primera ecuación planteada. De esta acción, se determinó como resultado 7,880.

### 6.2.3 Filtración de Información

Este paso se ejecutó mediante la aplicación de la ecuación de búsqueda establecida, obteniendo como resultado 522 artículos originales relacionados con la temática y los criterios definidos. Se consideraron variables de clasificación como año, tipo de documento, área temática, palabras clave, entre otras.

**Figura 3**

*Resultados de búsqueda en Scopus con criterios definidos*



Nota: Scopus

#### 6.2.4 *Procesamiento de datos*

Se avanzó a la EXPORTACIÓN GLOBAL de la búsqueda generada por Scopus para el procedimiento externo de datos y referenciación:

**Figura 4**

*Extensiones y referenciación Scopus*

Export 522 documents to CSV [?](#) ×

What information do you want to export?

<input checked="" type="checkbox"/> Citation information	<input checked="" type="checkbox"/> Bibliographical information	<input checked="" type="checkbox"/> Abstract & keywords	<input checked="" type="checkbox"/> Funding details	<input checked="" type="checkbox"/> Other information
<input checked="" type="checkbox"/> Author(s)	<input checked="" type="checkbox"/> Affiliations	<input checked="" type="checkbox"/> Abstract	<input checked="" type="checkbox"/> Number	<input checked="" type="checkbox"/> Accession numbers & chemicals
<input checked="" type="checkbox"/> Document title	<input checked="" type="checkbox"/> Serial identifiers (e.g. ISSN)	<input checked="" type="checkbox"/> Author keywords	<input checked="" type="checkbox"/> Acronym	<input checked="" type="checkbox"/> Conference information
<input checked="" type="checkbox"/> Year	<input checked="" type="checkbox"/> PubMed ID	<input checked="" type="checkbox"/> Indexed keywords	<input checked="" type="checkbox"/> Sponsor	<input checked="" type="checkbox"/> Include references
<input checked="" type="checkbox"/> EID	<input checked="" type="checkbox"/> Publisher		<input checked="" type="checkbox"/> Funding text	
<input checked="" type="checkbox"/> Source title	<input checked="" type="checkbox"/> Editor(s)			
<input checked="" type="checkbox"/> Volume, issues, pages	<input checked="" type="checkbox"/> Language of original document			
<input checked="" type="checkbox"/> Citation count	<input checked="" type="checkbox"/> Correspondence address			
<input checked="" type="checkbox"/> Source & document type	<input checked="" type="checkbox"/> Abbreviated source title			
<input checked="" type="checkbox"/> Publication stage				
<input checked="" type="checkbox"/> DOI				
<input checked="" type="checkbox"/> Open access				

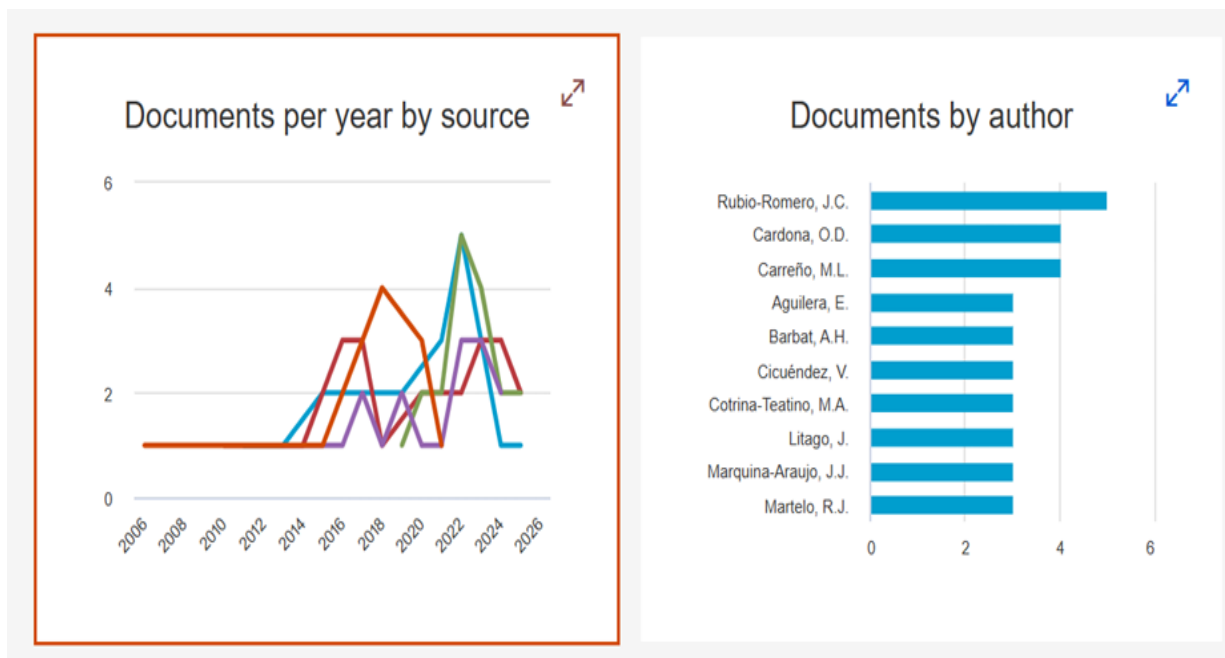
Nota: Scopus

### 6.2.5 Generación de resultados

Se realizó la generación en las bases de datos aplicando criterios de inclusión, procediendo a elaborar listas y gráficos que facilitaron el análisis de la información. Las bases se agruparon según los términos de búsqueda, que fueron: autor, país y año. Los resultados depurados en esta fase sirvieron como referencias puntuales y más pertinentes para la producción de textos científicos indexados.

#### Figura 5

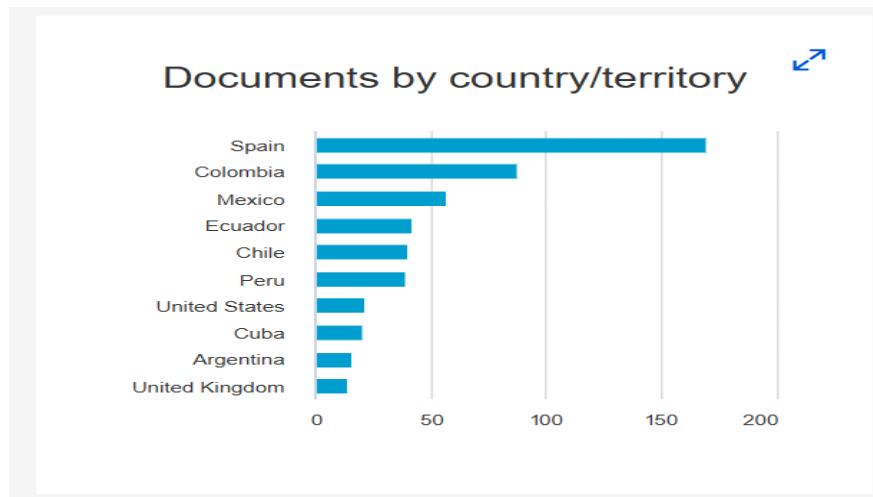
*Gráficos de Scopus, años y autores*



Tomado de: <https://www-scopus-com.ezproxy.analyzer>

**Figura 6**

*Gráficos de Scopus, país-territorio*



<https://www-scopus-com.ezproxy.analyzer>

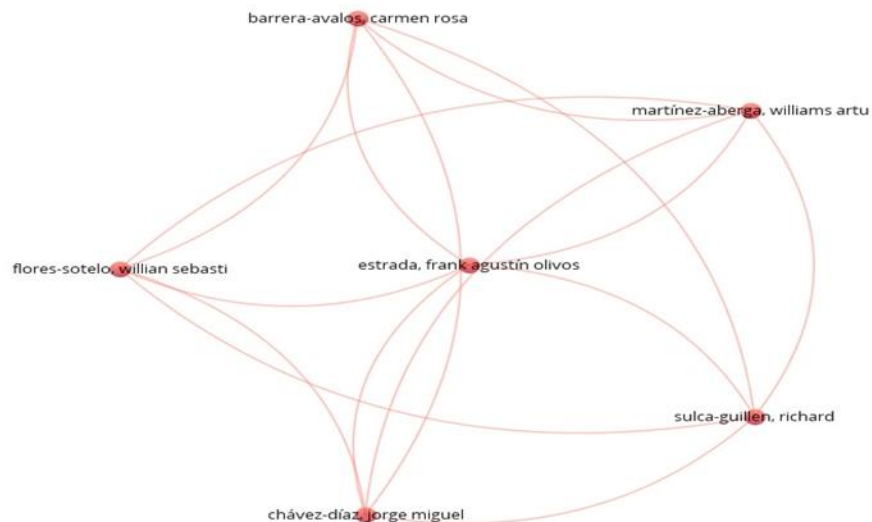
### **6.2.6 Análisis de resultados**

Durante el proceso de búsqueda en las bases de datos se organizó de forma sistemática la información más relevante y útil sobre la temática. Al analizar los resultados obtenidos, se desarrollaron los siguientes análisis.

El software empleado para esta tarea fue **VOSviewer 1.8**, el cual permitió gestionar los datos de manera integral y articulada, posibilitando asociar, segmentar y representar gráficamente las coincidencias para apoyar la toma de decisiones.

**Figura 7**

*Relación de publicaciones por coautoría institucional. Visualización de Red, Vos Viewer*



En la figura se observa la red de colaboración entre los principales autores vinculados con investigaciones sobre sistemas inteligentes y gestión de riesgos en operaciones de izaje. Destacan Estrada, Frank Agustín Olivos y Martínez-Aberga, Williams Artu como los nodos de mayor conectividad, evidenciando su liderazgo en la articulación técnica y científica del tema.

Los demás investigadores conforman rutas de cooperación complementarias, orientadas al análisis de datos, seguridad operacional y validación de sistemas de monitoreo. Esta estructura refleja una dinámica colaborativa sólida, que favorece la integración interdisciplinaria y el desarrollo de soluciones innovadoras para la gestión de riesgos en tiempo real en el sector hidrocarburos.

Por otro lado, dentro del campo de las relaciones de las citas se presenta la siguiente dinámica.

**Figura 8***Relación de países, Vos Viewer*

La figura muestra las relaciones de co-citación entre países, destacando a España como el nodo central con mayor articulación en la temática analizada. Este país concentra las conexiones más directas, lo que evidencia su liderazgo en la cooperación académica. En segundo plano, Estados Unidos, Alemania y Francia presentan vínculos relevantes que fortalecen la producción científica internacional. Por su parte, países latinoamericanos como Colombia, Ecuador, Perú y México aparecen en posiciones periféricas, lo que indica una participación, pero menos consolidada en redes globales. Esta situación sugiere la necesidad de potenciar estrategias de colaboración regional y superar barreras como el idioma, para incrementar la visibilidad y el impacto de la investigación en América Latina.

**6.2.7 Búsqueda de información cuadro de control 2**

Scopus fue el principal foco de la búsqueda de información. Las categorías se siguieron y organizaron con precisión tras la discriminación y delimitación de los temas y palabras clave.

Algunas de las fuentes de información fueron artículos, oficinas de patentes, bases de datos especializadas (marcas y diseños) y catálogos de productos comerciales.

Se utilizó Scopus para vincular las principales bases de datos científicas de revistas indexadas a nivel mundial con respecto a la información ofrecida por los artículos.

Esto se mejoró utilizando tanto palabras clave en inglés como operadores booleanos. Para refinar o ampliar los resultados, los operadores unen los términos de búsqueda. AND, OR y NOT fueron los operadores fundamentales.

En primer lugar, la ruta incluía la ecuación de búsqueda, los resultados preliminares y la delimitación del ODS. Véase la tabla 7.

**Tabla 5**

*Caracterización de la búsqueda #2*

ODS	RESULTADOS	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA
Salud y bienestar	10,469 document results	( ALL ( monitoreo AND inteligente ) OR ALL ( gestión AND del AND riesgo ) OR ALL ( izaje AND de AND cargas AND críticas ) )

**Figura 9**

*Resultados de búsqueda en Scopus con criterios definidos.*



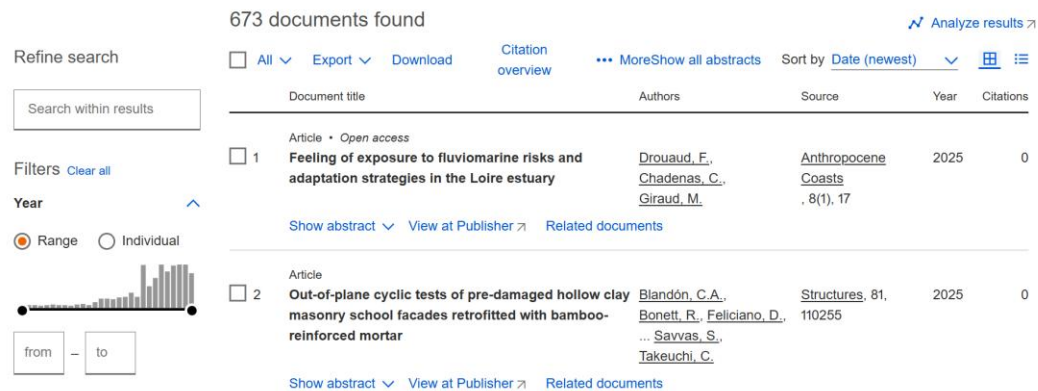
Nota: Scopus

### 6.2.8 Filtración de Información

Esta fase se completó utilizando la ecuación de búsqueda proporcionada, que arrojó 673 artículos originales que cumplían los criterios especificados y que habían sido publicados sobre el tema en cuestión. Entre las variables consideradas se encontraban la clasificación, el año, el tipo de documento, el área temática y las palabras clave.

**Figura 10**

*Resultados de búsqueda en Scopus con criterios definidos.*



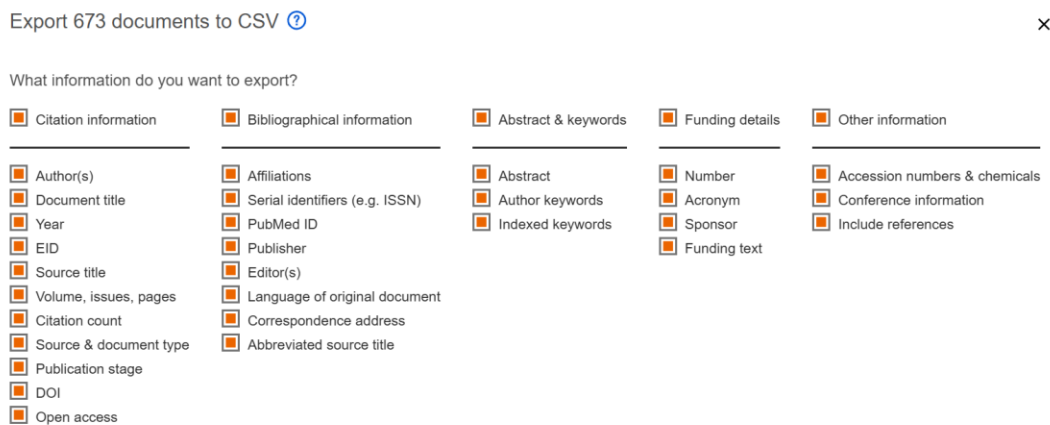
Nota: Scopus

### 6.2.9 Procesamiento de datos

Se dio paso a la EXPORTACIÓN GLOBAL de la búsqueda generada por Scopus para el tratamiento externo de datos y referenciación:

**Figura 11**

*Extensiones y referenciación Scopus.*



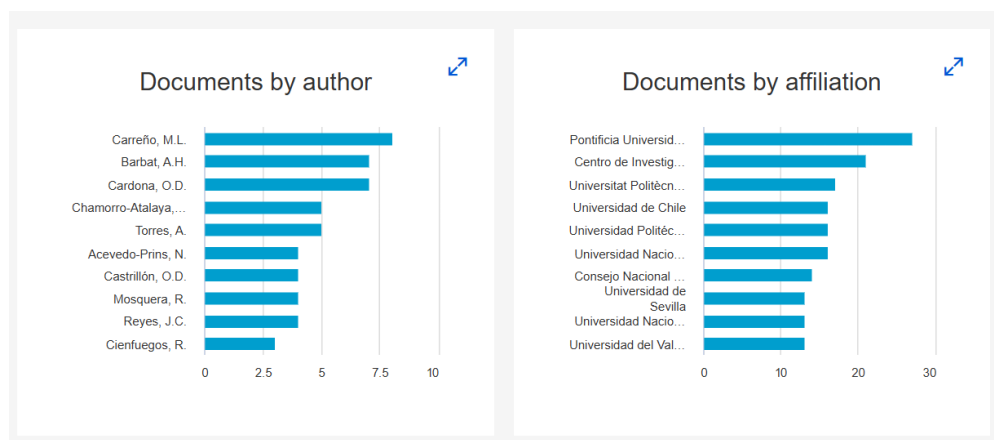
Nota: Scopus

### 6.2.10 Generación de resultados

Se elaboraron listas y gráficos para facilitar el análisis de los datos, y la generación se implementó en las bases de datos utilizando criterios de inclusión. Se utilizaron frases de búsqueda para agrupar las bases de datos. Los términos utilizados fueron autor, país e institución asociada. En la creación de documentos de indexación científica, se utilizaron como referencias específicas los resultados que se depuraron en este punto, es decir, los más pertinentes.

**Figura 12**

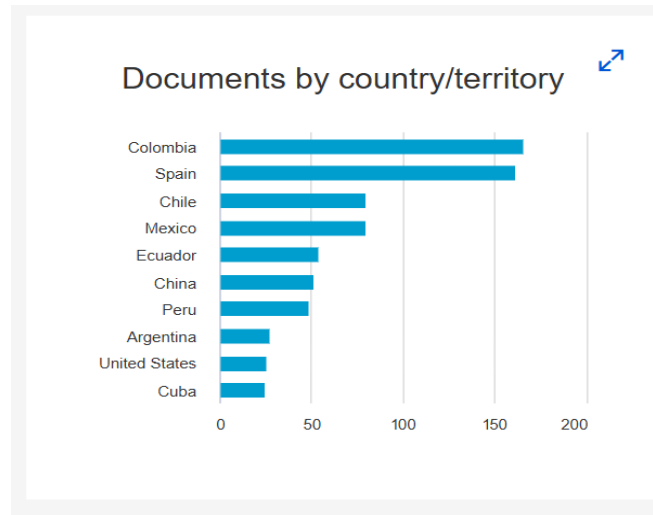
*Gráficos de Scopus, autores e instituciones.*



Tomado de: <https://www-scopus-com.ezproxy.analyzer>

**Figura 13**

*Gráficos de Scopus, país-territorio.*



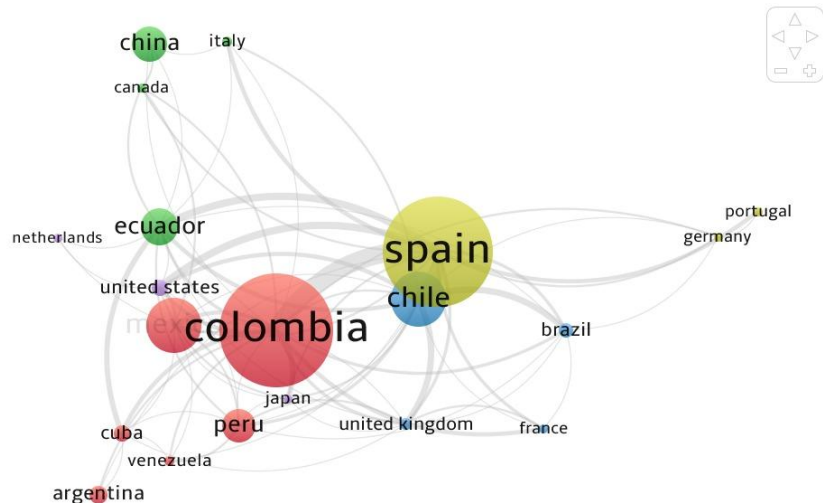
Nota: <https://www-scopus-com.ezproxy.analyzer>

### 6.3 Análisis de resultados

En el proceso de búsqueda dentro de las bases de datos, se realizó una organización sistemática de la información más relevante para la temática abordada. A partir del análisis de los resultados, se desarrollaron diferentes interpretaciones que permitieron comprender las tendencias y relaciones encontradas. Para ello, se empleó el software VOSviewer 1.8, herramienta que facilitó el tratamiento integral de los datos, permitiendo identificar asociaciones, segmentar información y representar gráficamente coincidencias, lo cual aportó insumos clave para la toma de decisiones.

**Figura 14**

*Relación de publicaciones por coautoría institucional. Visualización de Red, Vos Viewer.*



La figura evidencia los nodos de países con mayor impacto en la producción académica y sus redes de colaboración internacional. España y Colombia se destacan como los principales articuladores, mostrando una alta frecuencia de publicaciones y vínculos interinstitucionales sólidos. En segundo plano, países como Chile, Perú y México presentan conexiones relevantes que fortalecen la cooperación regional. Asimismo, se observan interacciones con actores globales como China, Italia y Estados Unidos, lo que indica una apertura hacia alianzas estratégicas más amplias. Sin embargo, la presencia periférica de países como Argentina, Cuba y Venezuela sugiere oportunidades para incrementar su participación en redes colaborativas, potenciando la generación de conocimiento compartido.

Por otro lado, dentro del campo de las relaciones de las citas se presenta la siguiente dinámica.



#### **6.4 Objetivo Específico 3. Definir los requerimientos funcionales y técnicos del sistema de monitoreo inteligente para el izaje de cargas críticas.**

Para cumplir con este objetivo, se desarrolló un modelo funcional que describe el comportamiento esperado de un sistema de monitoreo inteligente aplicado a maniobras de izaje en entornos industriales complejos. Este modelo se estructuró en dos subsistemas principales: comunicación de datos y procesamiento de información, los cuales fueron representados mediante diagramas de flujo incluidos en los anexos del proyecto.

El primer subsistema se enfoca en la transmisión de datos desde los sensores hacia el área de Seguridad y Salud en el Trabajo, utilizando tecnología inalámbrica basada en Bluetooth. Cuando se detecta una condición anómala, el sistema genera alertas automáticas que se envían como mensajes de texto o notificaciones móviles, permitiendo una respuesta rápida ante posibles riesgos operativos.

El segundo subsistema se encarga del análisis de los datos recolectados, comparándolos con límites de referencia previamente establecidos. Cuando los valores superan dichos rangos, se activa una alarma sonora y se emiten notificaciones simultáneas al personal responsable. Este mecanismo garantiza una supervisión continua y contextualizada, adaptada a las condiciones dinámicas del izaje de cargas.

En cuanto a los componentes técnicos, se seleccionó el microcontrolador ESP32 por su capacidad de procesamiento, conectividad inalámbrica integrada (Wi-Fi y Bluetooth), y compatibilidad con múltiples sensores. Este dispositivo permite energizar, leer y transmitir datos de forma eficiente, siendo ideal para aplicaciones IoT en ambientes industriales.

Los sensores seleccionados incluyen:

- Anemómetro IP65, para medir la velocidad del viento en exteriores con alta resistencia ambiental.

- Sensor de inclinación SEN-0139, que proporciona lecturas analógicas precisas del ángulo de inclinación, fundamentales para evaluar la estabilidad de las cargas.

- Sensor de gases MQ-135, capaz de detectar múltiples contaminantes, incluyendo monóxido de carbono, lo que permite monitorear la calidad del aire en zonas de operación.

Complementariamente, se diseñó una interfaz móvil que permite visualizar en tiempo real las variables monitoreadas, consultar documentación técnica de los vehículos y conductores, y verificar el estado del sistema. Esta aplicación está dirigida al personal de SST, con un diseño intuitivo que facilita la toma de decisiones ante situaciones de riesgo.

La validación de la herramienta se realizó mediante encuestas aplicadas a los operarios vinculados a las maniobras de izaje, con el propósito de evaluar su pertinencia y aplicabilidad en el contexto operativo. Los resultados obtenidos se presentan en el Apéndice B, donde se detallan las respuestas y el análisis correspondiente, constituyendo la evidencia empírica que respalda la definición de los requerimientos técnicos y funcionales del sistema de monitoreo inteligente.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de la ficha de control de condiciones de seguridad evidenciaron una alta coincidencia en la percepción de cumplimiento de los estándares técnicos establecidos. Los tres operarios encuestados respondieron afirmativamente a los 22 ítems evaluados, lo que indica que las condiciones de seguridad durante las maniobras de izaje fueron consideradas adecuadas en aspectos como visibilidad, señalización, uso de EPI, presencia de dispositivos de alarma, distancias de seguridad frente a líneas eléctricas, y existencia de instrucciones para situaciones de emergencia. Esta uniformidad en las respuestas respalda la pertinencia de los requerimientos técnicos y funcionales definidos en el sistema de monitoreo

inteligente, al confirmar que los elementos priorizados en el diseño responden efectivamente a las necesidades operativas identificadas en campo

Con base en lo anterior, y en cumplimiento del tercer objetivo específico del proyecto, se presenta a continuación el diseño técnico y funcional del sistema de monitoreo inteligente para el izaje de cargas críticas. Esta etapa se construyó a partir de los hallazgos obtenidos en las fases anteriores, incluyendo los resultados de campo, el análisis normativo y el informe de vigilancia tecnológica, permitiendo consolidar una propuesta viable, contextualizada y alineada con las exigencias del sector hidrocarburos.

El sistema de monitoreo inteligente estará estructurado en dos subsistemas principales. El primero tendrá la función de establecer la comunicación unidireccional entre los sensores y el área de seguridad y salud en el trabajo, mientras que el segundo estará destinado al procesamiento y análisis de los datos recolectados.

En el Anexo 1 se presenta el diagrama de flujo del subsistema de comunicación, en el cual se detalla el procedimiento mediante el cual la información es transmitida desde los sensores hasta el personal responsable de la seguridad. Dicho subsistema incorpora un módulo Bluetooth, cuya función principal es establecer la comunicación inalámbrica entre el controlador programable y los dispositivos receptores.

Cuando los sensores detectan una condición anómala o un valor fuera de los parámetros normales, estos envían la información correspondiente al controlador. A partir de este evento, el sistema, por medio del módulo Bluetooth, genera y envía automáticamente una notificación, la cual puede recibirse tanto como mensaje de texto como mediante una aplicación móvil. Este mecanismo garantiza que las alertas sean recibidas de manera inmediata y confiable por el

personal de Seguridad y Salud en el Trabajo, permitiendo una intervención rápida ante posibles situaciones de riesgo.

En el Anexo 2 se presenta el análisis de los datos recopilados por los sensores. En este diagrama de flujo se describen los límites de referencia establecidos para cada sensor, los cuales determinan el rango normal de operación. Cuando alguno de los valores registrados supera dichos límites, el sistema activa una alarma sonora a través de una sirena, alertando a todo el personal sobre la presencia de una posible anomalía. De forma simultánea, el sistema también realiza el envío automático de mensajes de texto y notificaciones a través de la aplicación móvil dirigida al personal encargado del área de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Es importante resaltar que, para poner en funcionamiento los sensores, el operador del camión grúa debe activar previamente un interruptor de inicio. Este componente se incorporó con el propósito de evitar la activación innecesaria del sistema cuando el equipo se encuentra fuera de operación, lo que podría generar falsas alarmas y el envío continuo de mensajes.

Finalmente, los datos son recopilados de manera continua y en intervalos cortos de tiempo, dado que los parámetros monitoreados pueden variar constantemente según las condiciones de operación y el entorno.

## **6.5 Selección técnica de sensores y módulos electrónicos para la obtención de datos del sistema de monitoreo**

### **6.5.1 *Microcontrolador***

El microcontrolador desempeña un papel fundamental en la mayoría de los proyectos de electrónica, ya que actúa como el centro de control y procesamiento del sistema. En él se implementa la programación que permite ejecutar las tareas específicas necesarias para alcanzar

los objetivos del proyecto. Gracias a su capacidad de recibir, procesar y enviar información, el microcontrolador coordina la interacción entre los diferentes componentes electrónicos.

En este caso particular, el microcontrolador tiene la función de energizar los sensores conectados al sistema, garantizando su correcto funcionamiento y adquisición de datos. Posteriormente, se encarga de recopilar y procesar la información proveniente de dichos sensores, para luego transmitirla de manera inalámbrica hacia una aplicación móvil mediante la tecnología Bluetooth.

**Tabla 6**

*Especificaciones técnicas Microcontrolador*

MICROCONTROLADOR	BLUETHOOT	PRECIO ASEQUIBLE
Arduino UNO	NO	SI
Arduino MEGA	NO	NO
ESP 32	SI	SI
Arduino R4	SI	NO

Además, el ESP32 ofrece una serie de ventajas frente a otros microcontroladores, destacándose principalmente por la gran cantidad de pines de entrada y salida que posee, alcanzando un total de 32 GPIOs (pines de propósito general), lo que permite conectar diversos sensores y actuadores simultáneamente.

Otra de sus características más relevantes es la conectividad inalámbrica integrada, ya que el ESP32 incluye módulos de Wi-Fi y Bluetooth. Esta capacidad le permite comunicarse con otros dispositivos o redes sin necesidad de componentes externos, facilitando el desarrollo de proyectos modernos y versátiles.

Gracias a estas prestaciones, el ESP32 es considerado un microcontrolador IoT (Internet of Things), ideal para aplicaciones que requieren transmisión de datos, monitoreo remoto o control desde dispositivos móviles.

**Figura 16**

*Arduino ESP32 del Microcontrolador*

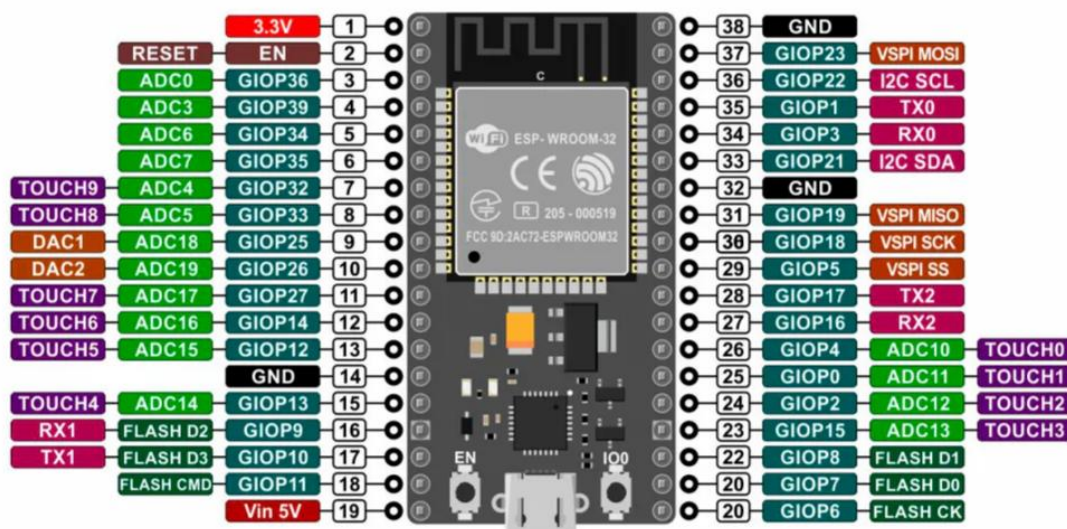


Imagen encontrada en: <https://www.taloselectronics.com/blogs/tutoriales/programar-esp32-con-ide-arduino>

### 6.5.2 Sensor de viento

En el mercado actual existe una limitada disponibilidad de sensores de viento, también conocidos como anemómetros, lo que hace necesario seleccionar cuidadosamente el modelo más adecuado para las condiciones del proyecto. En este caso, se optó por un anemómetro con grado de protección IP65, debido a que este tipo de sensor ofrece una alta resistencia al polvo y al agua, permitiendo su uso en entornos exteriores y condiciones climáticas adversas.

Además, el anemómetro IP65 se caracteriza por su precisión en la medición de la velocidad del viento, su durabilidad mecánica y su bajo mantenimiento, cualidades que lo convierten en una opción confiable para aplicaciones en sistemas de monitoreo ambiental, energías renovables o automatización industrial.

### **Figura 17**

*Sensor de viento*



Imagen encontrada en: <https://mixtronica.com/atmosfericos-sensores/42442-sen0170-sensor-anemometro-12v-ip65.html>

### **6.5.3 Sensor de inclinación**

Los sensores de inclinación son dispositivos diseñados para detectar y medir los cambios angulares de un objeto respecto a la gravedad. Su función principal consiste en determinar el grado exacto de inclinación o desviación de una superficie, permitiendo así conocer su orientación en

uno o varios ejes. Estos sensores son esenciales en proyectos de automatización, robótica, topografía, monitoreo estructural, y sistemas IoT, donde se requiere obtener información precisa sobre el ángulo de inclinación o nivelación.

Existen distintos tipos de sensores, entre los más comunes están los mecánicos, que solo indican la presencia o ausencia de inclinación, y los electrónicos, que entregan una salida analógica o digital proporcional al ángulo, permitiendo calcular con exactitud los grados de inclinación.

El SW-520D es un sensor de inclinación mecánico de tipo interruptor. Funciona mediante una pequeña esfera metálica que se desplaza dentro del dispositivo, cerrando o abriendo el circuito según la posición.

El SEN-0139 es un sensor de inclinación analógico, capaz de proporcionar una señal de voltaje proporcional al ángulo de inclinación. Gracias a su principio basado en acelerometría, permite obtener lecturas continuas y precisas que pueden convertirse a grados de inclinación mediante una fórmula o calibración.

El SEN-0142 es un sensor de inclinación digital de doble eje (X y Y). Permite detectar inclinaciones en dos direcciones y entregar una salida estable y confiable. Si bien es digital, puede configurarse para obtener valores discretos de inclinación en ambos ejes.

Para este proyecto, donde se requiere una medición precisa de la inclinación en grados, el sensor más adecuado es el SEN-0139, ya que ofrece una salida analógica proporcional al ángulo. Esto permite al microcontrolador, como el ESP32, convertir la señal en una lectura de grados exactos mediante su convertidor analógico-digital (ADC). Además, su precisión y respuesta continua lo hacen ideal para aplicaciones donde se necesite monitorear variaciones suaves o determinar posiciones angulares exactas.

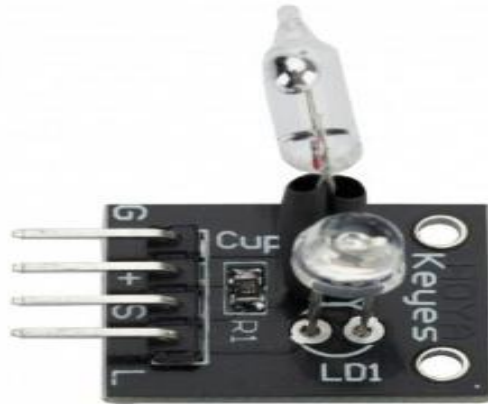
**Figura 18***Sensor de inclinación*

Imagen encontrada en: <https://www.bigtronica.com/sensores/distancia-movimiento/139-sensor-inclinacion-5053212001391.html?srsId=AfmBOorUrngrmUbaYpJISlyBiOTSgjabFsKJocIXLaRtlExei1M-M-Hka>

**6.5.4 Sensor de gases**

Los sensores de gases son dispositivos electrónicos diseñados para detectar y medir la concentración de gases específicos en el ambiente, transformando estas variaciones en una señal eléctrica que puede ser procesada por un microcontrolador o sistema de control. Su función principal es monitorear la calidad del aire y prevenir la exposición a gases nocivos o contaminantes, siendo ampliamente utilizados en sistemas de seguridad industrial, proyectos ambientales, domótica y aplicaciones IoT.

La familia de sensores MQ es una de las más populares por su bajo costo, buena sensibilidad y facilidad de integración con plataformas como Arduino o ESP32.

El MQ-7 está especialmente diseñado para la detección de monóxido de carbono (CO). Su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia interna según la concentración de CO en el aire.

El MQ-9 es un sensor polivalente capaz de detectar CO, gas licuado de petróleo (GLP) y metano (CH<sub>4</sub>).

El MQ-135 está diseñado para medir la calidad general del aire, ya que es capaz de detectar múltiples gases contaminantes como amoníaco (NH<sub>3</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), benceno, compuestos orgánicos volátiles (COV) y monóxido de carbono (CO). Este sensor ofrece una respuesta estable y confiable en entornos donde se requiere una visión global de la pureza del aire.

Para este proyecto se selecciona el sensor MQ-135, debido a su versatilidad, buena sensibilidad y capacidad para detectar diversos gases contaminantes, entre ellos el monóxido de carbono (CO). Aunque su precisión específica para CO es ligeramente menor que la del MQ-7, el MQ-135 ofrece la ventaja de evaluar de forma integral la calidad del aire, permitiendo obtener datos más amplios y útiles en aplicaciones ambientales o de control de contaminación.

Además, el MQ-135 se integra fácilmente con el ESP32, gracias a su salida analógica que puede ser interpretada mediante el conversor ADC del microcontrolador. Esto permite convertir la señal en valores cuantificables, los cuales pueden ser enviados a una aplicación móvil o plataforma IoT para monitorear la concentración de gases en tiempo real.

Por sus características, el MQ-135 se considera una opción ideal para proyectos enfocados en la evaluación ambiental y detección de monóxido de carbono, combinando funcionalidad, estabilidad y compatibilidad con sistemas inteligentes.

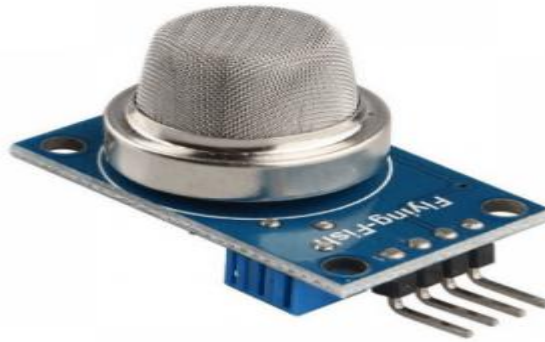
**Figura 19***Sensor de gases*

Imagen encontrada en: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/mq-135/>

### ***6.5.5 Creación de la interfaz de usuario para la aplicación móvil del sistema de monitoreo inteligente***

El desarrollo de la interfaz de una aplicación móvil para el monitoreo de sensores tiene como propósito principal facilitar la supervisión en tiempo real de las variables registradas por el sistema de monitoreo inteligente. Esta interfaz está dirigida al personal encargado de Seguridad y Salud en el Trabajo, por lo que se busca que su diseño sea intuitivo, funcional y de fácil comprensión, permitiendo una interacción ágil con la información recibida.

El objetivo es ofrecer una herramienta digital que presente los datos de manera clara y organizada, posibilitando la detección oportuna de anomalías y la toma rápida de decisiones ante posibles situaciones de riesgo. Asimismo, la aplicación debe garantizar una comunicación eficiente entre los sensores y el usuario, asegurando que las notificaciones o alertas sean recibidas de forma inmediata y confiable.

**Figura 20**

*Interfaz de usuario para la aplicación móvil, verificación de documentos*



La figura anterior muestra la pantalla principal de la aplicación, desde la cual el usuario puede acceder a la información del camión simplemente presionando sobre la placa del vehículo que desea visualizar. Además, la interfaz ofrece accesos directos a la documentación esencial, como la tarjeta de propiedad, el SOAT, la revisión técnico-mecánica y las pólizas todo riesgo de los vehículos. También permite consultar de manera rápida la documentación correspondiente a

los conductores activos, facilitando así la gestión y verificación de la información necesaria para las labores de control y seguridad.

### Figura 21

*Interfaz de usuario para la aplicación móvil, selección de placa de vehículo a operar*



La figura anterior muestra cómo se visualiza la pantalla al seleccionar una de las placas dentro de la aplicación móvil. Esta interfaz se caracteriza por ser intuitiva y fácil de usar, de modo que incluso un usuario con poca experiencia puede comprender rápidamente su funcionamiento y

navegar sin dificultad. Por ello, se considera una aplicación altamente comprensible y accesible para el personal encargado.

En la parte superior derecha se encuentra un indicador de estado, encargado de mostrar si el sistema de monitoreo del vehículo se encuentra activo. El color verde indica que el sistema está activado, mientras que el color gris señala que está desactivado. Asimismo, desde esta misma sección es posible acceder a la documentación necesaria del vehículo, la cual también se encuentra disponible desde la pantalla principal de la aplicación.

## **7 Conclusiones**

Una de las tareas más difíciles y peligrosas en entornos industriales, especialmente en la industria de los hidrocarburos, sigue siendo el izaje de cargas críticas. Este estudio ha permitido comprender en profundidad los factores operativos, humanos y técnicos que influyen en la seguridad de estas maniobras, haciendo énfasis en la necesidad de mejorar la formación técnica y los sistemas de monitoreo.

Se identificaron factores importantes que influyen en la gestión de riesgos mediante la evaluación de documentos, la investigación normativa y el uso de instrumentos de campo basados en la norma NTP 701. Aunque varios elementos de seguridad cumplían con la normativa, aún existen deficiencias que requieren soluciones más contextualizadas, automatizadas y dinámicas.

El informe de vigilancia tecnológica aportó insumos clave para el diseño del sistema propuesto, al identificar tecnologías emergentes, autores relevantes y referentes normativos que respaldan la integración de monitoreo inteligente en operaciones de izaje. Este análisis permitió

contextualizar la propuesta dentro de las tendencias actuales en seguridad industrial y transformación digital.

El sistema de monitoreo inteligente diseñado integra sensores industriales, protocolos de comunicación, interfaces móviles y módulos de análisis predictivo, accediendo a un monitoreo continua y contextualizado de variables como el peso de la carga, la velocidad del viento, la proximidad entre equipos y la ubicación del personal. Este recurso busca superar las limitaciones de los métodos tradicionales, brindando una herramienta más preventiva, adaptable y alineada con los estándares internacionales.

La propuesta incluye un modelo funcional dividido en dos subsistemas: comunicación de datos y procesamiento de información. Este diseño fue validado mediante encuestas y análisis técnico, confirmando su aplicabilidad en el sector hidrocarburos y su potencial para transformar la cultura organizacional hacia prácticas más seguras, eficientes y tecnológicamente avanzadas.

Aunque el sistema aún no ha sido implementado, se establecieron bases sólidas para su desarrollo futuro, incluyendo la selección técnica de sensores, el diseño de la interfaz móvil y la definición de protocolos de alerta. En conjunto, el proyecto representa un aporte significativo a la modernización de los procesos de izaje, promoviendo una cultura preventiva y una gestión de riesgos más eficaz en entornos industriales complejos.

## **8 Recomendaciones**

Durante el desarrollo de este estudio se identificaron algunas limitaciones que, si bien no afectaron la validez del análisis realizado, abren oportunidades valiosas para futuras investigaciones.

Dado que solo se encuestó a tres empleados que participaban directamente en operaciones de izaje, el tamaño de la muestra fue inicialmente reducido. Se recomienda aumentar el tamaño de la muestra en investigaciones posteriores para obtener una representación más variada y fiable de las circunstancias de seguridad en otros sectores industriales y zonas del país, aunque esto proporcionó una visión particular de sus experiencias.

Del mismo modo, el estudio aún no utilizó el componente de monitoreo inteligente y, en su lugar, se concentró en una herramienta de diagnóstico (la encuesta). Como resultado, se recomienda proceder con pruebas piloto para evaluar el funcionamiento real del sistema sugerido, en particular en lo que respecta a la recopilación de datos, la generación de alarmas y la visualización en tiempo real de variables vitales.

Las etapas futuras también deberían tener en cuenta otros factores, como la frecuencia con la que se realiza el mantenimiento de los equipos de izaje, el estado técnico del aparejo y cómo la cultura corporativa afecta al cumplimiento de las normas de seguridad. Estas características pueden mejorar el estudio y ofrecer una comprensión más profunda de los factores que influyen en la gestión de riesgos.

Por último, se sugiere establecer alianzas con empresas del sector hidrocarburos y entidades especializadas en seguridad industrial para validar el sistema en condiciones reales de operación, lo cual permitirá ajustar su diseño y funcionalidad de acuerdo con las necesidades específicas del entorno.

### Referencias bibliográficas

Ayre Balbín, V. (2024). Mejoramiento de los protocolos de peligros mortales y estándares de seguridad para reducir accidentes en mina Ticlio.

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/11820>

Arias Bulla, A. B., Matute Salazar, A. M., & Cárdenas Sánchez, M. M. (2022). Propuesta diseño, manual de procedimientos seguro para izaje de cargas en Multigrúas del Cesar.

<https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/2649>

Arias Oña, J. E. (2018). Identificación de riesgos y propuesta de medidas de control en operaciones de izaje durante el montaje de estructuras metálicas de edificaciones.

<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3076/1/Arias%20O%c3%b1a%2c%20Jose%20Eduardo>

Ayma Sayre, A. A., & Benavides Valdez, D. K. (2021). Diseño Del Esquema De Certificación En La Categoría De Operador De Montacargas Mediante La NTP ISO/IEC 17024 En La Empresa Certificaciones Y Calibraciones Sac.

Bernal Rangel, J. D., & Torrado Gómez, B. S. (2022). Diseño del sistema de izaje de transformadores de baja tensión.

[https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/17709/2022\\_Tesis\\_Jhojan\\_David\\_Bernal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/17709/2022_Tesis_Jhojan_David_Bernal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Campo, N., & Castro, S. (2023). Impacto de herramientas de mejora en industria colombiana relacionada con el levantamiento mecánico de cargas. *Revista Semilleros de Investigación*, 6(1), 14-23.

Congreso de Colombia. (2012, 11 de julio). Ley 1562 de 2012: Por la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional.

Recuperado de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=48365>

Collaguazo Hurtado, J. A. (2024). *Elaboración de manual de procedimientos para la gestión de riesgos laborales en actividades de alto riesgo en una empresa constructora* (Bachelor's thesis, Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica).

<https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/7336>

de Jesús García-Gómez, G. (2024). La evaluación como herramienta para mejorar los aprendizajes: la retroalimentación y la evaluación auténtica. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 4(9), 17-32. <https://idicap.com/ojs/index.php/ogmios/article/view/275/302>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (1994). *NTP 701: Grúas torre. Recomendaciones de seguridad en su manipulación.*

Martínez Castillo, G. A. (2025, 26 de enero). *Actualización del sistema de gestión de mantenimiento enfocado en la recuperación de equipos de izaje (malacates) en las áreas de la empresa Gecelca 3 S.A.S E.S.P [Trabajo de grado de pregrado, Universidad de Córdoba]*. Repositorio Institucional Universidad de Córdoba. Recuperado de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/8943>.

Ministerio del Trabajo. (2019, 13 de febrero). *Resolución 0312 de 2019: Por la cual se definen los estándares mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST)*. Diario Oficial. Recuperado de

<https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59995826/Resolucion+0312-2019-+Estandares+minimos+del+Sistema+de+la+Seguridad+y+Salud.pdf>

Movicarga. (2021, 27 de abril). Superintendente de Grúas e Izaje. Competencias Técnicas. <https://movicarga.com/pablo-herrera-especialista-en-izaje-y-colaborador-de-movicarga/>

- Odón, F. A. (2023). Investigación documental, investigación bibliométrica y revisiones sistemáticas. *REDHECS: Revista electrónica de Humanidades, Educación y Comunicación Social*, 31(22), 9-28.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2018). *ISO 45001:2018. Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo – Requisitos con orientación para su uso* [PDF]. Instituto Tecnológico de Zamora.  
[https://www.teczamora.mx/sgi/documentos/sgi/normas/Norma\\_ISO\\_45001\\_2018.pdf](https://www.teczamora.mx/sgi/documentos/sgi/normas/Norma_ISO_45001_2018.pdf)
- Rivera Vásquez, J. D. (2023). *Propuesta de diseño para la implementación de un sistema de izaje para manipulación de carga hecho a medida* [Informe de práctica, Universidad de Antioquia]. Universidad de Antioquia.  
[https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/34032/1/RiveraJuan\\_2023\\_DisenoSistemaIzaje.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/34032/1/RiveraJuan_2023_DisenoSistemaIzaje.pdf)
- Sanchez Soto, P. A., & Tiburcio Chambilla, B. R. (2024) Modelo de un Sistema de Gestión de Riesgos para la prevención de accidentes en las operaciones de una mina a tajo abierto mediante la metodología Bow Tie.  
[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/674592/Sanchez\\_SP.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/674592/Sanchez_SP.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Tapia Triveño, R. P. (2020). Diseño de software para el control de riesgos críticos en minas convencionales, Arequipa (2019).  
<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3775>
- Tapia Erazo, M. N. (2023). *Diseño del procedimiento para el izaje de estructuras metálicas industriales con grúa telescópica en la empresa Grúas Tapia* (Bachelor's thesis, Quito:

Universidad Tecnológica Indoamérica).

<https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/6432>

Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. *Boletín electrónico*, 2(1), 1-13.

Universidad Veracruzana. (s.f.). *Tipos de investigación*. En *Introducción a la investigación:*

*Guía interactiva*. Recuperado el 4 de abril de 2025, de

<https://www.uv.mx/apps/bdh/investigacion/unidad1/investigacion-tipos.html>

ARL SURA. (2022). *Procedimiento de trabajo seguro para izaje de cargas*. ARL SURA.

Recuperado de [https://www.arlsura.com/images/construccionsegura/files\\_trabaje\\_en/izaje/trabajo\\_seguro\\_izaje\\_carga.pdf](https://www.arlsura.com/images/construccionsegura/files_trabaje_en/izaje/trabajo_seguro_izaje_carga.pdf)

Pérez Gamboa, A. J., Sánchez Castillo, V., & Gómez Cano, C. A. (2024). *El proceso de investigación cualitativa: herramientas teórico-metodológicas para su desarrollo*.

Editorial CUN. Recuperado de <https://libros.cun.edu.co/index.php/editorial-cun/catalog/book/18>

Consejo Colombiano de Seguridad [CCS]. (2023). *Guía técnica para la prevención de riesgos en izaje de cargas críticas*. Bogotá: CCS. Recuperado de <https://ccs.org.co>

Agencia Nacional de Hidrocarburos [ANH]. (2021). *Lineamientos de seguridad industrial en operaciones de izaje de cargas*. Bogotá: ANH. Recuperado de <https://www.anh.gov.co>

Ministerio del Trabajo. (2021, 27 de diciembre). *Resolución 4272 de 2021: Por la cual se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajo en alturas*.

Diario Oficial. Recuperado de <https://safetya.co/normatividad/resolucion-4272-de-2021>

Ministerio del Trabajo. (2012, 23 de julio). *Resolución 1409 de 2012: Por la cual se establecen los requisitos de protección para el trabajo en alturas*. Diario Oficial. Recuperado de

<https://www.insst.es/documents/94886/162292/Resolucion-1409-2012>

## Apéndice

### *Apéndice A. Ficha de control de condiciones de seguridad*

<b>Ficha de control de condiciones de seguridad</b>		
Ficha de control de condiciones de seguridad #	Trabajador: _____	
Nº de Carné: _____	Fecha: _____	
Lugar de trabajo: _____	Marca: _____ Modelo: _____	
	Nº: _____	
CUESTIONARIO	Sí	No
1. El acceso al puesto de conducción se realiza de manera segura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. La visibilidad desde el puesto de conducción permite maniobrar de manera segura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Existe «encargado de las señales» y código de comunicación cuando necesario	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. La cabina es confortable y dispone de limpiaparabrisas (si la tiene)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Las zonas de trabajo están señalizadas para el tránsito de cargas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Existen dispositivos de alarma sonora alertando la presencia de cargas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Existen plataformas de descarga para impedir el tiro en oblicuo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Las cargas máximas y en punta están claramente señalizadas en la grúa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. El personal de obra sabe que no deben situarse bajo las cargas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. El personal de obra sabe que no deben tirar de las cargas en oblicuo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Existe limitador de giro que impide más de 3 rotaciones continuas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. El personal de obra sabe que está prohibido subirse a las cargas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

13. El anemómetro suena intermitente a 50 km/h y continuo a 70 km/h	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Cables, cadenas y accesorios tienen etiquetas CE marcadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Hay personal formado para el enganche de cargas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. La grúa dispone de todos los dispositivos de seguridad exigibles	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Existen cargas de comprobación de la carga máxima y en punta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Si hay grúas próximas, está garantizado que no se solapen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Si hay líneas eléctricas, se impide contacto eléctrico directo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Si hay líneas de alta tensión, se mantiene al menos 5 m de distancia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. Se disponen de EPI adecuados para manejo y mantenimiento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Existen instrucciones para situaciones de emergencia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*Apéndice B. Encuesta aplicada*

Ficha de control de condiciones de seguridad		
Ficha de control de condiciones de seguridad # <u>1</u>	Trabajador: <u>VICTOR ORTGA</u>	
Nº de Carné: <u>7733384</u>	Fecha: <u>15/07/2025</u>	
Lugar de trabajo: <u>Supervisor de maniobra</u>	Marca: <u>FASTI</u>	Modelo: <u>F330A Nº: 3120</u>
CUESTIONARIO	Sí	No
1. El acceso al puesto de conducción se realiza de manera segura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. La visibilidad desde el puesto de conducción permite maniobrar de manera segura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Existe «encargado de las señales» y código de comunicación cuando necesario	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. La cabina es confortable y dispone de limpiaparabrisas (si la tiene)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Las zonas de trabajo están señalizadas para el tránsito de cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Existen dispositivos de alarma sonora alertando la presencia de cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Existen plataformas de descarga para impedir el tiro en oblicuo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Las cargas máxima y en punta están claramente señalizadas en la grúa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. El personal de obra sabe que no deben situarse bajo las cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. El personal de obra sabe que no deben tirar de las cargas en oblicuo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Existe limitador de giro que impide más de 3 rotaciones continuas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. El personal de obra sabe que está prohibido subirse a las cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. El anemómetro suena intermitente a 50 km/h y continuo a 70 km/h	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Cables, cadenas y accesorios tienen etiquetas CE marcadas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Hay personal formado para el enganche de cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. La grúa dispone de todos los dispositivos de seguridad exigibles	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Existen cargas de comprobación de la carga máxima y en punta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Si hay grúas próximas, está garantizado que no se solapen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Si hay líneas eléctricas, se impide contacto eléctrico directo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Si hay líneas de alta tensión, se mantiene al menos 5 m de distancia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

21. Se disponen de EPI adecuados para manejo y mantenimiento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Existen instrucciones para situaciones de emergencia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ficha de control de condiciones de seguridad		
Ficha de control de condiciones de seguridad # <u>2</u>	Trabajador: <u>LUIS SANCHEZ</u>	
Nº de Carné: <u>91530876</u>	Fecha: <u>15/07/2025</u>	
Lugar de trabajo: <u>Operador de Grúa</u>	Marca: <u>FASSI</u>	Modelo: <u>F330A N°: 3120</u>
CUESTIONARIO	Sí	No
1. El acceso al puesto de conducción se realiza de manera segura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. La visibilidad desde el puesto de conducción permite maniobrar de manera segura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Existe «encargado de las señales» y código de comunicación cuando necesario	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. La cabina es confortable y dispone de limpiaparabrisas (si la tiene)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Las zonas de trabajo están señalizadas para el tránsito de cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Existen dispositivos de alarma sonora alertando la presencia de cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Existen plataformas de descarga para impedir el tiro en oblicuo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Las cargas máxima y en punta están claramente señalizadas en la grúa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. El personal de obra sabe que no deben situarse bajo las cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. El personal de obra sabe que no deben tirar de las cargas en oblicuo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Existe limitador de giro que impide más de 3 rotaciones continuas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. El personal de obra sabe que está prohibido subirse a las cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. El anemómetro suena intermitente a 50 km/h y continuo a 70 km/h	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Cables, cadenas y accesorios tienen etiquetas CE marcadas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Hay personal formado para el enganche de cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. La grúa dispone de todos los dispositivos de seguridad exigibles	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Existen cargas de comprobación de la carga máxima y en punta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Si hay grúas próximas, está garantizado que no se solapen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Si hay líneas eléctricas, se impide contacto eléctrico directo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Si hay líneas de alta tensión, se mantiene al menos 5 m de distancia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

21. Se disponen de EPI adecuados para manejo y mantenimiento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Existen instrucciones para situaciones de emergencia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ficha de control de condiciones de seguridad		
Ficha de control de condiciones de seguridad # 3	Trabajador: <u>LUIS MIRANDA</u>	
N° de Carné: <u>1.109.210.018</u>	Fecha: <u>15/07/2023</u>	
Lugar de trabajo: <u>Ayacucho</u>	Marca: <u>FASSI</u>	Modelo: <u>F330A N°: 3120</u>
CUESTIONARIO	Si	No
1. El acceso al puesto de conducción se realiza de manera segura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. La visibilidad desde el puesto de conducción permite maniobrar de manera segura	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Existe «encargado de las señales» y código de comunicación cuando necesario	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. La cabina es confortable y dispone de limpiaparabrisas (si la tiene)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Las zonas de trabajo están señalizadas para el tránsito de cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Existen dispositivos de alarma sonora alertando la presencia de cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Existen plataformas de descarga para impedir el tiro en oblicuo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Las cargas máxima y en punta están claramente señalizadas en la grúa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. El personal de obra sabe que no deben situarse bajo las cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. El personal de obra sabe que no deben tirar de las cargas en oblicuo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Existe limitador de giro que impide más de 3 rotaciones continuas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. El personal de obra sabe que está prohibido subirse a las cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. El anemómetro suena intermitente a 50 km/h y continuo a 70 km/h	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Cables, cadenas y accesorios tienen etiquetas CE marcadas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Hay personal formado para el enganche de cargas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. La grúa dispone de todos los dispositivos de seguridad exigibles	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Existen cargas de comprobación de la carga máxima y en punta	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Si hay grúas próximas, está garantizado que no se solapen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Si hay líneas eléctricas, se impide contacto eléctrico directo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Si hay líneas de alta tensión, se mantiene al menos 5 m de distancia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

21. Se disponen de EPI adecuados para manejo y mantenimiento	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Existen instrucciones para situaciones de emergencia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>