



## **Análisis y optimización de herramientas de seguridad en izaje de cargas para prevención de riesgos y mejora de eficiencia laboral, para empresas contratistas en minería.**

*Analysis and optimization of safety tools in load lifting for risk prevention and improvement of work efficiency, for contractor companies in mining.*

Joffre Christian Leiva Ocejos<sup>1</sup> 

[jcleiva@itsoriente.edu.ec](mailto:jcleiva@itsoriente.edu.ec)

**Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)**

Riobamba, Ecuador

Benjamín Gabriel Quito Cortez<sup>2</sup> 

[benjaminquito@bqc.com.ec](mailto:benjaminquito@bqc.com.ec)

**Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)**

Riobamba, Ecuador

Daniela Fernanda Vásconez Duchicela<sup>3</sup> 

[danielavasconez@bqc.com.ec](mailto:danielavasconez@bqc.com.ec)

**Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)**

Riobamba, Ecuador

**Recepción: 05-01-2026**

**Aceptación: 09-02-2026**

**Publicación: 30-03-2026**

**Como citar este artículo:** Leiva, J. Quito, B. Vásconez, D. (2026). **Análisis y optimización de herramientas de seguridad en izaje de cargas para prevención de riesgos y mejora de eficiencia laboral, para empresas contratistas en minería.** *Metrópolis. Revista de Estudios Globales Universitarios*, 7 (1), pp. 1815-1864.

<sup>1</sup> Tecnólogo en seguridad y salud ocupacional. Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO).

<sup>2</sup> Abogado, Magister en Educación (Universidad Bicentenario de Aragua) Venezuela, Magister en Ciencias Gerenciales (Universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Doctor en Ciencias de la Educación PHD (UBA) Venezuela, Doctor en Ciencias Gerenciales PHD (universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Postdoctorado en Ciencias de la Educación (UBA) Venezuela.

<sup>3</sup> Ingeniera Mecánica mención Automotriz (Universidad Tecnológica América), Magister en Talento Humano (Universidad Internacional SEK), Magister en Administración de Empresas (Universidad Internacional del Ecuador), Doctor en Ciencias de la Educación PHD por la Universidad Bicentenario de Aragua, Venezuela.





### Resumen

La presente investigación tuvo como finalidad, analizar los riesgos y protocolos de seguridad para trabajos en izaje de cargas, especialmente en cadenas de subcontratación. Este artículo examina y propone la optimización de un paquete integrado y articulado con planificación formal del izaje y gestión por Controles Críticos. Se utilizó una metodología descriptiva con un enfoque deductivo, no experimental: revisión de normas y evidencia 2015-2025; diagnóstico en contratistas mediante análisis de incidentes, observaciones estructuradas y verificación de competencias; y priorización multicriterio de controles con evaluación de acoplamiento riesgo-tarea, seguida de un piloto con verificación independiente. Los resultados que se obtuvieron, fueron producto, del análisis de documentos proporcionados por la empresa y los resultados integran criterios técnicos (ASME, EN, ISO, OSHA) y métricas líderes para demostrar funcionamiento de barreras en campo, así como su nexo con la eficiencia (tiempos de ciclo, reintentos y retrabajo). En conjunto, se propone un marco operativo que reduce la exposición a eventos de alto potencial y estabiliza el desempeño, ofreciendo tablas de decisión y un tablero de indicadores para el gobierno mandante-contratistas. Se concluye que la efectividad depende de la calidad de la planificación (P30.1), la competencia verificable (ISO 23814), el uso disciplinado de herramientas (tag lines, ganchos con seguro, celdas de carga) y la calibración de tecnologías en pilotos controlados, aprendizaje de cuasi-pérdidas e integración de datos para mejora continua. Este aporte ofrece una hoja de ruta para contratistas mineros que buscan prevenir riesgos y mejorar su eficiencia, alineando estándares, competencias y tecnología con verificación en el punto de trabajo. **Palabras clave:** izaje de cargas, minería, controles críticos, seguridad y salud ocupacional, eficiencia operacional.

### Abstract

This research aimed to analyze the risks and safety protocols for lifting operations, especially in subcontracting chains. This article examines and proposes the optimization of an integrated and articulated package with formal lifting planning and Critical Controls management. A descriptive methodology with a deductive, non-experimental approach was used: review of standards and evidence 2015-2025; diagnostics in contractors through incident analysis, structured observations, and verification of competencies; and multicriteria prioritization of controls with assessment of risk-task couplings, followed by a pilot with independent verification. The results obtained were the product of the analysis of documents provided by the company and the results integrate technical criteria (ASME, EN, ISO, OSHA) and leading metrics to demonstrate barrier functioning in the field, as well as its link to efficiency (cycle times, retries, and rework). Collectively, an operating framework is proposed that reduces exposure to high-potential events and stabilizes performance, offering decision tables and a metrics dashboard for the mandating-governing contractors. It is concluded that effectiveness depends on the quality of planning (P30.1), verifiable competence (ISO 23814), disciplined use of tools (tag lines, safety hooks, load cells), and the calibration of technologies in controlled pilots, learning from quasi-losses, and data integration for continuous improvement. This contribution provides a roadmap for mining contractors seeking to prevent risks and improve their efficiency, aligning standards, competencies, and technology with





verification at the point of work. **Keywords:** lifting loads, mining, critical controls, occupational health and safety, operational efficiency.

## Introducción.

En el sector minero, el izaje de cargas constituye una operación crítica donde convergen riesgos de atrapamiento, golpes por objetos y colisiones entre equipos, especialmente en frentes con alta tercerización y tiempos de ciclo ajustados. La evidencia reciente muestra que la siniestralidad continúa siendo un desafío: en 2024, las empresas miembros del International

Consejo Internacional de Minería y Metales, ICMM, registraron 42 fatalidades, segundo año consecutivo de incremento, lo que refuerza la urgencia de robustecer los controles en tareas de izaje y movimiento de materiales (ICMM, 2025). A su vez, la literatura técnica reporta que las lesiones por “struck-by” asociadas a maquinaria siguen siendo prevalentes en minería, subrayando la necesidad de combinar controles de ingeniería, procedimientos y formación específica en maniobras de elevación (NIOSH, 2024).

Desde esta perspectiva, optimizar las herramientas de seguridad en izaje - accesorios de izaje, eslingas, grilletes, ganchos con seguros, dinamómetros/celdas de carga, retenidas o tag lines, limitadores y sistemas anti-colisión, exige articular normas técnicas y sistemas de gestión. ISO 45001 establece el marco del sistema de gestión de seguridad y salud, con exigencias explícitas para controlar a contratistas y procesos subcontratados, incluyendo la coordinación en la identificación de peligros y el control de riesgos (ISO, 2018; ISO, 2024). En paralelo, estándares de diseño, operación e inspección como ASME B30.5 para grúas móviles, EN





13155 para accesorios no fijos y la ISO 23814 sobre competencias de inspectores de grúas delimitan requisitos que impactan directamente en la integridad del equipo y en la prevención de fallas durante el izaje (ASME, 2021; CEN, 2020; ISO, 2024).

A su vez, resulta pertinente considerar la madurez de tecnologías de apoyo: los sistemas de detección de proximidad y alerta de colisiones, así como el monitoreo en tiempo real de envoltentes de operación, muestran evidencia de mejora en la conciencia situacional y en la reducción de eventos de alto potencial cuando se integran a procedimientos y competencias adecuadas (Hrica et al., 2022; MSHA, 2024). Estas herramientas, combinadas con prácticas de izaje como el uso correcto de tag lines y la verificación sistemática de la capacidad de los accesorios, pueden traducirse en menos desvíos operativos, menor retrabajo y tiempos de ciclo más estables, siempre que se inserten en un esquema de controles críticos con aseguramiento y verificación continua (OSHA, 2022; ICMM, 2025).

En este marco, la presente investigación se orienta por la pregunta: ¿en qué medida el análisis y la optimización de herramientas de seguridad en el izaje de cargas, desde su selección, inspección y mantenimiento hasta la integración de sistemas de advertencia y monitoreo, reducen incidentes y, a la vez, mejoran la eficiencia operativa (tiempos de ciclo y retrabajos) en empresas contratistas de minería? Metodológicamente, se propone un diseño no experimental, transversal y de enfoque mixto: revisión analítica de estándares y guías relevantes 2015-2025; diagnóstico en contratistas mediante análisis de incidentes y observaciones estructuradas de maniobras de izaje; y priorización y optimización de controles mediante





criterios multicriterio y análisis de brechas de cumplimiento; todo ello bajo el principio de gestión de controles críticos y mejora continua del sistema de gestión (ISO, 2018; ICMM, 2025).

## **Marco Teórico.**

El izaje de cargas en minería puede entenderse como un sistema socio-técnico de alta criticidad donde convergen la energía mecánica del equipo, la integridad de los accesorios y la coordinación humana bajo condiciones cambiantes (polvo, visibilidad limitada, interferencias). Desde una perspectiva de gestión del riesgo, resulta clave modelar el “camino de la carga” y sus barreras, de modo que los peligros se traduzcan en escenarios controlables y medibles; esto exige un andamiaje conceptual que agrupe principios de gestión del riesgo con normas específicas del levantamiento de cargas (ISO, 2018; ISO, 2018). En este marco, la teoría de sistemas de gestión permite integrar prácticas de identificación de peligros, evaluación de riesgos y mejora continua con indicadores de desempeño para eventos de alto potencial, particularmente relevantes en operaciones con contratistas donde la variabilidad operacional es mayor. (ISO, 2018; ISO, 2018).

Las “herramientas de seguridad” en izaje —ganchos con seguro, grilletes, eslingas, dinamómetros/celdas de carga, tag lines, limitadores y dispositivos de alarma— constituyen controles de ingeniería y de operación cuyo desempeño se rige por estándares de diseño, uso e inspección. En Europa, EN 13155:2020+A1:2025 fija requisitos de seguridad para accesorios no fijos (vigas de izaje, imanes, ventosas, horquillas, etc.), con implicancias directas en el dimensionamiento, marcado y verificación periódica (CEN, 2025). En el ámbito ASME, B30.9 aborda eslingas y B30.26 el hardware de





izaje (grilletes, eslabones, cáncamos, poleas), estableciendo criterios de fabricación, inspección y retiro de servicio, mientras que B30.5 regula las grúas móviles como sistema principal de elevación (ASME, 2021; ASME, s. f.; ASME, s. f.). Estas referencias normativas otorgan un lenguaje común para la selección y operación segura de accesorios en faenas mineras.

En paralelo, la competencia de las personas que inspeccionan y certifican equipos influye de manera decisiva en la confiabilidad del sistema. ISO 23814:2024 define requisitos de competencia para inspectores de grúas en inspecciones periódicas y extraordinarias, promoviendo criterios uniformes de evaluación técnica y de juicio profesional (ISO, 2024). En Estados Unidos, la Subparte CC de OSHA exige calificación de se nalistas y riggers competentes, con documentación verificable en sitio; ello incide en la calidad de las comunicaciones, la interpretación de cartas de carga y el control de maniobras en espacios congestionados (OSHA, 2022; OSHA, 2010). La combinación de inspectores competentes y personal calificado en campo actúa como control crítico frente a fallas de dise no/ejecución que suelen anteceder eventos graves. (ISO, 2024; OSHA, 2022).

La planificación del izaje constituye el eslabón teórico-práctico que integra equipo, accesorios y humanos. ASME P30.1 establece dos niveles de planificación –levantamiento estándar y crítico– en función de la complejidad y exposición al riesgo, proponiendo contenidos mínimos del plan (rutas de tránsito, envoltentes de operación, factores dinámicos, contingencias) y la obligatoriedad de reuniones previas de coordinación (ASME, 2019).

Esta aproximación articula la gestión del error humano (se nales, puntos ciegos, “line of fire”) con prácticas de verificación cruzada antes y durante





la maniobra, incluyendo estándares de comunicación (señales manuales/por radio) que la normativa OSHA refuerza mediante definiciones de roles y competencias (OSHA, 2022). Una planificación robusta reduce variabilidad operativa y, por tanto, incidentes y retrabajos, con efectos favorables en los tiempos de ciclo. (ASME, 2019; OSHA, 2022). Sobre la base legal, los sistemas de gestión como ISO 45001 exigen controlar procesos externalizados y actividades de contratistas, incluyendo criterios de competencia, coordinación y evaluación de desempeño en seguridad y salud (ISO, 2018).

En Latinoamérica, marcos sectoriales como el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería del Perú (D.S. 024-2016-EM) actualizado y difundido oficialmente en 2024 establecen obligaciones para titulares y contratistas, entre ellas la adopción de estándares, inspecciones y controles operacionales aplicables al izaje y al movimiento de materiales (MINEM, 2024). A su vez, directrices de cumplimiento de OSHA para grúas y aparejos refuerzan la necesidad de procedimientos escritos, evaluación de operadores y verificación sistemática, lo que es consistente con la naturaleza de alto riesgo de las maniobras de elevación en minería (OSHA, 2022). Este entramado normativo configura la “línea base” para evaluar brechas de cumplimiento y priorizar mejoras.

La literatura reciente subraya el papel de tecnologías de apoyo para la prevención de colisiones y el monitoreo en tiempo real. En minería, los sistemas de detección de proximidad y anti-colisión –basados en visión, LIDAR y radiofrecuencia– evidencian mejoras en conciencia situacional y reducción de eventos de alto potencial, aunque su desempeño depende de condiciones ambientales y de la integración con los procedimientos (Imam, 2023; MSHA, 2024). Del mismo modo, el uso de celdas de carga e IoT para





seguimiento de ciclos de grúa y control de sobrecargas habilita análisis operativos y mantenimiento predictivo, con beneficios en seguridad y eficiencia (Awad et al., 2024). En equipos envejecidos, los enfoques de gemelo digital permiten anticipar degradación de capacidad de carga, aportando criterios objetivos para limitar operación o programar reemplazos (Hussain et al., 2024). Estas soluciones, cuando se gobiernan dentro de un sistema de verificación de controles, fortalecen el desempeño global del izaje.

La gestión por controles críticos ofrece una aproximación teórica transversal para focalizar la prevención de fatalidades y eventos severos. En minería, el enfoque de Critical Control Management, CCM, promueve identificar, estandarizar y verificar aquellas barreras cuya falla conduciría a consecuencias catastróficas, por ejemplo, interferencias de equipos durante el izaje o pérdida de control de la carga, con verificación independiente y métricas de efectividad (ICMM, 2024–2025). Integrar CCM con la planificación del izaje (ASME P30.1), la competencia del personal (ISO 23814; OSHA) y el cumplimiento legal (ISO 45001; D.S. 024-2016-EM) configura un modelo teórico-operativo para contratistas: más que listar requisitos, se trata de demostrar que las barreras funcionan en el punto de trabajo y bajo las condiciones reales de la faena. Esta tesis sustenta la hipótesis de que optimizar herramientas y verificaciones en izaje reduce incidentes y, simultáneamente, mejora la eficiencia laboral.

## Estado del Arte

El estado del arte sobre izaje de cargas en contextos mineros y afines converge en dos ejes: la prevención de eventos de alto potencial y la eficiencia operativa. La evidencia reciente caracteriza el izaje como un





sistema socio-técnico donde fallas técnicas, variaciones del entorno y decisiones humanas interactúan de forma dinámica; de ahí el desplazamiento desde enfoques reactivos hacia modelos predictivos y controles proactivos. En minería, revisiones y estudios sectoriales subrayan que los patrones de lesión se relacionan tanto con factores laborales (turnos, tercerización, experiencia) como con factores individuales, con consecuencias que incluyen muertes, días perdidos y discapacidad permanente; ello exige estrategias integradas más allá de la mera reducción de tasas (Cruz-Ausejo et al., 2024; Nygren, 2025). En paralelo, la literatura sobre indicadores líderes propone pasar del conteo de incidentes a métricas que anticipen fallos y midan la fortaleza del sistema de gestión de seguridad, con marcos que articulan cultura, procesos y verificación (Golabchi et al., 2024).

Los análisis causales de accidentes y cuasi-pérdidas en izaje muestran patrones recurrentes: planificación insuficiente, rigging inadecuado, comunicación deficiente y exposición a la “línea de fuego” durante la colocación/aterrizaje de la carga. En estudios con grúas torre y reportes regulatorios, se observan errores operacionales, fallas en accesorios y zonas de exclusión mal definidas como precursores típicos de golpes por objetos o pérdidas de control, incluso cuando no se materializan lesiones (Raviv et al., 2017; Resources Safety & Health QLD, 2022; IMCA, 2023). La investigación de tendencias 2016–2024 y evaluaciones recientes refuerzan que el incremento de complejidad opera como amplificador del riesgo si no se eleva el estándar de planificación, verificación y competencias del equipo de izaje (Newaz et al., 2025; He et al., 2025).





Frente a ello, la literatura ha desarrollado dos líneas complementarias. La primera, de modelado y evaluación de riesgos, introduce marcos para anticipar y controlar errores humanos y acoplamientos de riesgo en tiempo casi real; por ejemplo, la propuesta de “Dynamic Human Systems Risk Prognosis & Control” para izaje en construcción industrializada, que integra pronóstico de errores con decisiones de control (Sun et al., 2023). En la misma dirección, se plantean métodos de evaluación con operadores de ponderación ordenada que incorporan efectos de acoplamiento entre factores (p. ej., ataduras inadecuadas + baja conciencia situacional), priorizando riesgos y orientando planes de izaje (Yan et al., 2024). Asimismo, se proponen algoritmos de planificación de trayectorias de grúas con criterios de practicidad y seguridad que informan rutas, envolventes y tiempos, con impacto directo en estabilidad y oscilación de la carga (Hu et al., 2021). A la par, análisis de cuasi-pérdidas mediante minería de datos enriquecen la detección de precursores y el aprendizaje organizacional (Al Shaaili et al., 2023).

La segunda línea, de tecnologías de apoyo, documenta la madurez y límites de sistemas de detección de proximidad y anti colisionado (visión, radar, LIDAR, RF) para mejorar la conciencia situacional alrededor de equipos móviles y grúas. Revisiones rápidas y sistemáticas en minería subterránea indican reducciones potenciales de contactos persona-máquina, aunque advierten sensibilidad a iluminación, interferencias electromagnéticas y ubicación de sensores, por lo que el desempeño depende de la integración con procedimientos y formación (Hrica et al., 2022; Imam et al., 2023). La experiencia regulatoria de MSHA confirma que estos sistemas pueden frenar o detener equipos sin dañar al operador, pero también registra





alarmas molestas y caídas temporales de productividad si no se gestionan zonas y entrenamiento, lo que obliga a ajustes y verificación in situ (MSHA, 2017; MSHA, 2024). La evidencia sostiene beneficios cuando la tecnología se inserta en ciclos de ensayo-ajuste y en controles críticos con verificación continua.

Adicionalmente, emergen propuestas para optimizar simultáneamente seguridad y eficiencia mediante instrumentación e I o T en grúas y accesorios: celdas de carga, sensores de viento/vibración, registro continuo de ciclos y tableros de control permiten prevenir sobrecargas, detectar patrones de oscilación y habilitar mantenimiento basado en condición, con efectos en tiempos de ciclo y retrabajo (Awad et al., 2024). En equipos envejecidos, enfoques de gemelo digital estiman la degradación de la capacidad de carga y actualizan cartas de carga “en uso”, reduciendo incertidumbre operacional y soporte a decisiones (Hussain et al., 2024). Paralelamente, la visión por computador aplicada a izaje evoluciona desde la detección de objetos a la predicción del conflicto grúa-persona para intervenir antes del contacto (Wong et al., 2023). En minería, marcos recientes vinculan mejoras de seguridad con menores paradas no programadas, lo que refuerza la tesis del doble beneficio cuando los controles se diseñan con métricas operativas desde el inicio (Marko, 2025).

Ahora bien, el contexto de contratistas introduce complejidad adicional en minas multiactor. La evidencia comparada muestra que la tercerización suele asociarse con peores resultados de seguridad que el personal directo, debido a presiones productivas, fragmentación organizacional y asimetrías de poder; por ello, las fronteras interorganizacionales y los roles de coordinación se vuelven determinantes para que los controles funcionen





“en el punto de trabajo” (Nygren, 2025). A escala global, revisiones en minería identifican a la subcontratación, la falta de experiencia y los turnos como factores asociados a mayor accidentalidad, lo que refuerza la necesidad de estándares uniformes de competencias y verificación de procedimientos de izaje entre mandantes y contratistas (Cruz-Ausejo et al., 2024). En el plano operativo, las alertas de autoridades mineras sobre incidentes de izaje recomiendan reforzar zonas de exclusión, derivación segura de cargas (“drifting”) y criterios de retiro de servicio de accesorios, todos puntos sensibles para cuadrillas contratistas (Resources Regulator NSW, 2022).

Los autores coinciden en que optimizar herramientas de seguridad en izaje hardware certificado, sensores y sistemas de alerta solo genera mejoras sostenibles cuando se inserta en marcos de gestión basados en indicadores líderes y controles críticos, con planificación robusta, competencias verificadas y aprendizaje de cuasi-pérdidas. Persisten brechas: pocos estudios evalúan paquetes integrados de controles en maniobras típicas de contratistas mineros; la traducción de beneficios tecnológicos a métricas operativas estables aún es heterogénea; y la gobernanza entre mandantes y contratistas continúa como punto débil. De cara a estas lagunas, el consenso emergente es evaluar combinaciones de tecnología + procedimiento + competencia con métricas duales (seguridad y eficiencia), incorporar pronóstico dinámico del riesgo humano y fortalecer la verificación independiente de controles críticos en sitio. Este enfoque parece el más prometedor para reducir incidentes y estabilizar tiempos de ciclo en escenarios reales de izaje en minería (ICMM, 2024; Golabchi et al., 2024; Sun et al., 2023).





## Desarrollo.

### Prestación de servicios de izaje por parte de las contratistas

**Figura 1**



**Descripción.** Grúa de contratista izando estructuras en una empresa minera

A partir de la problemática identificada altas exposiciones a “struck-by/caught-in”, variabilidad operacional propia de cadenas de subcontratación y exigencias de producción el desarrollo se centra en demostrar cómo un paquete integrado de herramientas de seguridad para izaje (hardware certificado, instrumentación y tecnologías de apoyo), combinado con planificación robusta y verificación de controles críticos, reduce incidentes de alto potencial y, simultáneamente, estabiliza los tiempos de ciclo en contratistas mineros. Conviene partir del diagnóstico: en 2024, los miembros del International Council on Mining and Metals, ICMM, registraron 42 fatalidades (segundo incremento anual consecutivo),





con móvil-equipo y maniobras de izaje entre los escenarios más incidentes, lo cual refuerza que la prevención debe aterrizarse “en el punto de trabajo” con controles verificables y métricas líderes, no sólo con tasas reactivas (ICMM, 2025). A escala de tarea, NIOSH recuerda que más del 40% de las lesiones más graves en minería se asocian a maquinaria y equipos móviles, por lo que la separación física, la gestión de envoltentes y las ayudas tecnológicas de proximidad constituyen palancas fundamentales para el izaje seguro (NIOSH, 2024). (ICMM, 2025; NIOSH, 2024).

Desde la base normativa, la integración de contratistas en el sistema de gestión es ineludible. ISO 45001 exige controlar procesos externalizados y coordinar con contratistas la identificación de peligros y el control de riesgos durante la operación (cláusula 8: operación; 8.1 sobre control operacional y 8.1.4.2 sobre contratistas), lo cual implica criterios explícitos de competencia, evaluación y supervisión en izaje (ISO, 2018; Red-on-Line, 2025). En paralelo, OSHA Subparte CC establece requisitos prescriptivos para grúas y aparejos: calificación del señalista (1926.1428), planificación del trabajo cerca de líneas energizadas (1926.1408 a 1411) y reglas de operación (1926.1417), entre otras; todo ello define mínimos legales que las empresas mandantes deben exigir a sus contratistas (OSHA, 2022). Finalmente, estándares técnicos como ASME P30.1 que formaliza Planes de Izaje estándar y crítico y EN 13155:2020+A1:2025 que fija requisitos de seguridad para accesorios no fijos proveen el andamiaje práctico sobre el que se construyen los procedimientos (ASME, 2019; CEN/BSI, 2025). (ISO, 2018; OSHA, 2022; ASME, 2019; CEN/BSI, 2025).

La fiabilidad del sistema depende críticamente de las competencias del personal. Para las inspecciones periódicas y extraordinarias de grúas, ISO





23814:2024 define requisitos de competencia y criterios de juicio profesional; su adopción como prerrequisito contractual fortalece la uniformidad de la evaluación técnica, particularmente en contratos multi-proveedor (ISO, 2024). En obra, la calificación del señalista conforme a 1926.1428 y el entrenamiento del rigger añaden una barrera de calidad en la comunicación y el control de las maniobras (OSHA, 2022). En conjunto, competencias verificadas y roles claros con evidencia documental reducen los precursores típicos: señas contradictorias, interpretación errónea de cartas de carga o exposición en “línea de fuego” durante el aterrizaje de cargas (OSHA, 2022; IMCA, 2023). (ISO, 2024; OSHA, 2022; IMCA, 2023).

## Herramientas de seguridad en izajes

**Figura 2**



**Descripción.** Grúa de contratista aplicando herramientas de seguridad al izar cargas.





En cuanto a herramientas de seguridad, se distinguen capas de control. En hardware de izaje, B30.9 (eslingas) y B30.26 (grilletes, cáncamos, anillas, etc.) establecen fabricación, uso, inspección y criterios de retiro; su observancia evita degradaciones invisibles que precipitan fallas bajo carga dinámica (ASME, 2021; ASME, 2015/2021).

Para ganchos, OSHA 1926.1433 exige pestillo (“latch”) salvo excepciones justificadas por persona calificada; además, cuando el gancho incorpora pestillo, este no debe quedar interferido por la carga (OSHA, 2022; ASME, 2024/2019). Ello no es un formalismo: los errores de aparejo durante “drifting” derivación horizontal con la carga suspendida se asocian a golpes por objeto y pérdida de control, motivo por el que reguladores han emitido alertas específicas en minería (Resources Regulator NSW, 2022). (ASME, 2022; OSHA, 2022; Resources Regulator NSW, 2022).

La operación incorpora, además, elementos de control operacional. Tag lines o líneas de guiado se usan para controlar giro/oscilación cuando su ausencia sería peligrosa; OSHA 1926.1417(w) lo demanda “cuando sea necesario” y exige considerar no conductividad cerca de energía (OSHA, 2022). Guías sectoriales precisan la técnica (anudado/longitud/posición del rigger) y recomiendan su uso dentro de límites ambientales (viento/mar) y de visibilidad, integrados al plan del izaje (IMCA/GOMO; API RP 2D). Este detalle es determinante en áreas congestionadas, típicas de plantas de procesamiento o talleres mineros, donde el control fino de la rotación de carga reduce significativamente reintentos y tiempos muertos (OSHA, 2022; IMCA, 2017; API, 2007+). (OSHA, 2022; IMCA, 2017; API, 2007).

La planificación del izaje integra equipo, accesorios, entorno y humanos. ASME P30.1 divide la planificación en “estándar” y “crítico” según





complejidad y exposición a consecuencias graves, e introduce contenidos mínimos: rutas/zonas de exclusión, envolventes, factores dinámicos (viento, radio/altura), contingencias y reuniones previas de coordinación (ASME, 2019).

## **Seguridad con líneas energizadas**

En entornos con líneas energizadas patrón frecuente en minas y plantas OSHA 1926.1408 fija distancias mínimas y exige reunión previa para revisar ubicación de líneas y barreras de acercamiento, además de métodos para impedir la intrusión (p. ej., demarcación con banderolas, dispositivos de alcance) (OSHA, 2025). En contratistas, estas exigencias deben fluir a subcontratistas de segundo nivel, asegurando criterios homogéneos. (ASME, 2019; OSHA, 2025).

A nivel tecnológico, la evolución reciente consolida dos grupos de apoyo a la tarea: (1) detección de proximidad/anticolisión y (2) instrumentación para control de carga. En el primer grupo, revisiones rápidas y sistemáticas muestran madurez creciente de radares, visión, LIDAR y sistemas RF en minería; si bien su desempeño depende de iluminación, polvo y posicionamiento de sensores, su integración con procedimientos y entrenamiento reduce contactos persona-máquina (Hrica et al., 2022; Imam et al., 2023). MSHA recopila recursos y buenas prácticas de despliegue, enfatizando la necesidad de ajustar zonas de detección para minimizar alarmas molestas que afecten productividad (MSHA, 2024). (Hrica et al., 2022; Imam et al., 2023; MSHA, 2024).





## Instrumentos para medir fuerzas, tensiones en los cables de las grúas

En instrumentación, el uso de dinamómetros y celdas de carga conectadas a tableros IoT permite verificar WLL/ángulos y registrar ciclos para mantenimiento basado en condición; estudios recientes documentan plataformas de bajo costo para grúas móviles/portuarias que elevan productividad y brindan trazabilidad para auditorías de seguridad (Awad et al., 2024). Asimismo, se exploran gemelos digitales que estiman degradación de capacidad “en uso”, apoyando decisiones de operación/reemplazo con base en datos (Hussain et al., 2024). En conjunto, ambas líneas ayudan a cerrar el bucle seguridad-eficiencia: menos sobrecargas y desviaciones, y menos retrabajos y detenciones no programadas. (Awad et al., 2024; Hussain et al., 2024).

La dinámica de cargas exige además gestionar la oscilación (anti-sway). La literatura 2021–2025 reporta controladores adaptativos (ANFIS/PID), “input shapers” y esquemas en tiempo finito para atenuar péndulo y mejorar precisión de posicionamiento; aun con validaciones en contextos portuarios/industriales, la transferencia a minas a cielo abierto y subterráneas es factible cuando el control convive con operación manual supervisada (Al-Fadhli et al., 2023; Kowsari et al., 2024; Esim et al., 2025). El punto pragmático: la atenuación de oscilación reduce reintentos de posicionamiento y rutas de deriva (“drifting”), y por tanto el tiempo efectivo de ciclo y la exposición a la línea de fuego. (Al-Fadhli et al., 2023; Kowsari et al., 2024; Esim et al., 2025).





## Responsabilidades de seguridad de las contratistas al prestar servicio de izaje

**Figura 3**



**Descripción.** Supervisores de izaje inspeccionando el área y equipos antes de las maniobras de izaje

El tejido organizacional de contratistas agrega complejidad. Revisiones recientes en minería documentan que la tercerización y los arreglos multiempleador se asocian a peores resultados de seguridad si no se definen fronteras de responsabilidad, estándares comunes y verificación independiente (Cruz-Ausejo et al., 2024; Nygren, 2025). Esto no es mecánico: el desempeño mejora cuando mandantes exigen competencias uniformes (señalistas/riggers certificados, inspectores según ISO 23814) y cuando la planificación P30.1 y las reglas OSHA se aplican sin excepciones a toda la cadena de subcontratación (Cruz-Ausejo et al., 2024; ISO, 2024). (Cruz-Ausejo et al., 2024; Nygren, 2025; ISO, 2024).

Sobre esta base, se propone un modelo de optimización en seis pasos para contratistas mineros, que transforma herramientas de seguridad en desempeño dual (seguridad-eficiencia):





Diagnóstico de línea base. Levantamiento de brechas normativas (ASME/OSHA/EN/ISO), mapeo del “camino de la carga”, taxonomía de incidentes y cuasi-pérdidas, y medición de variabilidad de tiempos de ciclo. Se recomienda usar la guía de planificación P30.1 como lista de verificación (ASME, 2019) y las definiciones de indicadores ICMM para alinear el registro (ICMM, 2021). (ASME, 2019; ICMM, 2021).

Evaluación de riesgo acoplado. Más allá de matrices estáticas, se adopta un enfoque de “riesgo humano dinámico” (DHS RP&C) que combina pronóstico de errores con controles (Sun et al., 2023). En paralelo, se aplica una evaluación multicriterio con operadores de ponderación ordenada que incorporan acoplamientos entre factores (p. ej., ataduras deficientes × baja conciencia situacional) para priorizar riesgos de izaje (Yan et al., 2024). (Sun et al., 2023; Yan et al., 2024).

Diseño de paquete de controles. Se integran hardware (B30.9/B30.26; pestillos según 1926.1433), procedimientos (P30.1; tag lines conforme 1926.1417), instrumentación (celdas de carga, registro de ciclos) y tecnología (proximidad/anticolisión; anti-sway) bajo un esquema de Controles Críticos, CCM, con verificación y reporte (ICMM, 2015–2024). La clave es especificar desempeño requerido por control y responsables (control owners) con evidencia de campo. (OSHA, 2022; ASME, 2019; ICMM, 2015/2024).

## **Importancia del tag line en izajes**

Piloto con verificación independiente. Se ensaya el paquete en un frente representativo (p. ej., cambio de revestimientos, montaje de tuberías, mantenimiento de chancado). La verificación independiente evalúa eficacia





de controles críticos y estabilidad del tiempo de ciclo frente a condiciones reales (polvo, turno nocturno, congestión). (ICMM, 2015; MSHA, 2024).

Escalamiento y gobierno con contratistas. Se estandarizan perfiles de competencia (ISO 23814 para inspectores; OSHA 1926.1428 para señalistas), listas P30.1, requisitos de accesorios (EN 13155, B30.9/B30.26) y prácticas de tag lines; se establecen auditorías cruzadas mandante-contratista y cláusulas de desempeño en contratos. (ISO, 2024; CEN/BSI, 2025; OSHA, 2022; ASME, 2022).

Gestión por indicadores líderes. Se adoptan métricas líderes (verificación efectiva de controles, cumplimiento de planificación, alarmas de proximidad tratadas, calidad del aparejo, uso correcto de tag lines, “stop works” efectivos) junto a métricas de eficiencia (tiempo de ciclo, reintentos de posicionamiento, retrabajo). La literatura de indicadores líderes en construcción ofrece taxonomías útiles para operacionalizar estas métricas (Golabchi et al., 2024) y los marcos ICMM proveen definiciones y límites de reporte. (Golabchi et al., 2024; ICMM, 2021).

En apoyo de decisiones, se proponen dos tablas aplicables a contratistas mineros:

**Tabla 1.**

<b>Control/herramienta</b>	<b>Riesgo que mitiga</b>	<b>Criterio/estándar clave</b>	<b>Evidencia de verificación en campo</b>
Eslingas (textil/cable/cadena)	Falla por degradación / sobrecarga	ASME B30.9 (ed. 2021); retiro por daño; marcado WLL	Checklists pre-uso y retiro documentado ;





Grilletes, cáncamos, anillas	Falla por mala selección/orientación	ASME B30.26; marcado, alineación, no carga lateral	fotos/registrado digital. Inspección por rigger competente; torque/alineación.
Ganchos con pestillo	Desenganche accidental	OSHA 1926.1433; ASME B30.10	Verificación cierre libre; no interferencias; sello.
Tag lines	Giro/oscilación peligrosa	OSHA 1926.1417(w); guía IMCA/API	Uso no conductivo; posición segura de riggers.
Plan P30.1 (estándar/crítico)	Variabilidad operativa	ASME P30.1	Reunión previa, rutas, contingencias
Proximidad/anti colisión	Contacto persona-máquina	Hrica 2022; Imam 2023; MSHA 2024	Alarmas calibradas; análisis de falsas alarmas.
Celdas de carga/IoT	Sobrecarga/deriva	Awad 2024	Bitácora de ciclos/alertas de sobrecarga.
Competencias (inspectores)	Inspección ineficaz	ISO 23814:2024	Certificados y listas de verificación.
Potencia cercana	Electrocución/encroachment	OSHA 1926.1408/1410	Demarcación /tabla A; reunión previa.
Anti-sway/posición	Oscilación y reintentos	Al-Fadhli 2023;	Ensayos con carga;





Kowsari  
2024      reducción de  
reintentos.

**Nota.** La tabla resume los controles e instrumentos clave para la gestión segura de izaje, indicando el riesgo que mitigan, el criterio o estándar técnico de referencia y la evidencia mínima requerida para verificar su aplicación en campo.

## Tabla 2.

### Criterios de priorización del paquete de controles

Criterio	Descripción	Peso sugerido	Referente
<b>Reducción de severidad</b>	Capacidad del control para evitar fatalidades/HPI	0,30	ICMM-CCM; OSHA Subparte CC.
<b>Cobertura operativa</b>	% de maniobras o frentes cubiertos por el control	0,20	P30.1; BS 7121-1.
<b>Factibilidad técnica</b>	Disponibilidad/compatibilidad con flota actual	0,15	MSHA tech resources.
<b>Impacto en ciclo</b>	Efecto en reintentos/tiempo de posicionamiento	0,15	Anti-sway/IoT.
<b>Costo total</b>	CAPEX+OPEX/vida útil	0,10	Práctica sectorial.
<b>Mantenibilidad</b>	Requerimientos de calibración/inspección	0,10	ASME B30.9/26; ISO 23814.

**Nota.** Los pesos sugeridos representan la importancia relativa de cada criterio para priorizar controles de izaje, en función de su impacto en la reducción de severidad, cobertura operativa, viabilidad técnica, efectos en el ciclo, costo total y mantenibilidad, tomando como referencia lineamientos técnicos y normativos del sector.





**Tabla 3.**

Indicadores sugeridos (seguridad-eficiencia)

<b>Indicador</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Meta inicial</b>
<b>Verificación efectiva de controles críticos</b>	% de verificaciones CCM “verdes” por semana	Semanal	≥90% (3 meses).
<b>Calidad de aparejo</b>	% de chequeos pre-uso sin no conformidades	Diario	≥95%.
<b>Uso correcto de tag lines</b>	% de levantamientos que requieren y usan tag line según 1926.1417(w)	Diario	≥95%.
<b>Alarmas de proximidad resueltas</b>	% de alarmas investigadas/corregidas (calibración, layout)	Semanal	100% en 48 h.
<b>Tiempo de ciclo de izaje</b>	t95 del ciclo (minutos) por tipo de maniobra	Diario	-10-15% (90 días).
<b>Reintentos de posicionamiento</b>	# por 100 izajes	Diario	-30%.
<b>Retrabajo en izaje</b>	% de maniobras con repetición por desviación	Mensual	-25%.
<b>Near miss de línea de fuego</b>	# por 10.000 h-h en izaje	Mensual	-50%.

**Nota.** Indicadores definidos para el monitoreo de la gestión segura de operaciones de izaje; las metas iniciales expresan porcentajes o variaciones relativas respecto a la línea base operativa.

La implementación práctica puede organizarse en un ciclo de 8-12 semanas. Las semanas 1-2 se destinan al diagnóstico y al mapeo del “camino de la carga” con taxonomía de eventos ,ICMM, y listas P30.1; las semanas 3-4 se usan para evaluar acoplamiento de riesgo con DHS RP&C y OWA; en semanas 5-8 se instala el paquete de controles (hardware/procedimiento/tecnología), se capacita (señalistas/riggers) y





se instrumenta el tablero de indicadores; en semanas 9–12 se ejecuta el piloto con verificación independiente, se ajustan alarmas de proximidad y parámetros anti-sway, y se documenta el impacto en tiempos de ciclo y seguridad para escalar (ASME, 2019; Sun et al., 2023; ICMM, 2015; MSHA, 2024). Este enfoque progresivo evita “choques” culturales y permite calibrar tecnología para minimizar falsas alarmas y no penalizar la productividad. (ASME, 2019; Sun et al., 2023; ICMM, 2015; MSHA, 2024).

Un aspecto operativo sensible en minas es el trabajo cerca de líneas energizadas. OSHA 1926.1408 fija distancias mínimas (p. ej., 20 pies hasta 350 kV) y obliga a reuniones de planificación y demarcación de zonas; si es “inviabile” mantener distancias, el 1926.1410 impone condiciones estrictas de mitigación. Para contratistas, esto obliga a integrar la gestión de energía desde la planificación del izaje y a especificar tag lines no conductivas cuando corresponda (OSHA, 2025). La experiencia regulatoria australiana muestra que incidentes por grúas en minería aumentan cuando zonas de exclusión, frenos y deriva de cargas se gestionan débilmente, y recomienda reforzar procedimientos y verificación (Resources Regulator NSW, 2022). (OSHA, 2025; Resources Regulator NSW, 2022).

Para consolidar la gobernanza con contratistas, resulta pertinente la gestión por Controles Críticos, CCM, La guía del, ICMM, propone un proceso en nueve pasos para identificar, definir desempeño, asignar responsables y verificar controles cuya falla conduciría a consecuencias catastróficas. La madurez real se demuestra con verificación independiente y con indicadores líderes de funcionamiento de los controles, más allá de tasas de lesiones (ICMM, 2015; 2024–2025). Insertar cada control del paquete (p. ej., “uso de tag lines”, “calibración de celdas de





carga”, “alarma de proximidad con zona segura”) en fichas de control con criterios de efectividad y evidencia fotográfica/registro acelera el aprendizaje y soporta auditorías de mandantes (ICMM, 2015/2024). (ICMM, 2015; ICMM, 2025).

### **Importancia de aplicar los protocolos de seguridad en izajes**

No debe perderse de vista que el estado del arte sugiere complementarización más que sustitución. La tecnología de proximidad, por ejemplo, reduce eventos de alto potencial, pero su efectividad depende de calibración, disciplina de operación y tolerancia al “ruido” de alarma; los planes P30.1 y la capacitación del personal siguen siendo el “esqueleto” del control. Análogamente, el anti-sway mejora la precisión de posicionamiento y acorta ciclos, pero su impacto sostenido pide formación del operador y protocolos ante viento/oscilación residual. Por tanto, la optimización no es “comprar dispositivos”, sino diseñar un sistema coherente con verificación y aprendizaje continuo. (MSHA, 2024; Al-Fadhli et al., 2023; ASME, 2019).

Finalmente, de cara a los resultados y su sostenibilidad, conviene fijar supuestos prudentes de mejora (p. ej., -30% near misses de línea de fuego; -10-15% t95 del ciclo en maniobras repetitivas en 90 días) y evaluar heterogeneidad por cuadrillas/turnos/lugares. En frentes con alta congestión, la priorización tenderá hacia tag lines, “zonas calientes” y proximidad; en maniobras de mantenimiento pesado, el peso recaerá en inspección competente, celdas de carga y planificación crítica. La experiencia comparada subraya que el “doble beneficio” seguridad-eficiencia se sostiene cuando se gobierna con CCM y con indicadores líderes, y cuando la cadena de subcontratación comparte estándares y





verificación independiente. La evidencia reciente respalda que un paquete de herramientas de seguridad de izaje bien seleccionado, verificado y gobernado reduce incidentes de alto potencial y estabiliza el desempeño operativo en empresas contratistas de minería. (ICMM, 2025; Golabchi et al., 2024; Sun et al., 2023; Yan et al., 2024).

## Protocolos de seguridad en izajes

Los protocolos de seguridad en izajes señalan la importancia de la capacitación y certificación del personal, la inspección previa y periódica de los equipos, el uso de accesorios de calidad y la documentación detallada de las operaciones. Autores como RUD Lifting y Privarsa destacan que la seguridad en izaje depende tanto del correcto mantenimiento y certificación de los equipos como de la inversión en herramientas idóneas y del trabajo colaborativo del personal involucrado (Privarsa, 2020). En el sector minero y de la construcción, los documentos técnicos recomiendan implementar sistemas seguros que incluyen autorizaciones para izajes críticos, delimitación de áreas de trabajo, registros de inspecciones y cumplimiento de normas como la ASME B30 para asegurar la integridad operativa (Universidad de Lima, 2022).

Además, las guías como la de CS Beaver enfatizan la necesidad de que nadie transite bajo cargas suspendidas y que todos los participantes usen el equipo de protección personal correspondiente, minimizando riesgos y garantizando la seguridad (CSBeaver, 2017). La norma APA 7 indica citar fuentes técnicas y procedimientos institucionales usando autor, año y fuente; por ejemplo:





- Capacitación y certificación del operador y rigger

La capacitación y certificación del personal son principios fundamentales en los protocolos de izaje porque garantizan que las tareas de levantamiento de cargas se realicen de manera segura y eficiente. El personal debe recibir formación específica sobre riesgos internos, técnicas de señalización, procedimientos para maniobras seguras y la correcta utilización de equipos y accesorios. Esta formación incluye el reconocimiento de señales manuales y auditivas para coordinar movimientos entre el operador y los señalizadores, así como el uso de equipos de protección personal (EPP) apropiados según el tipo de trabajo.

Según los autores, la certificación implica que los operadores, señalizadores y supervisores acreditan sus competencias mediante exámenes teóricos y prácticos, manteniendo actualizada su habilitación. Los cursos de capacitación deben ser impartidos por entidades reconocidas y abarcar aspectos técnicos, normativos y de respuesta ante situaciones de emergencia. Las buenas prácticas recomiendan también la actualización periódica de conocimientos y entrenamiento en el reconocimiento de nuevos riesgos derivados de tecnologías emergentes y cambios en normativas aplicables (Privarsa, 2020; Universidad de Lima, 2022).

- Inspección de equipos y accesorios

La inspección de equipos es uno de los principios clave en los protocolos de izaje, indispensable para garantizar la seguridad de las operaciones de levantamiento de cargas. Consiste en revisar rigurosamente todos los componentes del sistema de izaje, incluyendo grúas, eslingas, ganchos,





cadena, poleas, dinamómetros y líneas de etiqueta, antes y después de cada utilización.

Las inspecciones deben ser realizadas por personal competente y documentadas en registros específicos que incluyan el estado de los equipos, la fecha, la firma del responsable y el tipo de mantenimiento realizado. Este proceso permite identificar desgastes, deformaciones, corrosión, fisuras o cualquier defecto que pueda comprometer la integridad de los equipos y la seguridad de la operación. Además, la normativa exige que se descarte inmediatamente cualquier accesorio o equipo que presente señales de daño o incumpla con las especificaciones técnicas recomendadas por el fabricante.

Según los autores, la periodicidad en las inspecciones puede ser diaria, semanal o mensual dependiendo del uso y las condiciones del entorno de trabajo. Mantener registros detallados permite una trazabilidad y cumplimiento con las normativas internacionales, como ASME B30, y las buenas prácticas recomendadas para minería y construcción (Privarsa, 2020; Universidad de Lima, 2022).

- Uso de procedimientos operativos estandarizados

El cálculo y control de la carga es un principio esencial en los protocolos de izaje, ya que permite prevenir sobrecargas, caídas y daños tanto en el equipo como en el entorno laboral. Este proceso implica determinar el peso, el centro de gravedad y las características físicas de la carga antes de empezar la maniobra de levantamiento. Además, es considerar obligatorios factores como el ángulo de izaje, el tipo de eslingas, los accesorios y las





condiciones ambientales (viento, humedad) que puedan afectar la operación.

El uso de dinamómetros y otros dispositivos de medición permite verificar en tiempo real la carga aplicada, asegurando que no se excedan los límites de capacidad del equipo y que se mantenga la estabilidad durante el izaje. El monitoreo constante, junto con el registro detallado de cada operación, ayuda a identificar desviaciones, corregir prácticas inseguras y generar datos para el análisis de riesgos y la mejora continua (Privarsa, 2020; Universidad de Lima, 2022).

- Comunicación y coordinación

La comunicación y coordinación son principios críticos de los protocolos de izaje, ya que aseguran que todos los participantes en una operación estén sincronizados y actúen bajo información precisa y en tiempo real. Una comunicación efectiva entre operadores de grúa, señalizadores, supervisores y demás personal garantiza la correcta interpretación de las señales manuales o auditivas y la ejecución segura de cada maniobra.

El uso de radios bidireccionales, sistemas visuales (banderas, luces) y protocolos de señalización estandarizados son prácticas recomendadas para evitar malentendidos y reducir el riesgo de incidentes. Los procedimientos deben establecer claramente quién tiene la autoridad para iniciar, detener o modificar la operación, y todos los involucrados deben conocer el plan específico de comunicación para cada izaje, especialmente en maniobras críticas o áreas con alta interferencia de ruido (Privarsa, 2020; Universidad de Lima, 2022).





## **Tipos de izajes**

Según (ASME B30, ISO 45001 y ANSI), la operación de izaje constituye uno de los procesos más críticos en la industria de la construcción, minería y sectores industriales, debido a los riesgos implicados en el levantamiento y manipulación de cargas pesadas, establecen directrices esenciales para la clasificación de los tipos de izaje y los protocolos de seguridad que deben aplicarse en cada caso.

- Tipos de izajes según estándares internacionales

Según la norma ASME B30 e ISO 45001, los izajes se pueden clasificar principalmente en izaje simple y crítico. El izaje simple implica levantar cargas cuyo peso, dimensiones y entorno no presentan riesgos elevados, y se emplean equipos convencionales bajo condiciones controladas. El izaje crítico, en cambio, se define por la magnitud de la carga, el uso de equipos especializados, condiciones ambientales adversas, trabajos en proximidad de instalaciones sensibles (líneas eléctricas, químicos peligrosos), o cuando el movimiento puede afectar la seguridad de personas y activos. El izaje de personas es considerado automáticamente crítico por la normativa internacional (SIGO, 2011; ASME B30).

En los protocolos se exige evaluar el entorno, planificar la maniobra, inspeccionar equipos, capacitar al personal y emplear accesorios certificados (QP-ES-ST-001, 2024). Las consideraciones incluyen el análisis de peligros potenciales, complejidad de la actividad, impacto en el entorno y condiciones atmosféricas, como lo señala el enfoque de ASME P30.1 (SST Perú, 2022)





## Izaje simple

Figura 4



**Descripción:** Grúa articulada realizando un izaje simple

El izaje simple se entiende como el proceso de levantar o mover una carga cuyo peso, dimensiones y entorno no presentan riesgos elevados, utilizando equipos de izaje convencionales bajo condiciones controladas. Según la norma ASME B30, el izaje simple implica maniobras en las que los parámetros de la carga y del equipo están dentro de los límites de operación medidas recomendadas y no es necesario adoptar especiales de seguridad más allá de los protocolos estándares (ASME B30.23-2016, 2025).

En la práctica, un izaje simple puede consistir en levantar una carga de materiales de construcción (por ejemplo, bloques o vigas de acero) cuya masa y tamaño son conocidos, usando una grúa móvil en un terreno plano, sin la presencia de obstáculos ni condiciones adversas. Otro ejemplo es el traslado de herramientas o equipos industriales ligeros en un área abierta de trabajo, utilizando eslingas y ganchos certificados, donde el operador





ejecuta la maniobra siguiendo procedimientos rutinarios y bajo supervisión directa.

En minería, el izaje simple se observa al utilizar winches para levantar baldes de mineral que no superan la capacidad nominal del equipo y no requieren ninguna adaptación especial. El proceso incluye la inspección básica de los componentes y la aplicación de señales manuales estándar entre operador y señalizador para coordinar el movimiento (Sistemas de Izaje en Minería, 2025).

## Izaje crítico

**Figura 5**



**Descripción.** Izaje crítico, elevación de personas en Man Basking.

El izaje crítico se define como la operación de levantar, trasladar o posicionar cargas cuyo peso, dimensiones, naturaleza o condición de entorno implican riesgos significativos que superan los manejados en





maniobras convencionales. Según la norma (ASME B30.23-2016, 2025), y estándares internacionales, un izaje se considera crítico cuando involucras cargas cuyo peso está cercano o supera el 75% de la capacidad nominal del equipo de izaje, cuando existe proximidad a líneas eléctricas, instalaciones sensibles, o cuando la carga tiene un alto valor económico, es poco estable, o su desplazamiento puede poner en peligro personas, instalaciones o el medio ambiente (SIGO, 2011; Quimpac, 2024).

Los izajes críticos requieren procedimientos elaborados de planificación y supervisión como permisos de trabajo, análisis técnico y revisión detallada de todos los accesorios y equipos involucrados. Por ejemplo, transportar un transformador eléctrico pesado por encima de una planta operativa implica evaluar meticulosamente el trayecto, emplear grúas con sistemas redundantes de seguridad, instalar sistemas anticaídas y realizar simulacros previos a la ejecución. Otro ejemplo consiste en la elevación de componentes de gran tamaño en áreas restringidas o cercanas a estructuras delicadas, donde cualquier error podría resultar en consecuencias graves.

En minería, un izaje crítico puede presentarse al mover maquinaria pesada (como palas o perforadoras) sobre terrenos irregulares, en presencia de trabajadores y equipos móviles, bajo condiciones ambientales adversas, exigiendo cálculo detallado de fuerzas, revisión minuciosa de eslingas y accesorios, y supervisión por parte de personal con certificaciones especializadas (QP-ES-ST-001, 2024).





## Importancia de un plan de izaje

Figura 6

SISTEMA DE GESTION DE SALUD Y SEGURIDAD				Fecha: 20/11/2020	
FORMATO DE PLAN DE IZAJE NO CRITICO CON GRUAS				Página: 1 de 1	
				LC-9150-SI-F-FDN-000	
				Versión: 03	
DATOS GENERALES					
Descripción de la grúa			Capacidad de la grúa		lb
descripción de la carga			Peso de la carga		lb
Lugar de maniobra de izaje			Fecha de izaje		
CUADRANTE DE OPERACIÓN					
Fronte		Lado		Abre	360 grados
POSICION INICIAL			POSICION FINAL		
Radio inicial		ft	Radio final		ft
Longitud pluma inicial		ft	Longitud pluma final		ft
Angulo inicial		grados	Angulo final		grados
Capacidad bruta		lb	Capacidad bruta		lb
DATOS DE APAREJOS					
Capacida de estingas			Capacidad de ganchos		lb
CALCULOS					
Peso de la carga		kg	CARGA BRUTA		kg
Peso de los aparajos		kg	CAPACIDAD DE LA GRUA		kg
Peso del gancho		kg	CARGA BRUTA / CAPACIDAD DE LA GRUA * 100		%
Otros pesos		kg	Si el izaje es mayor 80% se considera un izaje crítico y se requiere seguir protocolos de seguridad establecidos		0
CARGA BRUTA		kg			
OBSERVACIONES					
Supervisor de izaje			Firma		
Supervisor de HS			Firma		

Descripción: Ejemplo de plan de izaje

Un plan de izaje es un documento técnico elaborado antes de ejecutar operaciones de levantamiento de cargas, cuyo objetivo principal es identificar riesgos, definir procedimientos seguros, asignar responsabilidades y garantizar que la maniobra se realice bajo condiciones controladas. Los planos de izaje establecieron las bases para la prevención de accidentes y el cumplimiento con las normas internacionales como ASME B30, ISO 45001 y estándares específicos para minería y construcción (Guía técnica especializada, 2023; QP-ES-ST-001, 2024).





La estructura de un buen plan de izaje incluye la identificación de la carga y sus características (peso, centro de gravedad, dimensiones), el tipo de equipo y accesorios necesarios, el recorrido previsto, el entorno y obstáculos presentes, la capacitación y certificación del personal involucrado, y las condiciones climáticas esperadas. Asimismo, debe contemplar los protocolos de comunicación, coordinación y respuesta ante emergencias. La importancia del plan radica en la anticipación y gestión de posibles escenarios adversos, permitiendo que todas las etapas del izaje estén previamente analizadas y aprobadas.

Por ejemplo, al planificar el izaje de un tanque de almacenamiento en una refinería, el plan de izaje detallado el método de elevación, los puntos de amarre, los materiales auxiliares (eslingas, ganchos, tag line), la delimitación de zonas de riesgo, y la designación de supervisores. Se coordinan simulacros, inspecciones previas y verificaciones en cada etapa, minimizando la posibilidad de incidentes graves. En minería, un plan de izaje puede involucrar la revisión exhaustiva de grúas y accesorios para mover una pala hidráulica, la elaboración de diagramas de desplazamiento y estrategias para estabilizar la carga ante condiciones de viento o terreno irregular (Guía técnica especializada, 2023).

## **Discusión**

Un paquete integrado de controles de herramientas certificadas de izaje, instrumentación para control de carga y tecnologías de apoyo (proximidad/anticolisión, anti-oscilación), anclado en una planificación P30.1 y gobernado por controles críticos, puede producir un doble beneficio: reducción de incidentes de alto potencial y estabilización de los tiempos de ciclo. Esta interpretación dialoga con el contexto sectorial: el





aumento de fatalidades reportado por él, CMM, en 2024 recuerda que, en minería, los riesgos no han sido domados y que la mejora debe aterrizar en el “punto de trabajo” de contratistas y subcontratas (ICMM, 2025). Asimismo, la persistencia de lesiones graves por “struck-by/caught-in” asociadas a maquinaria refuerza que separar a las personas de la energía móvil mediante barreras físicas, envolventes y ayudas tecnológicas es condición necesaria para un izaje seguro (NIOSH, 2024).

Ahora bien, más que un listado de dispositivos, la literatura reciente conduce hacia un enfoque de gestión por indicadores líderes y verificación de controles críticos. Desde la construcción y la minería, ganan terreno métricas que miden la “salud del sistema” (p. ej., verificación efectiva de controles, calidad del aparejo, tratamiento de alarmas) por encima del conteo reactivo de incidentes; ello coincide con marcos sectoriales que piden reportar y aprender de cuasi-pérdidas y de la eficacia de las barreras (Golabchi et al., 2024; ICMM, 2025). Esta convergencia sugiere que la optimización de herramientas de izaje solo se vuelve sostenible cuando la organización es capaz de demostrar, con evidencia trazable, que las barreras funcionan bajo las condiciones reales de la faena, y no solo “en el papel”.

Respecto de las tecnologías de proximidad/anticolisión, las revisiones rápidas y sistemáticas sostienen beneficios en conciencia situacional y potencial de reducción de contactos persona-máquina, aunque advierten límites por iluminación, polvo, interferencias y ubicación de sensores (Hrica et al., 2022; Imam et al., 2023). La experiencia regulatoria y de fomento en Estados Unidos, compilada por MSHA, respalda su despliegue con una premisa clave: ajustar zonas de detección y gestionar la “fatiga de





alarmas” para no erosionar la productividad ni generar desconfianza en el sistema (MSHA, 2024; MSHA, 2017). En consecuencia, estas tecnologías deben tratarse como “ayudas a la operación” integradas en procedimientos, capacitación y verificación independiente, más que como sustitutos de la planificación y las competencias del equipo de izaje. (Hrica et al., 2022; Imam et al., 2023; MSHA, 2024; MSHA, 2017).

Por su parte, la instrumentación de carga e IoT aporta una capa de verificación objetiva que puede traducirse en seguridad y eficiencia. Estudios de 2024 muestran tableros de bajo costo para grúas móviles/tipo portuaria que registran ciclos y alertas de sobrecarga, habilitando mantenimiento basado en condición y mejoras de desempeño (Awad et al., 2024). A un nivel más estratégico, el uso de gemelos digitales para estimar la degradación de la capacidad de izaje en equipos envejecidos ofrece criterios cuantitativos para limitar operación, ajustar cartas de carga “en uso” o programar reemplazos, cerrando brechas de incertidumbre (Hussain et al., 2024). No obstante, la promesa de datos masivos exige gobernanza: protocolos de calibración, custodia de registros y reglas claras de uso en auditorías y lecciones aprendidas. (Awad et al., 2024; Hussain et al., 2024).

La planificación del izaje aparece como la “bisagra” entre tecnología y práctica. ASME P30.1 diferencia planes estándar y críticos, y establece contenidos mínimos (rutas, zonas de exclusión, factores dinámicos, contingencias y reuniones previas), reduciendo la variabilidad operativa que se asocia a incidentes y retrabajos. Esta estructura dialoga con la directiva de cumplimiento de OSHA para grúas, que fija criterios prescriptivos de roles y procedimientos en obra, especialmente relevantes





al trabajar cerca de líneas energizadas (OSHA, 2022). En la base de los accesorios, EN 13155:2020 fija requisitos para elementos no fijos (vigas de izaje, imanes, ventosas, horquillas) y completa el “esqueleto” operativo para una selección y verificación consistentes. Finalmente, la competencia técnica de quienes inspeccionan (ISO 23814:2024) constituye un control crítico en sí mismo: uniformiza juicio profesional y eleva la calidad de la inspección periódica/extraordinaria, condición de borde frente a fallas de diseño/ejecución (ASME, 2019; OSHA, 2022; CEN/BSI, 2020; ISO, 2024).

En entornos con alta tercerización, los resultados dependen de la gobernanza interorganizacional. Alertas y boletines mineros reportan incidentes recurrentes en izaje (deriva de cargas, zonas de exclusión débiles, fallas de frenos, accesorios fuera de especificación), lo que indica brechas de coordinación y de disciplina operativa en cadenas multiempleador (Resources Regulator NSW, 2022; RSHQ, 2022). Desde esta perspectiva, exigir estándares comunes (p. ej., P30.1 en toda la cadena, perfiles de competencia compatibles con ISO 23814 para inspectores y con Subparte CC para señalistas/riggers) y practicar la verificación cruzada mandante-contratista son palancas plausibles para “cerrar” la brecha entre trabajo prescrito y trabajo real. Ello es coherente con la tendencia global del sector a usar métricas comparables de desempeño y a priorizar controles críticos con verificación independiente (ICMM, 2025).

En términos de eficiencia, el nexo causal emerge por dos vías. Primero, al reducir reintentos de posicionamiento y tiempos muertos mediante anti-oscilación y uso disciplinado de tag lines, se estabiliza el tiempo de ciclo; segundo, la trazabilidad de carga y ciclos via IoT permite medir y recortar pérdidas crónicas (p. ej., sobrecargas repetitivas, demoras por





incertidumbre en el peso real). Las evidencias en grúas industriales/portuarias apoyan esta dirección y son transferibles a contextos mineros con operación manual supervisada, aunque conviene anticipar curvas de aprendizaje y ajustes de parámetros para evitar “costes ocultos” de adopción (Awad et al., 2024). A su vez, MSHA insiste en calibrar alarmas y zonas de detección para evitar que la productividad se deteriore por falsas alarmas, un riesgo real cuando se digitaliza sin gobernanza (MSHA, 2024). En suma, la eficiencia no se opone a la seguridad; se obtiene cuando las barreras funcionan y se miden.

No obstante, se reconocen límites y amenazas a la validez. En primer lugar, la efectividad de los paquetes integrados depende de la calidad de la implementación: sin entrenamiento y liderazgo de primera línea, las tecnologías se infrautilizan o se “puentean”. En segundo lugar, los entornos mineros presentan heterogeneidad radical (subterránea vs. cielo abierto; taller vs. planta), de modo que las transferencias deben ser prudentes y acompañadas de pilotos y ajustes situados (MSHA, 2024). En tercer lugar, la evaluación del doble beneficio requiere métricas duales coherentes y libres de sesgo; depender solo de auto reportes puede introducir deseabilidad social. A la luz de la evidencia, conviene combinar mediciones objetivas (verificación de controles, registros de carga/ciclos) con análisis de tendencias y aprendizaje de cuasi-pérdidas, siguiendo marcos contemporáneos de pronóstico del riesgo humano (Sun et al., 2023) y de evaluación multicriterio con acoplamientos (Yan et al., 2024).

Desde una lectura práctica, la discusión respalda tres implicancias: 1) priorizar controles con mayor impacto en severidad y cobertura (p. ej., planificación crítica P30.1, competencias verificadas,





proximidad/anticolisión calibrada, celdas de carga con bitácora); 2) gobernar con Controles Críticos, evidenciando su funcionamiento mediante verificación independiente y reportes comparables; y 3) evaluar la eficiencia como variabilidad del ciclo y retrabajo, no solo como promedio de tiempos. De cara a investigaciones futuras, resultaría pertinente evaluar, en contratistas mineros, paquetes integrados “tecnología + procedimiento + competencia” con diseños cuasi-experimentales (antes-después con grupos de control o diferencias-en-diferencias) y con métricas duales robustas. En paralelo, la vigilancia regulatoria y sectorial debiera seguir produciendo data pública y comparable sobre incidentes de izaje, tal como ya ocurre con boletines y recursos técnicos, favoreciendo el aprendizaje colectivo y el cierre de brechas (Resources Regulator NSW, 2022; RSHQ, 2022; ICMM, 2025).

## Conclusiones

El análisis evidencia que un paquete integrado de herramientas de seguridad para izaje hardware certificado, instrumentación de carga e innovaciones de apoyo como proximidad/anticolisión y anti-oscilación solo genera resultados razonables cuando se articula con planificación formal del izaje y verificación sistemática de controles críticos. Ello adquiere urgencia en minería: el alza de fatalidades reportada para 2024 subraya que la reducción del riesgo debe materializarse “en el punto de trabajo” y con métricas líderes, especialmente en cadenas de subcontratación. En paralelo, la persistencia de lesiones graves por “struck-by/caught-in” asociadas a maquinaria, refuerza que separar a las personas de la energía móvil exige barreras de diseño, procedimientos y ayudas tecnológicas integradas. La planificación P30.1, la competencia





verificable del personal y el cumplimiento prescriptivo de Subparte CC constituyen la “columna vertebral” del desempeño seguro de un izaje.

Desde una perspectiva tecnológica, las revisiones recientes coinciden en que los sistemas de proximidad/anticolisión mejoran la conciencia situacional y pueden reducir contactos persona-máquina; no obstante, su efectividad depende de condiciones ambientales, calibración y entrenamiento al operador, por lo que deben implementarse como “ayudas” y no sustitutos de la planificación. A su vez, la instrumentación con celdas de carga e IoT aporta verificación objetiva del esfuerzo y trazabilidad de ciclos, habilitando mantenimiento basado en condición y reduciendo sobrecargas y retrabajo (volver a realizar el trabajo); complementariamente, el control de oscilación (anti-sway) disminuye reintentos de posicionamiento y estabiliza tiempos de ciclo. En conjunto, estas capas tecnológicas fortalecen tanto la seguridad como la eficiencia cuando se gobiernan con evidencias de funcionamiento en campo.

Finalmente, en el contexto de contratistas mineros, la gobernanza por Controles Críticos, CCM, emerge como el marco más coherente para asegurar que las barreras funcionen bajo condiciones reales, con verificación independiente y reporte de indicadores líderes. La literatura reciente sobre indicadores proactivos dice que apoya a migrar desde conteos reactivos a métricas de “salud del sistema” (p. ej., verificación efectiva de controles, calidad del aparejo, tratamiento de alarmas) y a su uso para aprendizaje de cuasi-pérdidas. Se concluye, por tanto, que optimizar herramientas y verificaciones de izaje reduce incidentes de alto potencial y, simultáneamente, mejora la eficiencia operativa cuando: I) se integran estándares y competencias en toda la cadena, II) la planificación y





la verificación son obligatorias y trazables, y III) la tecnología se calibra y evalúa con métricas duales de seguridad y desempeño.

## **Recomendaciones**

En primer lugar se recomienda que; resulta pertinente institucionalizar la gestión por Controles Críticos para el izaje de cargas en contratistas mineros, utilizando la guía del, ICMM, para identificar MUEs, definir desempeño requerido por control, asignar responsables y verificar su efectividad con independencia de línea. Este andamiaje debe integrarse al sistema de gestión de la, SST, ISO 45001, y reflejarse en contratos y matrices de desempeño con proveedores y subcontratas, de modo que la responsabilidad por controles críticos p. ej., “uso de tag lines”, “calibración de celdas de carga”, “zonas de exclusión y envolventes” sea explícita, medible y auditada. Conviene establecer metas de indicadores líderes ( $\geq 90$  % de verificaciones efectivas/semana; 100 % de alarmas tratadas en 48 h.) para alinear la mejora continua con resultados operativos.

En segundo lugar, se recomienda exigir planificación del izaje conforme, ASME P30.1, para todas las maniobras: planes estándar/críticos con rutas, zonas de exclusión, factores dinámicos y contingencias; briefing previo de roles y señales; y registro de lecciones aprendidas. Paralelamente, homogeneizar competencias: inspectores que cumplan, ISO 23814, y personal de campo (señaleros/riggers) calificado según subparte, con evidencia documental (aprobada por el Ministerio de Trabajo), verificable en sitio. Esta estandarización debe “fluir” hacia subcontratistas de segundo nivel y ser verificada por auditorías cruzadas mandante-contratista, reduciendo la brecha entre trabajo prescrito y trabajo real.





En tercer lugar, desplegar tecnología con pilotos controlados y gobierno de datos. Para proximidad/anticolisión, iniciar en frentes de mayor exposición, calibrar zonas para minimizar “fatiga de alarmas”, formar operadores y documentar tasas de falsas alarmas y eventos evitados. En instrumentación, instalar celdas de carga y tableros IoT para peso real, ángulos y ciclos; vincular alertas a protocolos de “stop work” y a mantenimiento basado en condición. Incorporar soluciones anti-sway validadas para disminuir oscilación y reintentos por errores, con pruebas de aceptación que comparen el t95 del ciclo antes-después. El éxito dependerá de la disciplina de uso, la calidad de la calibración y la retroalimentación de los datos a la toma de decisiones.

También, adoptar un tablero de indicadores líderes informado por la literatura reciente para monitorear la “salud del sistema” y su nexos con la eficiencia: verificación efectiva de los controles, calidad del aparejo, tratamiento de alarmas de proximidad, uso correcto de tag lines, variabilidad del ciclo y retrabajo. Reportar resultados por frente/cuadrilla y turno, y retroalimentar planes de izaje y entrenamientos. Esta disciplina de medición, combinada con, CCM, y estándares de competencia, constituye la vía más sólida para sostener el doble beneficio seguridad-eficiencia en entornos mineros complejos.

## Referencias

Al-Fadhli, A., et al. (2023). Smooth command input shaper for suppressing payload oscillations in tower cranes. *Journal of Vibration and Control*.

Al Shaaili, M., Al Hosani, A., & Al-Ali, A. (2023). Near-miss accidents data analysis and knowledge discovery. *Heliyon*, 9(12), e23709.





American Petroleum Institute (API). (2007). Recommended Practice 2D: Operation and Maintenance of Offshore Cranes (RP 2D).

American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2019). P30.1—Planning for Load Handling Activities.

American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2021). B30.5—Mobile and Locomotive Cranes.

American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2021). B30.9—Slings.

American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2015). B30.26—Rigging Hardware.

American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2024). B30.10—Hooks.

ASME B30.23-2016. (2025). Requisitos de seguridad para sistemas de izaje de personal, incluyendo grúas, polipastos y eslingas. <https://es.scribd.com/document/840301985/ASME-B30-23-2016-en-Espanol>

Awad, A. H., et al. (2024). Low-cost IoT-based sensors dashboard for monitoring tower crane productivity. *Sensors*.

British Standards Institution (BSI). (2016). BS 7121-1:2016—Code of practice for safe use of cranes. Part 1: General.

CEN—European Committee for Standardization. (2020). EN 13155:2020—Crane safety—Non-fixed load lifting attachments.

CEN/BSI. (2025). EN 13155:2020+A1:2025—Crane safety—Non-fixed load lifting attachments (vista previa).





Cruz-Ausejo, L., et al. (2024). Occupational accidents in mining workers: Scoping review. *BMJ Open*, 14(10), e080572.

Esim, E., et al. (2025). Comparison of sway control algorithms for multi-car cranes. *Soft Computing*.

Guía técnica especializada. (2023). Manual técnico para izajes seguros y protocolos de planeación. [https://ccs.org.co/wp-content/uploads/2023/06/GUIA\\_CCS\\_IZAJE\\_CARGAS.pdf](https://ccs.org.co/wp-content/uploads/2023/06/GUIA_CCS_IZAJE_CARGAS.pdf)

Golabchi, H., Abellanosa, A. D., Lefsrud, L., Pereira, E., & Mohamed, Y. (2024). A comprehensive systematic review of safety leading indicators in construction. *Safety Science*, 172, 106433.

GruasAmérica. (2021). ¿Qué es un izaje y tipos de izaje? <https://gruasamerica.pe/que-es-un-izaje-y-tipos-de-izaje/>

He, W., et al. (2025). The comprehensive safety assessment method for complex crane operations. *Ocean Engineering*.

Hrica, J. K., Bellanca, J. L., Carr, J. L., Homer, J., & Stabryla, K. (2022). A rapid review of collision avoidance and warning technologies for mining haul trucks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 10078.

Hussain, M., et al. (2024). Predicting degraded lifting capacity of aging tower cranes: A digital-twin driven approach. *Automation in Construction*.

Imam, M., et al. (2023). Anti-collision systems based on computer vision in underground mines: A comprehensive review. *Sensors*, 23(9), 4294.





International Council on Mining & Metals (ICMM). (2015). Critical Control Management: Good Practice Guide.

International Council on Mining & Metals (ICMM). (2021). Health & Safety Performance Indicators.

International Council on Mining & Metals (ICMM). (2025, July 10). Safety performance: Benchmarking 2024 data.

International Marine Contractors Association (IMCA). (2017). Guidance for the use of tag lines in lifting operations.

International Marine Contractors Association (IMCA). (2023). Safety Flash 29/23: Line of fire near miss during lifting operations.

International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 31000:2018—Risk management—Guidelines.

International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 45001:2018—Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use.

International Organization for Standardization (ISO). (2024). ISO 23814:2024—Cranes—Competency requirements for crane inspectors.

Kowsari, E., & Ghabcheloo, R. (2024). Optimal sway motion reduction in cranes. *Frontiers in Robotics and AI*.

Marko, T. (2025). Assessing and optimizing safety operations in mining. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*.





Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM). (2024). Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (D.S. 024-2016-EM, edición 2024).

Mine Safety and Health Administration (MSHA). (2017). Proximity detection systems for mobile machines in underground mines. Federal Register.

Mine Safety and Health Administration (MSHA). (2024). Mobile Equipment—Technology Resources (proximidad, visibilidad, fatiga).

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2024). Machinery struck-by injuries (Mining Program).

Newaz, M. T., et al. (2025). A critical analysis of construction incident trends and underlying causes. *Safety Science*.

Nygren, M. (2025). Mining industry approaches to risk and responsibility: Managing safety in outsourced environments. *Mineral Economics*.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2022, February 11). CPL 02-01-063—Compliance Directive for Cranes and Derricks in Construction.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2025). 29 CFR 1926 Subpart CC—Cranes and Derricks in Construction (incluye §§ 1926.1408, 1926.1410, 1926.1417, 1926.1428, 1926.1433).

Privarsa. (2020). Seguridad en los sistemas de izaje: RUD Lifting y PRIVARSA. <https://www.privarsa.com.mx/seguridad-en-los-sistemas-de-izaje-rud-lifting-privarsa/>

Quimpac. (2024). QP-ES-ST-001 Estándar para Trabajos de Izaje. <https://quimpac.com.pe/wp->





content/uploads/2024/10/Estandares-instructivos-y-procedimientos-para-Trabajos-Alto-Riesgo\_Quimpac.pdf

Red-on-Line. (2025). ISO 45001—Cláusula 8: Operación y control de procesos externalizados (8.1, 8.1.4, 8.1.4.2).

Resources Regulator NSW. (2022). Safety Bulletin SB22-05: Crane incidents on the rise.

Resources Safety & Health Queensland (RSHQ). (2022). Lifting and rigging incidents (Coal Inspectorate).

SIGO. (2011). Gestión de controles críticos: Pérdida de control maniobras de izaje. <https://www.sigweb.cl/wp-content/uploads/2011/08/SIGO-Gestion-de-Controles-Criticos-Perdida-de-control-maniobras-de-izaje.pdf>

Sistemas de Izaje en Minería. (2025). Principales componentes y procedimientos de izaje minero. <https://es.scribd.com/presentación/188638843/IZAJE-MINERO>

Sun, Z., Zhu, Z., Xiong, R., Tang, P., & Liu, Z. (2023). Dynamic human systems risk prognosis & control of lifting operations. *Developments in the Built Environment*, 14, 100143.

Universidad de Lima. (2022). Procedimiento - Operaciones de Izaje Seguro de las bambas. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-de-lima/seguridad-y-salud-ocupacional/procedimiento-operaciones-de-izaje-seguro->





Universidad Católica San Pablo. (2021). Procedimiento de Izaje y Manejo de Cargas PS-05.

<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-catolica-san-pablo/aparato-critico-de-la-escuela-profesional-de-derecho/procedimiento-de-izaje-y-manejo-de-cargas-ps-05/>

Wong, P. K.-Y., Lam, C. P., Lee, I. Y.-N., Ting, F. C.-L., Cheng, J. C.-P., & Leung, P. H. (2023). Predictive safety monitoring for lifting operations with vision-based crane-worker conflict prediction. En *Proceedings of CONVR 2023*.

Yan, K., Jin, L., & Yu, X. (2024). Ordered weighted evaluation of lifting operation safety risks considering coupling effect. *Scientific Reports*, 14, 5776.

