



Aplicación De Matriz Iperc - Identificación De Peligros, Evaluación De Riesgos Y Controles En Operaciones Civiles En Minas Para La Gestión De Riesgos Laborales.

Application of Iperc Matrix - Identification of Hazards, Risk Assessment, And Controls in Civil Operations in Mines for Occupational Risk Management Processes and Practices.

Omar Salomón Leiva Ocejos¹ 

osleiva@itsoriente.edu.ec.

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Benjamín Gabriel Quito Cortez² 

benjaminquito@bqc.com.ec

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Daniela Fernanda Vásconez Duchicela³ 

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, O. Quito, B. Vásconez, D. (2026). *Aplicación De Matriz Iperc - Identificación De Peligros, Evaluación De Riesgos Y Controles En Operaciones Civiles En Minas Para La Gestión De Riesgos Laborales.* Metrópolis. Revista de Estudios Globales Universitarios, 7 (1), pp. 1768-1814.

¹ Tecnólogo en seguridad y salud ocupacional. Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO); Cursando la Maestría en Seguridad Industrial. (ITSO); Egresado de Ingeniería en Producción Industrial. Universidad UNIDEC.

² 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.

³ 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

Este artículo examina la aplicación de la Matriz de Identificación de Peligros, Evaluación y Control de Riesgos, en actividades de construcciones y operaciones civiles, mecánicas, eléctricas, instrumentación y control dentro del ámbito minero en el Ecuador como dispositivo que conecta la identificación de peligros con controles verificables. Se propone un marco que integra la jerarquía de controles (priorizando eliminación, sustitución, controles de ingeniería, administrativos y equipo de protección personal.), con la gestión de controles críticos para eventos de alta severidad, superando el cumplimiento meramente documental. Metodológicamente, se desarrolló un diseño aplicado y mixto en cuatro fases: diagnóstico documental de IPERC por tarea; valoración semicuantitativa de riesgos y asignación de controles jerarquizados; verificación funcional de barreras críticas con criterios y frecuencias definidos; y evaluación antes después (6 -12 meses) mediante indicadores líderes (% de controles críticos verificados en plazo, calidad del análisis de trabajo seguro, cierres de acciones) y rezagados (Tasa Total de Incidentes Registrables, TRIR, Días de Ausencia, Restricciones o Traslados, DART, e incidentes de alto potencial por 200 000 horas), conforme con ISO 45001/45002 y guías regulatorias. La contribución principal es un modelo replicable que demuestra desempeño y orienta recursos hacia barreras de mayor eficacia. Críticamente, se abordan amenazas a la validez (subregistro, cambio en mezcla de tareas, madurez tecnológica de ayudas de ingeniería) y mitigaciones mediante auditorías de registro, segmentación por frente y gestión del cambio. En contextos latinoamericanos, la propuesta se alinea con el DS 024-2016-EM y el Manual IPERC de SUNAFIL, fortaleciendo la trazabilidad y la fiscalización. **Palabras claves:** Matriz IPERC; obras civiles mineras; jerarquía de controles; controles críticos; gestión de riesgos laborales.

Abstract

This article analyzes the application of the Hazard Identification, Risk Assessment and Control Matrix in civil, mechanical, electrical, instrumentation and control activities within mining operations in Ecuador, as a mechanism that links hazard identification with verifiable controls. The proposed framework integrates the hierarchy of controls prioritizing elimination, substitution, engineering controls, administrative measures, and personal protective equipment with the management of critical controls for high-severity events, moving beyond mere documentary compliance. Methodologically, an applied mixed design was implemented in four phases: documentary diagnosis of task-based IPERC; semi-quantitative risk assessment and allocation of hierarchical controls; functional verification of critical barriers using defined criteria and frequencies; and before-after evaluation (6-12 months) through leading indicators (percentage of critical controls verified on time, quality of job safety analysis, closure of corrective actions) and lagging indicators (Total Recordable Incident Rate TRIR, Days Away, Restricted or Transferred DART, and high-potential incidents per 200,000 hours), aligned with ISO 45001/45002 and regulatory guidelines. The main contribution is a replicable model that demonstrates performance and directs resources toward barriers with the greatest effectiveness. Threats to validity such as underreporting, changes in task mix, and technological maturity of engineering aids are critically addressed and mitigated through record audits, segmentation by work front, and formal change management. In Latin American contexts, the proposal aligns with DS 024-2016-EM and SUNAFIL's IPERC





Manual, strengthening traceability and regulatory oversight. This approach not only enhances compliance but also fosters proactive risk governance, enabling organizations to anticipate failures and improve safety outcomes in complex mining environments. **Keywords:** IPERC Matrix; mining civil works; hierarchy of controls; critical controls; occupational risk management.

Introducción.

En el contexto ecuatoriano, la elaboración de una Identificación de Peligros, Evaluación y Control de Riesgos, IPERC, no solo responde a la necesidad técnica de gestionar los riesgos, sino también al cumplimiento de la normativa vigente en materia de seguridad y salud en el trabajo. Este instrumento se sustenta legalmente en el Decreto Ejecutivo N.º 255, que aprueba el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo; el Código del Trabajo, que establece las obligaciones del empleador respecto a la prevención de riesgos y protección de la salud de los trabajadores; y la Resolución ARCERNNR-013/2020, aplicable al sector minero y petrolero, que dispone la implementación de sistemas de gestión integrales que incluyan la identificación y evaluación de los riesgos laborales.

La industria minera concentra una de las mayores cargas de siniestralidad laboral, con patrones de exposición multirriesgo y eventos de alta severidad que demandan enfoques preventivos robustos y verificables (Cruz Ausejo et al., 2024). En este contexto, la Matriz IPERC como proceso sistemático de identificación de peligros, evaluación de riesgos y determinación de controles constituye un puente operativo entre la gestión estratégica del riesgo y la realidad del frente de trabajo, especialmente en las operaciones civiles dentro de minas (movimiento de tierras, estabilización de taludes, obras de concreto, vialidad interna). Su valor reside en articular decisiones con la jerarquía de controles,





priorizando eliminación y sustitución antes que medidas administrativas o equipo de protección personal, EPP, para maximizar la reducción del riesgo residual (NIOSH, 2024).

La pertinencia del tema se refuerza por la convergencia entre marcos internacionales y obligaciones regulatorias. La norma ISO 45001 exige un sistema de gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, SST, basado en riesgos, orientado a resultados y mejora continua; la ISO 31000 aporta principios y directrices transversales para integrar el tratamiento del riesgo en la toma de decisiones (ISO, 2018; ISO, 2018). En minería, la regulación peruana referente regional institucionaliza el IPERC como práctica permanente y trazable en las operaciones (Ministerio de Energía y Minas, 2016), mientras que lineamientos técnicos recientes estandarizan su ejecución y verificación (SUNAFIL, 2022). Para peligros de alta consecuencia, la gestión de controles críticos propuesta por la industria minera internacional complementa la IPERC al exigir evidencias de desempeño de las barreras que previenen eventos catastróficos (ICMM, 2015).

Metodológicamente, el estudio propuesto será aplicado con enfoque mixto secuencial: (I) diagnóstico documental de IPERC y registros operativos; (II) valoración de riesgos por tarea y asignación de controles conforme a la jerarquía; (III) implementación y verificación de controles críticos; y (IV) evaluación de impacto antes-después (6-12 meses) en indicadores de frecuencia, severidad, cumplimiento y eventos de alto potencial, de acuerdo con los principios de ISO 45001 e ISO 31000 (ISO, 2018). La pregunta que orienta la investigación es: ¿en qué medida la aplicación sistemática de la Matriz IPERC, integrada con jerarquía de controles y





gestión de controles críticos, reduce los incidentes y mejora el cumplimiento de controles en operaciones civiles en minas durante un periodo de seguimiento operativo? La explicación práctica es que una IPERC trazable y verificada disminuye la ocurrencia de eventos y eleva la eficacia de las barreras, alineando el desempeño en campo con las exigencias normativas y de gestión.

Marco Teórico.

La Matriz IPERC se concibe como un proceso sistemático para identificar peligros, valorar riesgos y determinar controles, integrando la jerarquía de controles con la toma de decisiones operativas en campo. Este enfoque combina escalas de probabilidad y consecuencia para priorizar riesgos y, en coherencia con la jerarquía, orientar la selección de medidas desde la eliminación y sustitución hasta los controles de ingeniería, administrativos y el uso de EPP, con el objetivo de reducir el riesgo residual a niveles aceptables (NIOSH, 2024; OSHA, 2023). En operaciones civiles dentro de minas como excavaciones, movimiento de tierras, estabilización de taludes y obras de concreto la IPERC permite articular peligros típicos de construcción (caídas, atrapamientos, colapsos de zanja) con peligros propios de la minería (inestabilidad geotécnica, polvo respirable, interacción hombre - maquina), configurando matrices por tarea que se actualizan con los cambios operacionales. Este fundamento técnico se refuerza con evidencia reciente que ratifica la superioridad de medidas de ingeniería y de eliminación frente a controles administrativos o EPP, cuando es factible (Sehgal, 2021; Ajslev et al., 2022).

En la base conceptual del IPERC subyace el marco de gestión del riesgo de ISO 31000:2018, que establece principios (integración, personalización,





dinamismo) y un proceso iterativo de comunicación, identificación, análisis, evaluación, tratamiento y mejora continua. Este marco dialoga con ISO 45001:2018, que organiza un sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional orientado a resultados, indicadores y acciones correctivas, haciendo del riesgo el eje de la planificación (ISO, 2018a; ISO, 2018b). Para el caso de obras civiles en minas, la “trazabilidad” del riesgo desde el peligro hasta la evidencia de desempeño del control es crucial, pues las condiciones del frente cambian con rapidez (profundidad de zanja, humedad, tránsito de equipo pesado). Por ello, la literatura reciente recomienda incorporar indicadores líderes (Permisos de Trabajo, PT, calidad del análisis de seguridad en el trabajo, AST, inspecciones, cierres de acciones) junto con indicadores rezagados (frecuencia, severidad) para verificar la eficacia real de los controles (ISO, 2018a; NIOSH, 2024).

La dimensión legal en América Latina ofrece un soporte claro a la IPERC. En Perú, el DS 024-2016-EM institucionaliza la evaluación permanente de riesgos y la adopción de controles, exigiendo matrices actualizadas y participación de trabajadores y supervisión competente; a su vez, la Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral del Perú, SUNAFIL, publicó en 2022 un manual estandarizado para identificar peligros, evaluar riesgos y determinar controles, incluido el IPERC continuo y por tarea (Ministerio de Energía y Minas, 2016; SUNAFIL, 2022). En materia de construcción clave en obras civiles mineras las guías de Administración de Seguridad y Salud Ocupacional, OSHA, para excavaciones insisten en sistemas de protección (taludes, apuntalamientos y cajas de zanja) y en la designación de persona competente, medidas que se integran directamente a la IPERC como controles de ingeniería priorizados (OSHA, 2015; OSHA, 2023). Esta convergencia normativa e internacional habilita





una aplicación coherente del IPERC, tanto para cumplir la ley como para elevar el desempeño operativo.

La teoría de “controles críticos” propuesta por la industria minera internacional complementa la IPERC al focalizar en barreras clave que previenen eventos de alta consecuencia (p. ej., colapso de talud, interacción hombre máquina, caída de altura). Su lógica es identificar eventos no deseados de mayor severidad, definir controles preventivos y mitigadores “críticos”, y someterlos a verificación de desempeño, no solo a verificación documental (ICMM, 2015). Integrar IPERC y gestión de controles críticos es particularmente pertinente en obras civiles, donde la complejidad de interfaces (contratistas, equipos móviles, cambios de diseño) eleva la exposición a fallas catastróficas si los controles no funcionan “cuando se les necesita”. Estudios recientes de riesgos en minería y construcción subrayan la utilidad de métodos multicriterio y enfoques resilientes para jerarquizar factores de alto riesgo (Lin et al., 2023; Baghaei Naeini et al., 2024).

Desde una aproximación teórica aplicada, el IPERC efectivo en obras civiles mineras combina: (a) desagregación por tarea y condición específica del frente (zanja >1,5 m, excavación en suelos inestables, proximidad a servicios enterrados); (b) criterios explícitos de aceptabilidad de riesgo y de escalamiento cuando el riesgo residual no cumple tolerancia; (c) alineamiento con la jerarquía de controles y priorización de ingeniería; y (d) verificación funcional de los controles críticos vinculada a indicadores líderes. Esta arquitectura permite abordar tanto riesgos frecuentes y moderados (deslizamientos menores, proyecciones de partículas) como riesgos de baja probabilidad y alta consecuencia (fallas geotécnicas, atrapamientos), que han estado presentes en incidentes recientes durante





megaproyectos de infraestructura minera, donde la presión por cronogramas puede deteriorar las prácticas preventivas si no hay trazabilidad de controles (Reuters, 2025). En resumen, la IPERC, articulada con estándares de la Organización Internacional de Normalización, ISO, y la gestión de controles críticos, proporciona un andamiaje teórico-práctico para sostener decisiones de prevención en contextos de alta variabilidad y severidad potencial.

Metodológicamente, el artículo que sustenta este marco teórico propondrá un diseño aplicado y mixto: revisión documental de IPERC vigentes (línea base y por tarea), mapeo de peligros y valoración semicuantitativa, selección y prueba de controles priorizados por jerarquía, y evaluación antes-después (6-12 meses) del desempeño mediante indicadores de seguridad y de cumplimiento.

Estado del Arte

El estado del arte sobre la aplicación de la Matriz IPERC en operaciones civiles dentro de minas converge en tres ejes: evidencia sobre la magnitud del problema, marcos y métodos de gestión del riesgo, y lecciones operacionales para controles críticos. La literatura reciente confirma que la minería mantiene una alta carga de lesiones y fatalidades, con patrones multirriesgo que se intensifican durante fases constructivas y de movimiento de tierras; una revisión exploratoria de 2024 subraya la persistencia de factores laborales y organizacionales asociados a accidentes y días perdidos (Cruz Ausejo et al., 2024). En paralelo, documentos técnicos de fiscalización laboral estandarizan el IPERC como proceso trazable por puesto y tarea con actualización periódica y evidencia





de participación de trabajadores, lo que habilita comparabilidad y auditoría (SUNAFIL, 2022).

Sobre el andamiaje conceptual, los autores coinciden en que el IPERC operacionaliza principios de gestión del riesgo consagrados por ISO 31000:2018 (integración, personalización, dinamismo) y por el enfoque de sistema de gestión de seguridad y salud de ISO 45001:2018 (planificación basada en riesgos, desempeño de mejora continua). En términos prácticos, la matriz une identificación, análisis, evaluación y tratamiento con la verificación de la eficacia de los controles en campo (ISO, 2018a; ISO, 2018b). La traducción de estos principios al contexto de obra civil minera frentes dinámicos, interferencias de equipos y subcontratistas exige que la evaluación de riesgo se mantenga viva (“IPERC continuo”) y que los criterios de aceptabilidad sean explícitos y accionables, tema recurrente en estándares y guías (ISO, 2018a; SUNAFIL, 2022).

En la selección de medidas, la jerarquía de controles se mantiene como consenso disciplinar: eliminación y sustitución anteceden a la ingeniería, las medidas administrativas y el uso o designación de EPP se consideran menos eficaces por depender del comportamiento humano (NIOSH, 2024; OSHA, 2023). Estudios conceptuales recientes la emplean para visualizar y evaluar el impacto del trabajo de coordinación en seguridad, reforzando su utilidad para priorizar decisiones y comunicar expectativas de desempeño (Ajslev et al., 2022). Esta literatura sostiene que la “eficacia esperada” de los controles debe guiar la asignación de recursos y la verificación en sitio, algo especialmente crítico cuando el riesgo de alta consecuencia está presente en las interfaces construcción minería (Ajslev et al., 2022; NIOSH, 2024).





Para peligros de gran severidad, la gestión de Controles Críticos, CCM, del International Council on Mining & Metals - Consejo Internacional de Minería y Metales, ICMM, constituye el marco dominante, proponiendo identificar “eventos no deseados” de alto impacto, definir barreras preventivas y mitigadoras críticas, y someterlas a verificación funcional sistemática (ICMM, 2015). La literatura y reportes corporativos muestran su adopción para riesgos como interacción vehículo-peatón o exposición a partículas respirables, con desarrollo de estándares, criterios de verificación, CCV, y metas de desempeño (ICMM, 2015; Teck Resources Limited, 2020). En la práctica, IPERC y CCM se integran: la matriz prioriza y asigna, mientras CCM da profundidad a las barreras de mayor consecuencia y a su monitoreo, cerrando la brecha entre el “control en papel” y el “control que funciona cuando se necesita”.

El corpus específico sobre operaciones civiles mineras destaca el riesgo de excavaciones y zanjas, donde las fallas geotécnicas y colapsos siguen siendo causas de fatalidad; la guía de OSHA exige sistemas de protección (taludes, apuntalamientos, cajas de zanja) y competencias técnicas, con umbrales claros p. ej., protección obligatoria a partir de 1,5 m de profundidad que se traducen directamente en controles de ingeniería priorizados en la IPERC (OSHA, 2015; OSHA, 2018). En paralelo, la investigación metodológica ha avanzado hacia modelos multicriterio para priorizar factores de riesgo en excavación (p. ej., cargas estáticas y dinámicas, asentamiento de tuberías), aportando base cuantitativa a la priorización de controles (Lin et al., 2023). Estas contribuciones fortalecen la trazabilidad desde el peligro hasta la decisión, útil para tareas recurrentes como zanjas, vaciados de concreto y estabilización de taludes.





Otro foco emergente en el estado del arte es la interacción persona-equipo móvil en minas, que durante obras civiles concentra incidentes de alto potencial. Una revisión sistemática en 2023 sintetizó avances en sistemas de detección y evitación de colisiones basados en visión computacional para minas subterráneas, clasificando enfoques y señalando retos de despliegue (Imam et al., 2023). Estos hallazgos apuntalan la inclusión, dentro de la IPERC, de controles de ingeniería (p. ej., detección de proximidad, segregación física y gestión de rutas) como barreras críticas con verificación funcional, coherentes con los principios de jerarquía de controles y CCM (Imam et al., 2023; ICMM, 2015).

Finalmente, el fundamento legal y de política pública refuerza la exigibilidad del IPERC. En Perú referente regional el DS 024-2016-EM obliga a la evaluación permanente de riesgos, la implementación de controles y la participación de trabajadores; y la guía de SUNAFIL (2022) estandariza criterios metodológicos y responsabilidades. En términos de gobernanza, ISO 45001 alinea el sistema de gestión con metas e indicadores, y la literatura reciente sugiere articular indicadores líderes (calidad del ATS, verificación de controles, cierre de acciones) con rezagados (frecuencia, severidad) para evaluar impacto real (ISO, 2018a; SUNAFIL, 2022). En suma, los autores coinciden en que la eficacia de la IPERC depende de su integración con jerarquía de controles, CCM y verificación en campo, persistiendo como brecha la medición robusta del desempeño de barreras críticas en obras civiles mineras a lo largo del tiempo.





Desarrollo.

La minería es considerada una de las actividades económicas de mayor riesgo en el mundo, no solo por las condiciones geológicas y ambientales donde se desarrolla, sino también por la diversidad de actividades civiles que la complementan, tales como la construcción de accesos, cimentaciones, instalaciones eléctricas, obras de soporte y estructuras metálicas.

En Ecuador, la normativa en seguridad y salud ocupacional ha evolucionado para fortalecer la prevención de riesgos laborales. El Decreto Ejecutivo N.º 255 (2024) expide el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo y la Resolución Nro. ARCERNNR-013/2020, estableciendo el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Ámbito Minero.

Objetivo General

Analizar la aplicación de la Matriz IPERC en operaciones civiles dentro de minas, con el fin de identificar, evaluar y controlar los riesgos laborales, determinando su eficacia en la reducción de accidentes y en el cumplimiento de la normativa ecuatoriana de seguridad y salud en el trabajo.

Importancia y Planificación del IPERC en plataforma minera.

La Matriz IPERC se ha consolidado como la herramienta técnica de referencia en los sistemas de gestión de seguridad y salud ocupacional. Su aplicación permite no solo cumplir con la legislación vigente, sino también generar un enfoque preventivo que minimiza incidentes y enfermedades profesionales.





Presentar un desarrollo metodológico y operativo en obras civiles dentro de minas exige, ante todo, reconocer que el riesgo no es estático: las condiciones de la mina, excavaciones, zanja, tránsito de equipos, presencia de interferencias y cambios de diseño alteran continuamente la exposición y la eficacia de los controles. Por eso, el IPERC actualizado continuamente por tarea y frente resulta más pertinente que levantamientos esporádicos, y debe articularse con la jerarquía de controles priorizando eliminación y sustitución, seguidas de ingeniería, y recién después medidas administrativas y EPP (NIOSH, 2024; OSHA, 2023). Este orden no es cosmético: traduce la evidencia de que las barreras técnicas y de diseño, cuando son factibles, logran reducciones de riesgo más estables que las dependientes del comportamiento humano, un criterio particularmente crítico en la fase civil de proyectos mineros (Ajslev et al., 2022).

Operativamente, el proceso inicia con la desagregación de tareas (tareas manuales y mecánicas: excavar, entibar, encofrar y hormigonar, compactar, montar drenajes, estabilizar taludes, abrir y mantener vías internas), para cada una de las cuales se identifican peligros, mecanismos de daño y consecuencias plausibles, por ejemplo, atrapamiento por colapso de excavación, caída de altura en encofrados, atropello por equipo móvil, o exposición a polvo respirable y sílice. La literatura y las guías normativas sobre excavaciones obligan a instalar sistemas de protección (taludes en rampa, apuntalamientos, cajas de zanja) por encima de umbrales de profundidad y condiciones de suelo, controles que, en lenguaje IPERC, son medidas de ingeniería priorizadas y, cuando evitan eventos de alta consecuencia, controles críticos que deben verificarse funcionalmente, no solo documentalmente (OSHA, 2015; OSHA, 2023; ICMM, 2015).





Alcance, procesos y contexto (macro → específico)

El IPERC para una plataforma minera debe partir de un alcance claro que abarque los frentes civiles, mecánicos, eléctricos, incluyendo todas las fases relevantes del ciclo minero (exploración, explotación, beneficio y cierre) y a los actores involucrados (titulares, operadores, contratistas y subcontratistas). En Ecuador, el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el ámbito minero establece obligaciones de gestión, documentación y control para todas las fases, mientras que el Decreto 255/2024 fija requisitos generales de SST (Ministerio de Ambiente y Energía, 2020; Seguridad Ecuador, 2024).

ISO 45001 exige que la planificación considere el contexto de la organización, sus partes interesadas y los riesgos y oportunidades asociados, además de implementar procesos proactivos para identificar peligros en actividades rutinarias y no rutinarias, cambios planificados y potenciales emergencias (OnSafeLines, s.f.; Jesrik, 2024).

El régimen de lluvias y la humedad condicionan la estabilidad de taludes, la movilidad de equipos y la programación de izajes; por ello el mapa de procesos y tareas debe reflejar las energías presentes, secuencias operativas y fronteras de seguridad. La trazabilidad propuesta conecta proceso→tarea→peligro→riesgo→control→responsable→evidencia (INSST, 2022).

La calidad del IPERC depende de un equipo multidisciplinario: SSA, ingeniería civil/mecánica/eléctrica, operaciones, mantenimiento, supervisión de contratistas y representación del comité paritario. La normativa ecuatoriana exige servicios permanentes de SSA en minería y el





registro de profesionales competentes (Ministerio de Ambiente y Energía, 2020). ISO 45001 destaca liderazgo y participación activa de las personas trabajadoras en la identificación de peligros y oportunidades (Jesrik, 2024).

Plan de participación: recorridos, entrevistas a cuadrillas, revisión de incidentes y casi-incidentes, y sesiones de lecciones aprendidas, con evidencias documentales (INSST, 2022). Guías prácticas de MSHA para control de taludes, tránsito interno y transporte motorizado refuerzan criterios de campo (MSHA, s.f.; SafetyCulture, 2025).

Metodología y criterios (probabilidad, severidad, riesgo residual)

Se adopta matriz 5×5 con criterios observables: Probabilidad (exposición/frecuencia, historial de incidentes, eficacia de controles verificados) y Severidad (lesión personal, impacto operativo y ambiental). La metodología de ARL SURA permite granularidad 4×4/5×5/6×6 y distinguir riesgo inherente del residual (INSST, 2022).

Jerarquía de controles: eliminar → sustituir → ingeniería → administrativos → EPP (Advisera, 2021; INSST, 2022). La evidencia (procedimientos firmados, inspecciones, fotos de guardas, bloqueos, certificados, calibraciones) es esencial para la trazabilidad y auditoría (INSST, 2022).

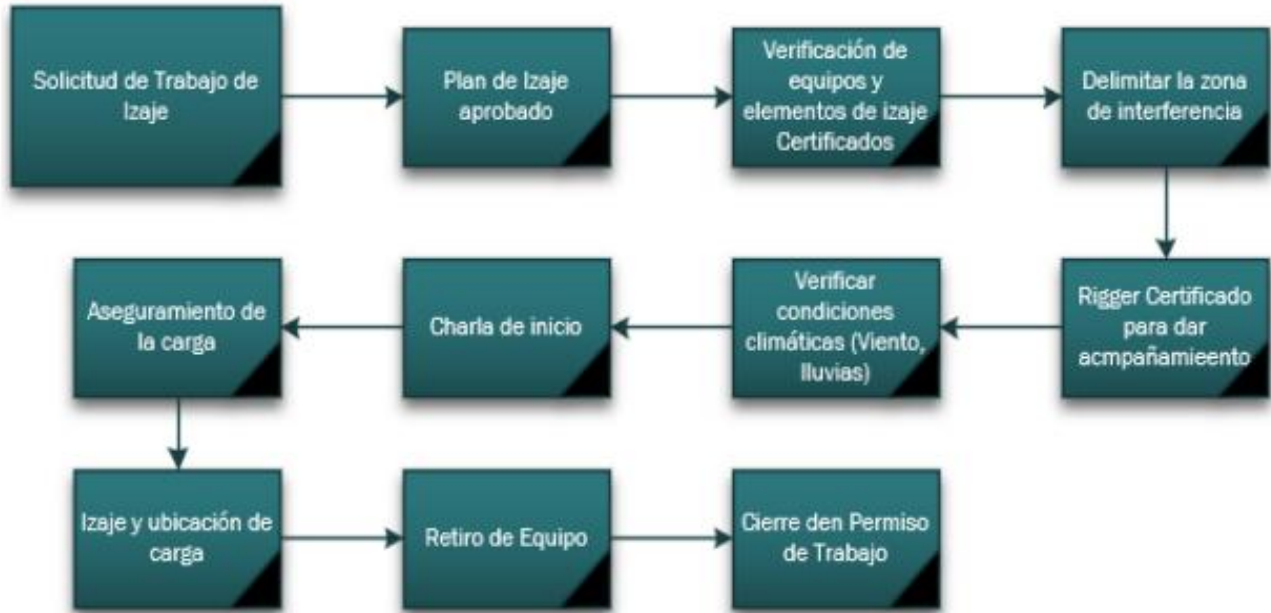




Matriz IPERC – Excavación (zanja 1.2 m drenaje Edificio A)

Tarea	Peligro	Consecuencia	P	S	Nivel	Controles existentes	Controles propuestos	Residual	Responsable
Izaje tanque 2 T (grúa RT)	Fallo de accesorio de izaje	Ca�da de carga/lesión grave	3	4	Alto	Accesorios certificados; inspección NDT; zona de exclusión; se�nalista	Renovar eslingas; doble verificación de shackles; checklist pre-uso	Moderado	Supervisor de Izaje
Izaje tanque 2 T (grúa RT)	Viento sobre límite	Pérdida de control/colisión	3	4	Alto	Anemómetro; límite 25 km/h; plan de izaje	Ventanas climáticas; anclaje adicional; STOP work	Moderado	Operador Grúa
Izaje tanque 2 T (grúa RT)	Puntos ciegos	Golpeado/atropello	2	3	Moderado	Spotter; radios pintados; alarma de reversa	Cámaras adicionales; balizamiento nocturno	Bajo	HSE Campo

Permiso de Izaje:

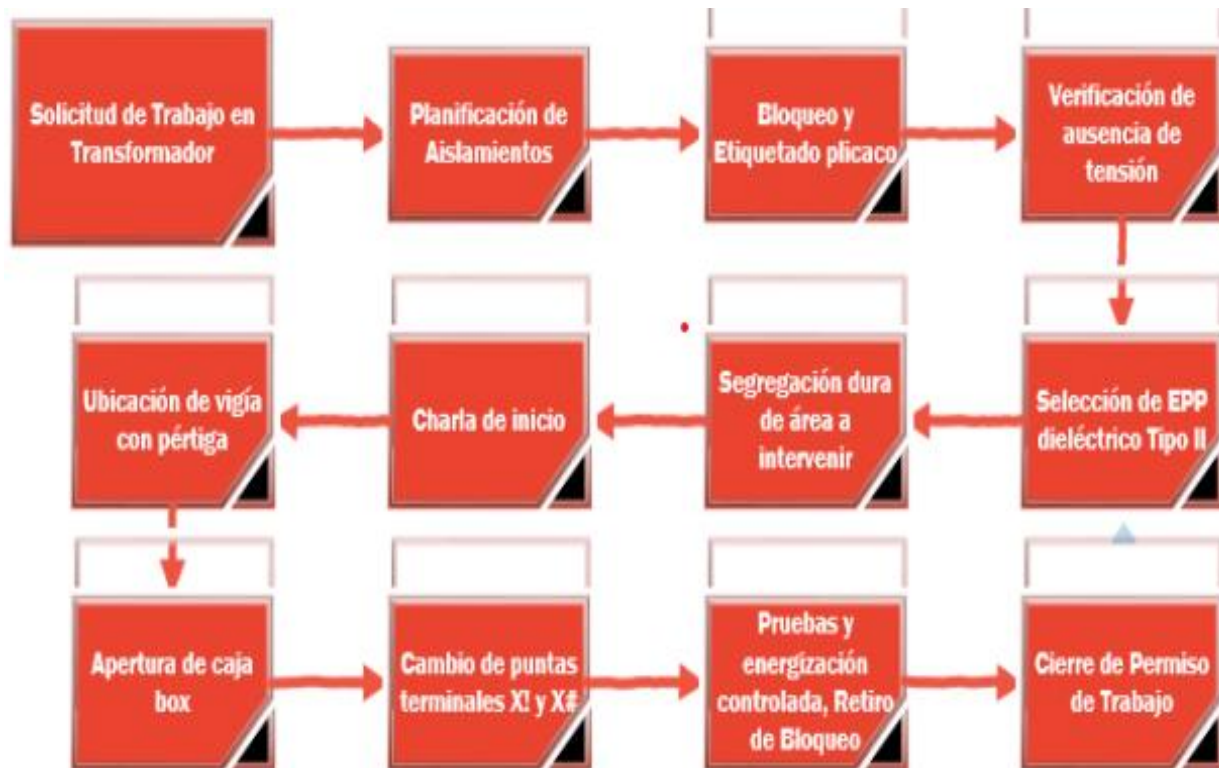




Matriz IPERC - Instalación de transformador (1 MVA, subestación norte)

Tarea	Peligro	Consecuencia	P	S	Nivel	Controles existentes	Controles propuestos	Residual	Responsable
Instalación transformador 1 MVA	Proximidad a partes energizadas	Choque eléctrico/fatalidad	3	5	Crítico	LOTO; verificación ausencia de tensión; barreras y distancias; observador	Refuerzo de barreras; aumento de distancias; EPP arc-rated superior	Alto	Supervisor Eléctrico
Instalación transformador 1 MVA	Arco eléctrico en pruebas	Quemaduras severas/daño crítico	2	5	Crítico	Análisis de arco; EPP arc-rated; herramientas aislantes	Ensayo fuera de horario con zona de exclusión ampliada. Tecnicos con experiencia	Alto	Supervisor Eléctrico
Instalación transformador 1 MVA	Movimiento/posicionamiento del equipo	Atrapamiento/golpeado	3	4	Alto	Plan de izaje/traslado; guía de maniobra; topes; zona de exclusión	Persnal Certificado; se�nalizaci�n extra; ensayo de recorrido	Moderado	Mecánico Senior

Permiso Eléctrico:





Matriz de Criterio – Probabilidad × Consecuencia (Severidad) = 5×5 (Mapa de calor)

P\S	1 Leve	2 Moderada	3 Seria	4 Grave	5 Crítica
1 Muy baja	1 Bajo	2 Bajo	3 Bajo	4 Bajo	5 Bajo
2 Baja	2 Bajo	4 Bajo	6 Moderado	8 Moderado	10 Moderado
3 Media	3 Bajo	6 Moderado	9 Moderado	12 Alto	15 Alto
4 Alta	4 Bajo	8 Moderado	12 Alto	16 Crítico	20 Crítico
5 Muy alta	5 Bajo	10 Moderado	15 Alto	20 Crítico	25 Crítico

Criterios observables: Probabilidad (exposición/frecuencia, historial, eficacia de controles verificados) y Severidad (lesión, impacto operativo, ambiental). Umbrales sugeridos: 1-5 Bajo; 6-10 Moderado; 11-15 Alto; 16-25 Crítico. Ajustables según política corporativa (INSST, 2022).

Base Legal

La base legal y de sistema de gestión refuerza esta arquitectura. ISO 45001:2018 exige planificar y operar con enfoque en riesgos, con indicadores que demuestren desempeño y mejora continua, mientras que ISO 31000:2018 provee principios y un proceso iterativo para identificar, analizar, evaluar y tratar el riesgo, con comunicación y monitoreo como hilos conductores (ISO, 2018a; ISO, 2018b). En el contexto latinoamericano, el DS 024-2016-EM institucionaliza la evaluación permanente de riesgos en minería y exige matrices IPERC actualizadas y trazables; a su vez, SUNAFIL





estandariza el método incluida la variante de IPERC continuo y las responsabilidades de implementación y verificación (Ministerio de Energía y Minas, 2016; SUNAFIL, 2022). Esta alineación norma-método permite que una matriz IPERC bien construida sea defendible en auditoría y, sobre todo, eficaz en campo.

Con ese marco, el primer bloque del desarrollo propone un procedimiento IPERC paso a paso aplicable a frentes civiles mineros. Primero, se levanta la línea base documental: matrices vigentes por tarea, análisis de trabajo seguro, Procedimientos Escritos de Trabajo Seguro, PETS, controles críticos definidos, registros de inspecciones y reportes de incidentes. Segundo, un equipo mixto supervisión, seguridad y jefatura de obra realiza observación planeada para validar peligros y asignar valores semicuantitativos de probabilidad y consecuencia (escala 1-5) coherentes con la política de aceptabilidad de riesgo del proyecto, evitando el automatismo de “copiar-pegar”. Tercero, se mapean controles por jerarquía, explicitando aquellos etiquetados como críticos para eventos de alta severidad (p. ej., colapso de talud, interacción hombre - maquina). Cuarto, se programa verificación funcional de controles críticos, pruebas, inspecciones específicas y criterios de desempeño y se establece un tablero de indicadores líderes (calidad de ATS, % de controles críticos verificados a tiempo, cierres de acciones) junto con indicadores rezagados (frecuencia, severidad, incidentes de alto potencial), en coherencia con ISO 45001 (ISO, 2018a; ICMM, 2015).

Para materializar ese paso a paso en un insumo operativo, la Tabla 1 sintetiza peligros frecuentes y mecanismos de daño en obras civiles mineras, con ejemplos de controles jerarquizados y referencias técnicas





que respaldan su selección. Este formato cumple dos funciones: guía la reflexión de campo evitando omisiones por sesgo de costumbre y documenta la lógica que vincula cada peligro con su control, lo que facilita auditorías y análisis posterior de desempeño. Nótese que la columna de “controles críticos” no es un simple listado, sino un recordatorio de que algunas barreras deben funcionar “cuando se las necesita” y, por ello, requieren verificación enfocada y medible (ICMM, 2015).

Tabla 1: Peligros frecuentes en obras civiles mineras, mecanismos de daño y controles jerarquizado.

Tarea/Frente	Peligro	Mecanismo de daño	Consecuencia plausible	Controles de ingeniería (priorizados)	Medidas administrativas/EPP	¿Control crítico?
Excavación de zanja > 1,2 m	Colapso de pared	Inestabilidad del suelo, cargas cercanas	Atrapamiento fatal o lesiones graves	Taludes en rampa según tipo de suelo; apuntalamiento; caja de zanja	Permisos de trabajo; persona competente; señalización; EPP	Si
Encofrado y hormigonado	Caída de altura	Pérdida de equilibrio en bordes	Trauma múltiple	Barandillas, redes, plataformas; puntos de anclaje certificados	Procedimientos, capacitación, líneas de vida; EPP	Si
Tránsito de equipo pesado	Atropello/interacción	Punto ciego del operador	Lesión grave/fatalidad	Segregación física, rutas unidireccionales, detección de proximidad	Control de velocidad, “spotters”, briefing; chalecos alta visibilidad	Si
Estabilización de talud	Desprendimiento de roca	Vibraciones, meteorización	Golpe/crush	Mallas, shotcrete, anclajes, bermas	Zonas de exclusión; inspecciones	Si
Corte/vibración	Exposición a sílice	Polvo respirable PM10/PM2.5	Silicosis a largo plazo	Sistemas húmedos, captación local; cabinas presurizadas	Rotación, vigilancia médica; respiradores	No (según análisis)

La Tabla 2 propone una escala ejemplo (1-5) para probabilidad y consecuencia y un esquema de priorización por producto ($R = P \times C$), con bandas de acción. ISO 31000 no prescribe escalas ni cifra umbrales; recomienda construir criterios adaptados al contexto organizacional, por eso se sugiere tratar la tabla como plantilla paramétrica a consensuar con la gerencia del proyecto y el comité de SST (ISO, 2018b; SUNAFIL, 2022).



**Tabla 2:** Escala semicuantitativa de valoración del riesgo y bandas de acción

Dimensión

Dimensión	1	2	3	4	5
Probabilidad	Rara	Improbable	Posible	Probable	Casi cierta
Consecuencia	Leve (primeros auxilios)	Moderada (DNP < 3 días)	Grave (DNP ≥ 3 días)	Muy grave (lesión incapacitante)	Catastrófica (fatal/múltiple)
Banda (R = P×C)	1–5: Aceptable con control de rutina	6–10: Mejorable con plan	11–15: Prioridad alta (ingeniería/E&S)	16–20: Prioridad inmediata (críticos)	21–25: Detener y rediseñar

La verificación funcional es el punto neurálgico que separa “control en papel” de “control que funciona”. Para interacción persona - equipo móvil, la evidencia reciente sintetiza avances en detección y prevención de colisiones con visión por computador y sensores, pero también advierte limitaciones (ambiente polvoriento, iluminación variable, latencia), de modo que el control de ingeniería debe integrarse con diseño de rutas, segregación y disciplina operativa, además de pruebas periódicas para confirmar desempeño (Imam et al., 2023). En términos IPERC, esto implica convertir cada control crítico en una aseveración verificable (p. ej., “la zona ciega se cubre en un X % de escenarios” o “la caja de zanja instalada cumple resistencias y claro útil”), con frecuencia y método de verificación definidos en el plan de trabajo (Imam et al., 2023; ICMM, 2015).

Este primer bloque también debe integrar indicadores que midan tanto esfuerzo como resultado. Entre los líderes, el porcentaje de controles críticos verificados en plazo, la calidad de ATS (puntuaciones de completitud y pertinencia), el cierre de acciones de inspección y la cobertura de capacitación en tareas de alto riesgo. Entre los rezagados, la frecuencia de lesiones registrables, el índice de severidad y los incidentes





de alto potencial. La literatura de accidentes en minería recuerda que, aun con protocolos, los factores organizacionales y del trabajador siguen influyendo en la siniestralidad; por ello, los indicadores deben permitir retroalimentación rápida hacia la planificación y el rediseño de controles (Cruz Ausejo et al., 2024). Este bucle de aprendizaje es coherente con ISO 45001 y con las guías de OSHA sobre gestión basada en riesgos (ISO, 2018a; OSHA, 2020).

Finalmente, para mantener la trazabilidad clave en auditorías regulatorias y de estándar cada matriz IPERC debe vincular peligros → controles → evidencias de desempeño y registros de verificación. En obras civiles, donde contratistas y subcontratistas rotan, la estandarización que propone SUNAFIL para IPERC por tarea, combinada con el enfoque de controles críticos del ICMM, ayuda a sostener consistencia entre frentes y turnos, y a demostrar diligencia en caso de incidentes (SUNAFIL, 2022; ICMM, 2015). Con esta estructura, el proyecto está en posición de pasar en las siguientes partes del desarrollo del diseño y la preparación al despliegue y la evaluación antes-después, comparando línea base y seguimiento en 6-12 meses.

Despliegue operativo de la IPERC en obras civiles mineras: gobierno, contratación, verificación y aprendizaje

La eficacia de la IPERC en obras civiles mineras depende menos de la “matriz” como documento y más de su despliegue operativo: cómo se gobierna el riesgo, cómo se contrata y controla a los contratistas, cómo se verifican los controles (especialmente los críticos) y cómo se aprende a partir de la evidencia para mejorar.





Gobierno del riesgo y gestión contractual de la IPERC

En esta segunda parte se propone un modelo práctico para llevar la IPERC del papel al frente de obra, alineado con ISO 45001 (cláusula 8.1.4 sobre compras, contratistas y tercerización) e ISO 45002 (guía de implementación), así como con la gestión de controles críticos recomendada por la industria minera internacional (ICMM). La premisa es clara: sin verificación funcional y sin gobernanza del ciclo compra - ejecución - verificación - mejora, la IPERC se degrada a un checklist (ISO, 2018; ISO, 2023; ICMM, 2015).

- Gobierno del riesgo:

De los compromisos a la evidencia. ISO 45001 exige planificar y controlar operaciones considerando riesgos y oportunidades, y aplicar controles a tercerización, compras y contratistas (8.1.4), de modo que los criterios de seguridad formen parte de los pliegos y de la selección (ISO, 2018). ISO 45002 complementa con pautas para operacionalizar estos requisitos: clarificar roles, establecer criterios de desempeño, diseñar indicadores y rutinas de seguimiento coherentes con la jerarquía de controles y con el contexto de la obra (ISO, 2023). En minería, donde las interfaces entre varias cuadrillas y equipos móviles elevan la exposición, este gobierno debe traducirse en criterios verificables que obliguen a eliminar o sustituir peligros cuando sea factible y, en su defecto, priorizar controles de ingeniería por encima de administrativos y EPP (NIOSH, 2024).

- Contratación y control de contratistas:

Integrar la IPERC al contrato. La selección de contratistas en obras civiles debe incorporar criterios de Seguridad - Salud y Ambiente, SSA,





vinculantes: plan de IPERC por tarea, evidencia de controles críticos relevantes (p. ej., protección de zanjas, segregación de rutas, detección de proximidad), programas de capacitación y competencias de “persona competente”, además de indicadores de desempeño histórico. ISO 45001 indica que la organización “establece, implementa y mantiene procesos para controlar la compra de productos y servicios” con impacto en SST, y extiende esos controles a contratistas y subcontratistas (8.1.4) (ISO, 2018). Las guías de implementación y fuentes técnicas subrayan que estos requisitos deben bajar al contrato (cláusulas técnicas, criterios de homologación, penalidades por incumplimiento) y al control en obra (inducción específica por tarea, inspecciones focalizadas, verificación de competencias) (ISO, 2023; Auditor Training Online, 2022). En jurisdicciones como Perú, el marco legal exige IPERC permanente y participación de trabajadores, y SUNAFIL ha estandarizado la metodología, lo que favorece la comparabilidad entre contratistas (MINEM, 2016; SUNAFIL, 2022).

Verificación funcional de controles críticos y planificación de la verificación

- Verificación funcional de controles críticos:

Del control “en papel” al control “que funciona”. El enfoque de Controles Críticos del ICMM propone identificar los “eventos no deseados” de alta consecuencia (colapso de zanja, caída de altura, interacción vehículo-peatón), mapear barreras preventivas y mitigadoras, y someterlas a verificaciones de desempeño con criterios claros y frecuencias definidas (ICMM, 2015). En obras civiles, la protección de excavaciones (taludes, apuntalamientos, cajas de zanja) y la gestión de interacción persona-equipo son controles típicamente críticos que requieren pruebas y





mediciones, no solo registros porque la severidad potencial es alta (OSHA, 2015; ICMM, 2015). El valor a nado de integrar CCM a la IPERC es doble: fuerza un lenguaje operativo (“ qu  debe funcionar?,  c mo medimos que funciona?,  con qué frecuencia?”) y habilita indicadores líderes (porcentaje de controles críticos verificados a tiempo; hallazgos por verificación) que predicen desempeño antes del accidente (ICMM, 2015).

- Plan de verificación:

Diseño práctico. La Tabla 3 propone un plan tipo para cinco controles críticos frecuentes en obras civiles mineras, con su método de verificación, frecuencia, evidencia y responsable. El diseño sigue la jerarquía de controles, priorizando ingeniería, y liga cada control a un KPI líder para gestión. Este esquema se alinea con ISO 45001/45002 (planificación, control operacional, evaluación de desempeño) y con el enfoque de CCM (ICMM, 2015; ISO, 2023).

Tabla 3: Plan de verificación de controles críticos en obras civiles mineras (ejemplo)

Control crítico	Método de verificación funcional	Frecuencia	Evidencia requerida	KPI líder asociado	Rol responsable
Protección de zanjas (>1,5 m): salud, apuntalamiento o caja	Inspección con check de capacidad/condición; medición de ángulos y claros útiles	Diario por turno	Lista de verificación firmada; fotos con fecha y cota	% de zanjas protegidas y verificadas/total	“Persona competente” y supervisor de obra
Segregación de rutas y zonas de exclusión	Recorrido con mapa; verificación de barreras físicas y se�nal�tica	Semanal	Plano de rutas actualizado; registros de cierre de brechas	% de rutas segregadas sin interferencias	Jefe de seguridad y mantenimiento de vías
Detección de proximidad en equipos móviles	Prueba funcional (objetivo simulado); revisión de registros/sensores	Quincenal	Registro de test y calibración; reporte de fallas	% de equipos con prueba funcional vigente	Mantenimiento de flota y seguridad
Protección perimetral en bordes de losa/encofrados	Inspección física de barandillas y puntos de anclaje	Diario	Check de instalación; certificados de anclaje	% de frentes con resguardo conforme	Capataz y supervisor de seguridad
Control de	Observación en	Diario	Bitácora de	% de tareas	Supervisor





polvo/sílice (humectación y captación)	tarea; lectura de caudal/boquillas ; revisión de bitácora	riego/captación; fotos	húmedas verificadas	de operaciones y SSA
---	---	------------------------	---------------------	----------------------

Nota. Ejemplo adaptado a jerarquía de controles; la “criticidad” debe confirmarse por análisis de riesgo específico. Referencias: ISO 45001/45002; ICMC CCM; OSHA (zanjas).

- Digitalización razonable: datos mínimos para aprender.

La verificación debe generar datos útiles (no redundantes): fecha, frente, tarea, control verificado, condición (aprobado/no conforme), acción correctiva y cierre. Con estos mínimos, el equipo puede construir tableros semanales: número de controles críticos verificados a tiempo por frente, tendencias de no conformidades por tipo de control, y relaciones entre verificación y ocurrencia de incidentes de alto potencial. ISO 45002 enfatiza la importancia de convertir datos en mejora, y NIOSH subraya que los controles de ingeniería son la palanca principal para reducir exposición, por lo que deben monitorearse con prioridad (ISO, 2023; NIOSH, 2024, 2024b). Para interacción hombre - maquina, la evidencia sugiere que los sistemas de detección de proximidad y ayudas tecnológicas reducen eventos, aunque su desempeño depende de condiciones ambientales y de la integración con diseño de rutas y disciplina operativa; de ahí la necesidad de pruebas funcionales periódicas (Bellanca & Boldt, 2019; NIOSH, 2019).

Desempeño, aprendizaje organizacional y coherencia contractual-operativa

- Indicadores y metas: líderes + rezagados.

Un tablero balanceado integra líderes (cumplimiento de verificación de controles críticos, calidad del ATS por tarea, % de cierres de acciones en plazo) y rezagados (TRIR, índice de severidad, incidentes de alto potencial).





ISO 45001 exige evaluación del desempeño (cláusula 9), e ISO 45002 aporta ejemplos prácticos para definir indicadores útiles (ISO, 2018; ISO, 2023). La transparencia en reportes y el benchmarking con datos sectoriales ayudan a contextualizar metas: los informes de desempeño en seguridad del ICMM muestran que, pese a avances, persisten fatalidades, especialmente asociadas a equipos móviles y trabajos temporales de construcción, reforzando el foco en controles críticos y verificación (ICMM, 2024, 2025).

- Investigación, aprendizaje y gestión de cambio, (MOC).

Ningún sistema evita todos los incidentes; por ello, ISO 45001 demanda gestión de no conformidades e incidentes con acciones correctivas y verificación de eficacia (cláusula 10). Para obras civiles mineras, es conveniente adoptar métodos de análisis causal que conecten fallas de barreras con tareas específicas (p. ej., bow-tie y análisis de barreras), aprovechando guías del Energy Institute/CCPS (2018) para mejorar el diseño y prueba de controles críticos. Cuando se cambia un método constructivo, una secuencia o un diseño (p. ej., nueva geometría de zanja o cambio de equipo), un MOC formal debe gatillar IPERC actualizado, redefinir la criticidad y ajustar el plan de verificación (Energy Institute & CCPS, 2018; ISO, 2023).

Coherencia contractual - operativa: matriz de trazabilidad.

Para cerrar la brecha entre lo pactado y lo ejecutado, la Tabla 4 propone una matriz de trazabilidad que vincula requisitos contractuales con prácticas de control operacional y verificación. Este puente es crucial: muchas no conformidades derivan de contratos que no especifican





controles o de verificaciones que no alcanzan a los eventos de mayor severidad.

Tabla 4: Trazabilidad de requisitos SSA a prácticas de obra y verificación

Requisito contractual SSA	Práctica de control operacional	Verificación/evidencia	Relación con IPERC/CCM
IPERC por tarea validado antes de iniciar	Desagregación por tarea; jerarquía aplicada	Aprobación de IPERC; registro de cambios (MOC)	Base para identificar controles críticos
Protección de excavaciones descrita por tipo de suelo	Taludes/apuntalamientos/ cajas según norma	Check diario y fotos georreferenciadas	Control crítico con CCV y frecuencia
Gestión de interacción persona-equipo	Rutas segregadas; PDS en equipos clave	Prueba funcional quincenal; registro de fallas	Barrera preventiva prioritaria
Competencias de “persona competente”	Designación y roles visibles en frente	Registro de inducción y acreditaciones	Calidad de ejecución y supervisión
Indicadores líderes/rezagados y metas	Tablero semanal con brechas y acciones	Cierres en plazo y eficacia postación	Mejora continua (ISO 45001/45002)

Nota. Ejemplo orientativo; debe ajustarse al contexto del proyecto y a las obligaciones legales locales (p. ej., DS 024-2016-EM y Manual IPERC SUNAFIL en Perú).

- Consideraciones legales y de fiscalización.

En Perú referente regional el DS 024-2016-EM exige IPERC permanente, participación de trabajadores y gestión documentada del riesgo; SUNAFIL publicó en 2022 un manual estandarizado para IPERC (MINEM, 2016; SUNAFIL, 2022). Además, el reglamento ha sido actualizado (2023-2024) para reforzar obligaciones y coherencia con prácticas actuales (MINEM, 2024; Rubio Leguía Normand, 2023). Estas exigencias respaldan auditorías y acciones de fiscalización que demandan evidencia trazable de controles





y verificación exactamente lo que el modelo propuesto estructura (MINEM, 2016; SUNAFIL, 2022).

En síntesis, el despliegue operativo de la IPERC en obras civiles mineras vive en cuatro pilares:

- I. gobierno del riesgo con criterios verificables y jerarquía efectiva;
- II. contratación que incorpora IPERC, controles críticos e indicadores;
- III. verificación funcional sistemática de barreras críticas con datos útiles;
- IV. aprendizaje disciplinado con investigación causal y MOC.

La combinación de ISO 45001/45002, CCM del ICMM, guías OSHA y lineamientos locales ofrece un andamiaje suficiente para sostener prácticas que reduzcan incidentes y fortalezcan el cumplimiento. Los siguientes apartados profundizarán la implementación en campo y la evaluación antes - después con resultados y análisis estadístico.

Implementación en campo y evaluación antes - después (6 - 12 meses): diseño de medición, análisis y resultados esperados

Indicadores líderes/rezagados, fórmulas y criterios de medición

Para demostrar impacto real de la IPERC en obras civiles mineras es indispensable pasar de la “conformidad documental” a la medición estandarizada de desempeño con denominadores consistentes y métodos estadísticos apropiados. La estrategia recomendada combina: (a) definición de indicadores líderes y rezagados con fórmulas explícitas; (b) un diseño





antes - después (6 - 12 meses), preferible con serie temporal o control concurrente si es viable; y (c) análisis de tasas con modelos de conteo (Poisson o binomial negativa) para comparar periodos y estimar razones de tasas con intervalos de confianza (ISO, 2018; ISO, 2023; Taylor et al., 2023). Esta aproximación se alinea con la cláusula 9 de ISO 45001 (evaluación del desempeño) y la guía de implementación ISO 45002, que insisten en indicadores útiles, revisión por la dirección y mejora continua basada en evidencia.

En términos de indicadores rezagados, se propone utilizar el TRIR o Tasa Total de Incidentes Registrables y el DART o Días de Ausencia, Restricciones o Traslados, calculados con la base estándar de 200 000 horas-hombre para anualizar tasas y permitir comparaciones: $\text{Incidencia} = (\text{casos} \times 200\ 000) \div \text{horas trabajadas}$. OSHA especifica esta base porque equivale a 100 personas trabajando 40 horas por semana durante 50 semanas, lo que facilita la estandarización anual de las tasas (OSHA, 2016; OSHA, 2025). En paralelo, los incidentes de alto potencial, HiPo, deben monitorearse como tasa por 200 000 horas para reflejar riesgos de alta severidad, alineados con las prácticas sectoriales de reporte y benchmarking publicadas por ICMM en 2024-2025 (OSHA, 2025; ICMM, 2025).

Los indicadores líderes predictivos miden la calidad del proceso: porcentaje de controles críticos verificados en plazo (según plan CCM), calidad del ATS/permiso por tarea, y porcentaje de cierres de acciones en plazo. ISO 45002 incentiva su uso, y la literatura reciente sobre efectividad de intervenciones en SST subraya que los indicadores de proceso robustos se asocian con mejores resultados de seguridad, especialmente cuando se





priorizan controles de ingeniería (ISO, 2023; Vitranó et al., 2024). En minería, NIOSH y estudios de proximidad/detección de colisiones remarcan que el desempeño de estas barreras depende tanto del entorno (polvo, iluminación) como de pruebas funcionales periódicas, de ahí que la verificación (pasó/no pasó) y su oportunidad sean métricas críticas (Carr et al., 2020).

Para ordenar el despliegue de medición, la Tabla 5 resume definiciones, fórmulas y fuentes de referencia. Esta estructura permite asegurar comparabilidad entre frentes y contratistas, evitando ambigüedades en el cómputo de casos y en el denominador (horas trabajadas).

Tabla 5: Definiciones operativas y fórmulas de indicadores de desempeño en obras civiles mineras

Indicador	Definición	Fórmula	Denominador	Fuente/guía
TRIR	Casos registrables por 200 000 horas	$(\text{Casos OSHA } 300/300A \times 200\,000) \div \text{horas trabajadas}$	Horas totales en periodo	OSHA ITA; aclaración sobre 200 000 horas
DART	Casos con días perdidos/restricción/traslado por 200 000 horas	$(\text{Casos DART} \times 200\,000) \div \text{horas trabajadas}$	Ídem	OSHA ITA
HiPo rate	Incidentes de alto potencial por 200 000 horas	$(\text{HiPo} \times 200\,000) \div \text{horas trabajadas}$	Ídem	Práctica sectorial (ICMM)
Verificación de CC	% de controles críticos verificados en plazo	$(\text{CC verificados en plazo} \div \text{CC planificados}) \times 100$	CC planificados	ISO 45002; plan CCM
Calidad ATS	Puntuación de completitud/pertinencia del ATS	Escala 0–100 definida por checklist	Nº de ATS auditados	ISO 45002

Nota. Las definiciones de TRIR/DART siguen OSHA; la base 200 000 estandarización anualizada. La métrica HiPo debe definirse internamente y reportarse a tasa para comparabilidad. CC: controles críticos. ATS: Análisis de Trabajo Seguro.





Diseño de evaluación antes - después y plan de datos/garantía de calidad

Diseño de evaluación. El modelo mínimo es antes–después con horizonte de 6–12 meses por fase. Idealmente, se usa serie temporal mensual (≥ 6 puntos por fase) para mejorar potencia y permitir regresión segmentada; si existe un frente comparable sin intervención (o implementación diferida), se puede aplicar un control concurrente (cuasi - experimental) con diferencia en diferencias. La literatura metodológica reciente recomienda modelar conteos de eventos (lesiones, HiPo) con regresión Poisson o binomial negativa cuando exista sobre dispersión, ajustando por horas trabajadas y otros confusores (Taylor et al., 2023). En ausencia de control, un análisis de razón de tasas (RR) antes vs. después con IC del 95 % es un estimador transparente y defendible (Kudrna et al., 2022).

Plan de datos y calidad. Se deben consolidar las horas trabajadas por frente/contratista y por mes para un denominador exacto; revisar consistencia de registros OSHA 300/300A (o su equivalente local) y estandarizar la clasificación de eventos (p. ej., qué se considera HiPo) antes del corte de datos. NIOSH ofrece herramientas de visualización y puros de referencia que pueden orientar el análisis descriptivo y la presentación de tendencias, mientras que el portal minero de NIOSH permite contextualizar tasas respecto de series históricas (NIOSH-WHC; NIOSH Mining charts).

Ejemplo de cálculo. Si en el semestre “línea base” se registran 6 casos OSHA con 250 000 horas y, en el semestre “seguimiento”, 3 casos con 260 000 horas, las tasas serían:





$$TRIR_0 = (6 \times 200\,000) / 250\,000 = 4,8; TRIR_1 = (3 \times 200\,000) / 260\,000 = 2,31.$$

La razón de tasas (RR) sería $\approx 0,48$, lo que sugiere reducción del 52 %. La significación se evaluaría con un modelo Poisson (offset = log horas) o con IC exacto para RR; si hay sobre - dispersión, se usaría binomial negativa (Taylor et al., 2023). Este ejemplo ilustra la trazabilidad desde el dato primario (casos y horas) hasta el indicador y la inferencia.

Resultados esperados, relaciones líderes-rezagados y plan aplicado (Tabla 6)

Para ampliar la capacidad de aprendizaje, se recomienda una cartera de indicadores que integre el comportamiento de los controles críticos. Por ejemplo, investigar si incrementos de verificación en plazo (líder) se asocian a descensos de HiPo (rezagado) con correlaciones temporales o modelos de regresión con rezagos. ISO 45002 promueve este tipo de vínculos para convertir la medición en decisiones de asignación de recursos (ISO, 2023). A su vez, las publicaciones anuales de desempeño del ICMM evidencian que, pese a avances, los eventos de alta consecuencia siguen ocurriendo, lo que refuerza la necesidad de focalizar en barreras críticas (ICMM, 2025).

La Tabla 6 presenta un plan de evaluación antes - después aplicable a frentes típicos (zanjas, encofrados, tránsito de equipos), enlazando objetivos, variables, método, hipótesis y criterios de éxito.





Tabla 6: Plan de evaluación antes - después para IPERC en obras civiles mineras

Componente	Descripción	Operacionalización	Método de análisis	Criterio de éxito
Objetivo 1	Reducir lesiones registrables	TRIR mensual (casos × 200 000 / horas)	Serie temporal; Poisson/BNB con <i>offset</i>	$RR \leq 0,70$ y $p < 0,05$
Objetivo 2	Disminuir HiPo	HiPo por 200 000 horas	Serie temporal; regresión segmentada	Tendencia negativa significativa
Objetivo 3	Mejorar cumplimiento de CC	% CC verificados en plazo	Comparación de medianas; control estadístico	≥ 90 % sostenido 3 meses
Objetivo 4	Elevar calidad ATS	Puntuación 0–100	T de Student/Mann–Whitney	+15 puntos vs. línea base
Objetivo 5	Cerrar acciones a tiempo	% cierres ≤ 30 días	Chi-cuadrado de proporciones	≥ 85 % sostenido

Nota. BNB: binomial negativa. CC: controles críticos. ATS: Análisis de Trabajo Seguro. Los umbrales son ilustrativos y deben validarse con la política interna y la tolerancia al riesgo del proyecto.

Discusión

La evidencia reunida sugiere que la eficacia de la IPERC en obras civiles dentro de minas depende de dos anclajes indisociables: (a) aplicar de manera estricta la jerarquía de controles priorizando eliminación, sustitución y controles de ingeniería y (b) verificar funcionalmente los controles críticos vinculados a eventos de alta consecuencia. Este énfasis está sólidamente respaldado por guías contemporáneas que ubican a los controles de ingeniería por encima de medidas administrativas y EPP debido a su mayor robustez frente a la variabilidad del comportamiento humano (NIOSH, 2024; OSHA, 2023; Ajslev et al., 2022). En términos operativos, la IPERC es más que una matriz: es una disciplina de decisión





que liga un peligro con una barrera medible, con trazabilidad desde el diseño hasta la prueba en campo.

Bajo esa lógica, la integración de IPERC con CCM del ICMM fortalece el tratamiento de riesgos de alta severidad (p. ej., colapso de zanja, caída de altura, interacción vehículo–peatón). El CCM obliga a definir “eventos no deseados”, seleccionar barreras preventivas y mitigadoras “críticas” y someterlas a verificaciones de desempeño con criterios explícitos y frecuencias definidas. Esta práctica reduce la brecha entre “control en papel” y “control que funciona cuando se necesita”, un punto neurálgico en fases civiles donde el entorno cambia velozmente (ICMM, 2015). El telón de fondo sectorial muestra que esta focalización no es retórica: los datos de desempeño de seguridad 2024 del ICMM informan 42 fatalidades entre sus miembros y un segundo año de incremento, recordatorio de que los eventos de alta consecuencia persisten y que la verificación de barreras críticas no puede ser episódica (ICMM, 2025).

La dimensión normativa y de sistemas de gestión respalda esta convergencia. ISO 45001:2018 sitúa la gestión basada en riesgos como eje de la planificación, la operación y la evaluación del desempeño; ISO 45002:2023 traduce ese mandato en orientaciones prácticas; y ISO 45004:2024 ofrece lineamientos para construir indicadores y procesos de monitoreo, medición, análisis y evaluación. Esta tríada empuja a transformar la IPERC en un ciclo de mejora continua con métricas que demuestren resultados, no solo cumplimiento documental (ISO, 2018; ISO, 2023; ISO, 2024). En el plano local (Perú, referente regional), el DS 024-2016-EM actualizado a 2024, exige evaluación permanente de riesgos y controles trazables, mientras que SUNAFIL (2022) estandariza el método





IPERC, habilitando comparabilidad entre frentes y contratistas. La alineación norma-método reduce discrecionalidad y facilita auditoría y fiscalización (MINEM, 2024; SUNAFIL, 2022).

En coherencia con ese marco, la discusión sobre evaluación de impacto debe abandonar métricas ambiguas y adoptar tasas estandarizadas y modelos apropiados. Las guías modernas recomiendan combinar indicadores rezagados p. ej., TRIR, DART, incidentes de alto potencial por 200 000 horas con indicadores líderes p. ej., porcentaje de controles críticos verificados en plazo, calidad del ATS, cierres de acciones en tiempo para evaluar tanto resultados como la “salud del proceso” (ISO, 2024; ISO, 2023). Los primeros permiten comparar periodos y unidades; los segundos anticipan deterioros del sistema antes de que se materialicen eventos. El uso de series temporales y modelos de conteo (Poisson o binomial negativa) incrementa la potencia analítica y mitiga el sesgo por variaciones en horas trabajadas o mezcla de tareas, buenas prácticas ya consolidadas en evaluaciones recientes de intervenciones en SST (Vitrano et al., 2024).

Un área donde la literatura aporta matices útiles es la interacción persona-equipo móvil. La revisión sistemática de tecnologías de detección y evitación de colisiones basada en visión computacional muestra avances promisorios, pero también subraya limitaciones por polvo, iluminación, oclusiones y latencia (Imam et al., 2023). Esto tiene dos implicancias: primero, que la IPERC debe clasificar estos sistemas como controles de ingeniería que exigen pruebas funcionales periódicas con criterios claros de aceptación; y segundo, que nunca sustituyen la segregación física, el rediseño de rutas y otras barreras de mayor jerarquía. En zanjas y excavaciones, además, los marcos de OSHA insisten en soluciones de





ingeniería (taludes, apuntalamientos o cajas de zanja) y competencias de “persona competente”, elementos que deben quedar explícitos como controles críticos con verificación diaria (OSHA, 2015; OSHA, 2018). Convergencias similares emergen en la evaluación multicriterio del riesgo en excavación, donde estudios recientes identifican factores de mayor peso (cargas estáticas y dinámicas, asentamiento de tuberías) que orientan la priorización técnica de las barreras (Lin et al., 2023).

La validez de los resultados derivados de la implementación IPERC-CCM enfrenta amenazas conocidas. El subregistro de incidentes por presión de cronograma o cultura de reporte puede sesgar las tasas; por ello, la triangulación con indicadores líderes y auditorías de clasificación (p. ej., criterios OSHA) se vuelve imprescindible. La variación en la mezcla de tareas (más horas en encofrado y menos en zanja, o viceversa) exige segmentar por tipo de frente y, cuando sea posible, usar horas por tarea como denominadores secundarios. Por último, la madurez tecnológica de algunas ayudas de ingeniería (p. ej., detección de proximidad) requiere gobernanza de mantenimiento, calibración y pruebas, pues el desempeño tiende a degradarse sin verificación sistemática (Imam et al., 2023). Estas consideraciones no desvirtúan el enfoque, pero obligan a sostener disciplina de datos y gestión del cambio, cuando se alteran métodos constructivos, secuencias o diseños, coherente con ISO 45001/45002.

A la luz de lo anterior, las implicancias para la gestión son concretas. Primero, trasladar la IPERC del “deber ser” al contrato y a la compra, incluyendo en los pliegos requisitos verificables de controles críticos (p. ej., protección de excavaciones por tipo de suelo; segregación y rutas; pruebas de proximidad), metas de indicadores y penalidades por incumplimiento,





en consonancia con ISO 45001 (8.1.4) y las guías de implementación (ISO, 2023). Segundo, estandarizar instrumentos (matrices por tarea, checklists de verificación y tableros) para asegurar comparabilidad inter frentes y entre contratistas, aprovechando la metodología de SUNAFIL (2022). Tercero, institucionalizar rondas de verificación funcional con frecuencia acorde a la severidad y consolidar datos mínimos útiles (fecha - frente - control - condición - acción - cierre) para alimentar decisiones semanales, tal como incentiva ISO 45004 (2024). Esta trazabilidad exhibe diligencia, reduce variabilidad y sostiene la mejora continua.

Persiste, sin embargo, una brecha de investigación aplicada: medir con diseños robustos la elasticidad entre verificación oportuna de controles críticos e incidencia de HiPo a lo largo del tiempo. La literatura revisada sugiere que los sistemas de gestión más eficaces son aquellos que vinculan indicadores líderes y rezagados con hipótesis explícitas de causalidad y que someten esas hipótesis a contraste con métodos apropiados (Vitrano et al., 2024). Trabajos futuros deberían incorporar series temporales interrumpidas o diseños cuasi - experimentales con controles concurrentes, además de explorar la interacción entre jerarquía de controles y madurez tecnológica de barreras de ingeniería. En suma, la discusión respalda que IPERC + jerarquía + CCM + verificación funcional + medición rigurosa constituyen una arquitectura coherente para reducir incidentes y fortalecer el cumplimiento en obras civiles mineras; el desafío ya no es conceptual, sino de ejecución disciplinada y de evidencia longitudinal que confirme su impacto sostenido.





Conclusiones

La aplicación disciplinada de la Matriz IPERC en obras civiles dentro de minas es técnicamente viable, normativamente exigible y operativamente eficaz siempre que se integre con la jerarquía de controles y con un régimen de verificación funcional de controles críticos. La evidencia y las guías actuales convergen en que las medidas de eliminación, sustitución y, sobre todo, los controles de ingeniería ofrecen reducciones de riesgo más estables que las acciones administrativas o el EPP, cuya efectividad depende del comportamiento humano. En consecuencia, IPERC no debe reducirse a un registro, sino desplegarse como un proceso de decisión trazable que conecte peligro - barrera - evidencia de desempeño.

El andamiaje de sistemas de gestión refuerza esta tesis. ISO 45001 establece la gestión basada en riesgos como eje de la planificación y la operación; ISO 45002 orienta la implementación práctica, y ISO 45004 aporta lineamientos para construir indicadores, medir desempeño y sostener la mejora continua. Este marco internacional se articula con la base legal regional, por ejemplo, el DS 024-2016-EM actualizado en 2024 en Perú y con metodologías oficiales como el Manual IPERC de SUNAFIL, lo que facilita la comparabilidad entre frentes y contratistas y robustece la fiscalización.

A nivel sectorial, los reportes recientes de desempeño en seguridad del ICMM demuestran que los eventos de alta consecuencia persisten, especialmente en interfaces propias de obras civiles (movimiento de tierras, excavaciones, interacción equipo-persona), lo que valida priorizar controles críticos y verificar su funcionamiento con métricas líderes y rezagadas (ICMM, 2025). Por ello, la evaluación antes - después con tasas





estandarizadas (p. ej., TRIR, DART, HiPo por 200 000 horas) y modelos de conteo resulta imprescindible para demostrar impacto real y no solo cumplimiento documental.

En suma, la arquitectura IPERC + jerarquía de controles + gestión de controles críticos + evaluación rigurosa constituye un camino consistente para reducir incidentes y fortalecer el cumplimiento en obras civiles mineras. Su éxito depende de la coherencia contractual-operativa, de la verificación funcional sistemática y de un bucle real de aprendizaje que convierta los datos en decisiones de rediseño y asignación de recursos.

Recomendaciones

- 1) Gobernanza y contratos. Incorporar en órdenes de compra, servicios y contratos cláusulas de SSA verificables: IPERC por tarea, definición de controles críticos, criterios de verificación funcional (método, frecuencia y estándares de aceptación), así como metas de indicadores líderes y rezagados con consecuencias por incumplimiento. Este alineamiento debe reflejar lo dispuesto en ISO 45001 (control de compras, contratistas y tercerización) y las guías de implementación de ISO 45002.
- 2) Priorización técnica. Exigir, la aplicación de una jerarquización de controles, como principio, eliminación/sustitución y controles de ingeniería antes de medidas administrativas o EPP, en coherencia con la jerarquía de controles (NIOSH, 2024). En excavaciones, asegurar sistemas de protección (taludes, apuntalamientos, cajas) y “persona competente” con verificación diaria, conforme a OSHA.





- 3) Verificación funcional de controles críticos. Adoptar formalmente la gestión de controles críticos (CCM) para eventos de alta severidad. Cada control crítico debe contar con criterios de verificación claros (qué medir, cómo y cuándo), evidencias objetivas (listas, fotografías con metadatos, registros de pruebas) y responsables designados; los resultados deben alimentar indicadores líderes semanales.
- 4) Medición rigurosa. Implementar un tablero con: (a) líderes % de controles críticos verificados en plazo, calidad de ATS, % de cierres en término y (b) rezagados TRIR, DART, HiPo por 200 000 horas; analizar con series temporales y modelos de conteo para demostrar cambios y orientar recursos.
- 5) Estándares y cumplimiento local. Alinear matrices, checklists y reportes de cada empresa, se puede tomar como ejemplo al DS 024-2016-EM (ed. 2024) y el Manual IPERC de SUNAFIL, para asegurar trazabilidad y comparabilidad inter frentes, así como facilitar auditorías y fiscalización.
- 6) Gestión del cambio y cultura. Formalizar MOC cuando cambie el paso a paso de la tarea, los métodos, secuencias o diseños; fortalecer reporte y clasificación de incidentes con auditorías cruzadas; promover cultura de aprendizaje y la retroalimentación operativa. Priorizar capacitación situada y simulacros focalizados en tareas de alta severidad.
- 7) Tecnología con criterio. Desplegar ayudas de ingeniería (p. ej., detección de proximidad, monitoreo de polvo) con gobernanza de





mantenimiento, calibración y pruebas funcionales, recordando que no sustituyen la segregación física ni el rediseño.

- 8) Investigación aplicada. Diseñar evaluaciones antes-después con horizontes ≥ 12 meses e, idealmente, controles concurrentes; vincular verificación oportuna de controles críticos con HiPo mediante modelos con rezagos; publicar lecciones en repositorios abiertos para evaluación comparativa sectorial.

Referencias

Ajslev, J. Z. N., Müller, J. L., Andersen, M. F., Pirzadeh, P., & Lingard, H. (2022). The hierarchy of controls as an approach to visualize the impact of occupational safety and health coordination. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 2731. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052731>

ARL SURA. (s.f.). Metodología para la identificación de peligros, evaluación y valoración de riesgos. https://www.arlsura.com/files/metodologia_definitiva_ipevr.pdf

Carr, J., DeGennaro, C., Whisner, B., Yonkey, J., & Zhou, C. (2020, February 23). Evaluation of alternative technologies for underground mining proximity detection systems. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/215265>

Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. (2024, April 10). About hierarchy of controls. <https://www.cdc.gov/niosh/hierarchy-of-controls/about/index.html>





Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. (2024, October 6). Mining data and statistics: Mine and mine worker charts. <https://www.cdc.gov/niosh/mining/data-stats/index.html>

Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. (2024, March 15). Engineering Controls Program. <https://www.cdc.gov/niosh/research-programs/portfolio/engineering-controls.html>

Imam, M., Baïna, K., Tabii, Y., Ressami, E. M., Adlaoui, Y., Benzakour, I., & Abdelwahed, E. H. (2023). The future of mine safety: A comprehensive review of anti-collision systems based on computer vision in underground mines. *Sensors*, 23(9), 4294. <https://doi.org/10.3390/s23094294>

Insistec. (n.d.). Reglamento de seguridad y salud en el ámbito minero [PDF]. Recuperado de <https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/REGLAMENTO%20DE%20SEGURIDAD%20Y%20SALUD%20EN%20EL%20C3%81MBITO%20MINERO.pdf>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2022). Directrices básicas para la evaluación de riesgos laborales. <https://www.insst.es/documents/94886/2927460/Directrices+evaluaci%C3%B3n+de+riesgos.pdf/61c4ce0a-f418-669c-48e0-2e26ae360d9e>

International Council on Mining & Metals (ICMM). (2025, July 10). ICMM reports 2024 safety performance of members.





<https://www.icmm.com/en-gb/news/2025/2024-safety-performance>

International Council on Mining & Metals (ICMM). (2025, July 10). Benchmarking progress of ICMM company members: 2024 safety data. <https://www.icmm.com/en-gb/research/health-safety/benchmarking-2024-safety-data>

International Organization for Standardization. (2018). ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems Requirements with guidance for use. ISO. <https://www.iso.org/standard/63787.html>

International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000:2018 Risk management—Guidelines. ISO. (Vista preliminar en línea). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en>

International Organization for Standardization. (2023). ISO 45002:2023 Occupational health and safety management systems General guidelines for the implementation of ISO 45001. ISO. <https://www.iso.org/standard/81840.html>

International Organization for Standardization. (2024). ISO 45004:2024 Occupational health and safety management Performance evaluation Guidelines. ISO. <https://www.iso.org/standard/64285.html>

Jesrik. (2024, August 7). ISO 45001:2018 – Clause 6.1 Actions to Address Risks and Opportunities. <https://www.jesrik.com.au/post/iso-45001-2018-clause-6-planning-for-the-oh-s-system>





Ministerio de Energía y Minas (MINEM). (2024, junio 4). Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (Ed. 2024). Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/5631689-reglamento-de-seguridad-y-salud-ocupacional-en-mineria-ed-2024>

Ministerio de Ambiente y Energía (Ecuador). (2020, December 1). Sector minero cuenta con nuevo reglamento para seguridad y salud en el trabajo. <https://www.ambienteyenergia.gob.ec/sector-minero-cuenta-con-nuevo-reglamento-para-seguridad-y-salud-en-el-trabajo/>

Ministerio del Trabajo (Ecuador). (s.f.). Normativa Legal, Programas, Formatos y Guías. <https://www.trabajo.gob.ec/normativa-legal-programas-formatos-y-guias/>

MSHA (Mine Safety and Health Administration). (s.f.). Safety and Health Subject Resources. <https://www.msha.gov/compliance-enforcement/compliance-assistance-safety-and-health-cash-program/safety-and-health-subject-resources>

Occupational Safety and Health Administration. (2015). Trenching and excavation safety (OSHA 2226). U.S. Department of Labor. <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/osha2226.pdf>

Occupational Safety and Health Administration. (2016, October 24). Standard interpretations: The 200,000 figure used in calculating incident rates. U.S. Department of Labor.





<https://www.osha.gov/laws-regs/standardinterpretations/2016-10-24>

Occupational Safety and Health Administration. (2023, February 1). Identifying hazard control options: The hierarchy of controls (Worksheet). U.S. Department of Labor. https://www.osha.gov/sites/default/files/Hierarchy_of_Controls_02.01.23_form_508_2.pdf

Occupational Safety and Health Administration. (2025). OSHA forms package. U.S. Department of Labor. <https://www.osha.gov/sites/default/files/OSHA-RK-Forms-Package.pdf>

OnSafeLines. (s.f.). ISO 45001:2018 clause 6.1 Actions to address risks and opportunities. <https://onsafelines.com/qhse.support/topics/iso-45001-2018-6-1.htm>

Osinergmin. (2016, julio 28). Decreto Supremo N.º 024-2016-EM: Aprueban Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería (texto y PDF). <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/741887-024-2016-em>

Reuters. (2025, March 12). Accidents at giant Simandou iron ore project kill more than a dozen workers, prompting inquiry. <https://www.reuters.com/markets/commodities/fatal-cost-rio-tintos-flagship-iron-ore-project-2025-03-12/>

Reuters. (2025, October 2). Guinea's Simandou iron ore project halted after three workers die in accident.





<https://www.reuters.com/sustainability/guineas-simandou-iron-ore-project-halted-after-three-workers-die-accident-2025-10-02/>

Sehgal, N. J. (2021). Applying the hierarchy of controls: What occupational safety can teach us about safely navigating the next phase of the global COVID-19 pandemic. *Frontiers in Public Health*, 9, 747894. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.747894>

Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral (SUNAFIL). (2022). Manual para la identificación de peligros, evaluación de riesgos y determinación de controles (IPERC). SUNAFIL. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2879291/Manual para la Identificación de Peligros Evaluación de Riesgos y Determinación de Medidas de Control IPERC.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2879291/Manual%20para%20la%20Identificaci3n%20de%20Peligros%20Evaluaci3n%20de%20Riesgos%20y%20Determinaci3n%20de%20Medidas%20de%20Control%20IPERC.pdf)

Teck Resources Limited. (2021, March 16). 2020 Sustainability report—Health and safety (capítulo temático). <https://www.teck.com/media/2020-Sustainability-Report-Health-and-Safety.pdf>

U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration. (n. d.). Trenching and excavation Overview. <https://www.osha.gov/trenching-excavation>

