



Análisis De Los Riesgos Críticos Asociados Al Uso De Maquinaria Pesada En Espacios Confinados En Operaciones De Minería Subterránea.

Analysis of the critical risks associated with the use of heavy machinery in confined spaces in subway mining operations.

Cristian Israel Peñaloza Awak.¹ 

cristianciaz@gmail.com.

Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Benjamín Gabriel Quito Cortez ² 

benjaminquito@bqc.com.ec

Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Aurelio Iván Quito Álvarez ³ 

ivanquito@bqc.com.ec

Instituto Tecnológico Superior Universitario Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Recepción: 06-11-2024

Aceptación: 20-11-2025

Publicación: 20-12-2025

Como citar este artículo: Peñaloza, C; Quito, B; Quito, A. (2025) **Análisis De Los Riesgos Críticos Asociados Al Uso De Maquinaria Pesada En Espacios Confinados En Operaciones De Minería Subterránea.** Metrópolis. Revista de Estudios Globales Universitarios, 6 (1), pp. 147-196

¹ Tecnólogo en seguridad y salud ocupacional. Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO); Maestrante en Herramientas de Seguridad Industrial y Salud en el Trabajo. (ITSO).

² Abogado, Magister en Educación (Universidad Bicentenaria 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 Promotor y gestor de proyectos sociales(Capacitadora JYS), Formación técnica avanzada en participación y gobernanza comunitaria, mediación y resolución de conflictos (Capacitadora JYS), Tecnólogo en Promoción y Defensoría Social (Instituto Superior Tecnológico Jatun Yachay Wasi), Tecnólogo Superior Universitario en Seguridad y Salud Ocupacional (Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)).



Resumen

El presente estudio de investigación analiza los factores de riesgo asociados a la operación de maquinaria pesada en espacios confinados. La investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo y descriptivo, en la cual se utiliza la técnica de revisión documental como principal metodología. Se recopila información de informes técnicos, normativas vigentes y estudios académicos para identificar las principales causas de accidentes, condiciones técnicas del equipo, y el impacto de factores humanos como la fatiga laboral. Los resultados muestran que la operación de maquinaria pesada en túneles y galerías presenta riesgos elevados debido a la limitada visibilidad, los espacios reducidos y la dificultad para maniobrar grandes equipos. Además, se evidencia que el diseño del equipo, la formación de los operadores y las condiciones del entorno laboral son elementos determinantes en la ocurrencia de siniestros. También se destaca la relación directa entre la fatiga laboral y la disminución del rendimiento físico y cognitivo, lo que incrementa las probabilidades de errores humanos. Las conclusiones del estudio determinaron que la mayoría de los accidentes pueden prevenirse con una mejor gestión de la seguridad, el rediseño de equipos adaptados al entorno subterráneo, programas de capacitación específicos, y el fortalecimiento de una cultura organizacional preventiva. Se concluyó también que las condiciones técnicas inadecuadas y la falta de mantenimiento preventivo periódico adecuado contribuyeron significativamente a los incidentes analizados. En conjunto, estos hallazgos permiten establecer una base sólida para futuras acciones preventivas y refuerzan la importancia de la seguridad ocupacional como eje transversal en las operaciones mineras subterráneas. **Palabras clave:** Riesgos críticos; Maquinaria pesada; Minería; Fatiga laboral; Accidentes.

Abstract

This research study analyzes the risk factors associated with the operation of heavy machinery in confined spaces. The study is developed using a qualitative and descriptive approach, with documentary review as the primary methodology. Information is collected from technical reports, current regulations, and academic studies to identify the main causes of accidents, technical conditions of the equipment, and the influence of human factors such as occupational fatigue. The results indicate that operating heavy machinery in tunnels and galleries involves significant risks due to limited visibility, reduced maneuvering space, and the complexity of handling large equipment in constrained environments. Furthermore, the study highlights that equipment design, operator training, and working conditions are key factors contributing to the occurrence of workplace accidents. The findings show that a lack of ergonomic equipment, insufficient safety systems, and exposure to long working hours without adequate rest increase the likelihood of human error and incidents. The study concludes that most accidents could have been avoided through improved safety management, the redesign of machinery suited to underground conditions, and the implementation of specific training programs focused on confined space operations. Additionally, it was found that inadequate technical standards and the absence of proper preventive maintenance significantly contributed to the risks identified. In summary, the findings offer a comprehensive foundation for future preventive strategies and underscore the need to prioritize occupational safety as an essential and cross-functional component of mining operations in underground environments. Promoting a strong safety culture and adopting proactive risk management practices are critical to safeguarding worker health and operational efficiency. **Keywords:** Ergonomics; occupational health; regulations; firefighting; equipment; firefighters.



Introducción.

La minería subterránea es una de las actividades industriales más riesgosas debido a las condiciones extremas en las que se desarrolla, tales como espacios confinados, ventilación limitada, presencia de gases tóxicos, iluminación deficiente y el uso constante de maquinaria pesada. Estos factores, combinados con la complejidad de las operaciones bajo tierra, incrementan significativamente la probabilidad de ocurrencia de accidentes laborales de alta severidad. Uno de los aspectos más críticos en este entorno es el manejo de maquinaria pesada, cuya operación, mantenimiento y desplazamiento en espacios reducidos y con visibilidad restringida representa un desafío permanente para la seguridad de los trabajadores. (Díaz, 2020).

A nivel internacional, diversas investigaciones han abordado los peligros inherentes a los espacios confinados y el uso de equipos pesados en la minería, recomendando la implementación de protocolos específicos, controles técnicos y formación continua del personal. Sin embargo, en muchos en Latinoamérica, estos lineamientos no siempre se aplican con el rigor necesario, lo cual genera vacíos en la gestión de riesgos laborales y expone a los trabajadores a situaciones de peligro constante (Ramírez et al., 2024). En este sentido, el presente estudio pretende contribuir al conocimiento existente mediante un análisis detallado de los riesgos críticos asociados al uso de maquinaria pesada en espacios confinados en operaciones de minería subterránea, considerando la realidad operacional y preventiva de un entorno específico.



Para el desarrollo de esta investigación se ha utilizado una metodología cualitativa, basada en el análisis documental, entrevistas semiestructuradas a personal técnico y operativo del sector minero, así como observaciones directas en campo. Esta combinación de técnicas ha permitido identificar los principales factores de riesgo, la percepción de los trabajadores sobre las condiciones de seguridad, y las medidas preventivas que se aplican o que requieren fortalecimiento. El enfoque cualitativo ha sido seleccionado por su capacidad para interpretar los fenómenos en profundidad, contextualizando las prácticas laborales y los niveles de exposición al peligro en un entorno real.

La finalidad de esta investigación es proponer acciones de mejora en la gestión de riesgos críticos en operaciones subterráneas, enfocándose particularmente en las condiciones que rodean el uso de maquinaria pesada en espacios confinados. Se busca generar aportes prácticos que puedan ser implementados por las áreas de seguridad industrial y salud ocupacional, y que a su vez promuevan entornos laborales más seguros y sostenibles.

Para cumplir con la finalidad mencionada, se analizará el siguiente problema de investigación, ¿Cuáles son los principales riesgos críticos asociados al uso de maquinaria pesada en espacios confinados dentro de la minería subterránea, y qué medidas preventivas podrían fortalecer la seguridad de los trabajadores en estas condiciones operativas?



Marco Teórico.

El desarrollo de actividades mineras subterráneas implica condiciones de trabajo complejas y riesgosas, en las que confluyen factores técnicos, humanos y ambientales. Uno de los aspectos más críticos en este entorno es la operación de maquinaria pesada dentro de espacios confinados, situación que representa un desafío permanente para la seguridad industrial y la salud ocupacional. Comprender los elementos teóricos y normativos asociados a este tipo de riesgos permite delimitar el objeto de estudio y fundamentar la necesidad de establecer estrategias de prevención y control efectivas. (Palomino, 2019).

Desde una perspectiva conceptual, la Organización Internacional del Trabajo “OIT” define los riesgos laborales como la probabilidad de que un trabajador sufra un daño o enfermedad derivado de la exposición a factores peligrosos en el entorno laboral. Dentro de estos, los denominados riesgos críticos son aquellos que, por su naturaleza, frecuencia o consecuencias, tienen una alta probabilidad de generar accidentes graves o fatales si no son gestionados adecuadamente. El uso de maquinaria pesada en espacios confinados en minería subterránea reúne estas características debido a la interacción de variables como la limitación de espacio, la circulación simultánea de trabajadores y equipos, la escasa ventilación, y la posibilidad de atrapamientos, choques o atropellos. (Herrera, 2019).

En cuanto a los espacios confinados, el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional los describe como áreas con aberturas limitadas de entrada y salida, ventilación natural desfavorable, y no diseñadas para la ocupación continua de personas. Cuando estas características se combinan con el funcionamiento de equipos pesados como cargadores



frontales, retroexcavadoras, jumbo perforadores o camiones de acarreo, se incrementa la exposición a riesgos mecánicos, eléctricos, ergonómicos y ambientales. (Cayo y Silva, 2024).

Desde el punto de vista teórico, la teoría del domino de Heinrich postula que los accidentes laborales son consecuencia de una cadena de eventos que pueden ser interrumpidos si se controlan los factores subyacentes. Esta teoría es relevante para el estudio de los riesgos críticos en espacios confinados, ya que permite identificar condiciones inseguras, actos inseguros y fallas en el sistema de gestión que podrían derivar en incidentes de alta severidad. Asimismo, la teoría del error humano de Reason, también conocida como modelo del queso suizo, plantea que los accidentes son producto de la alineación de múltiples fallos latentes y activos dentro de una organización. Bajo esta perspectiva, las deficiencias en la formación del personal, la ausencia de protocolos específicos, el mantenimiento inadecuado de la maquinaria o la falta de supervisión pueden actuar como barreras perforadas que permiten que ocurra un evento no deseado. (Soto, 2020).

En términos normativos, la legislación ecuatoriana contempla varias disposiciones relacionadas con la prevención de riesgos laborales en la industria minera. La Constitución de la República del Ecuador, en su artículo 326 numeral 5, garantiza el derecho de los trabajadores a laborar en ambientes seguros y saludables. Por su parte, el Código de Trabajo y la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo establecen la obligación de los empleadores de identificar, evaluar y controlar los riesgos presentes en el entorno laboral. (Otniel, 2014).



De manera específica, el Reglamento de Seguridad y Salud para el Trabajo en el Ámbito Minero emitido por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, establece que toda actividad minera debe contar con un sistema de gestión de seguridad que incluya procedimientos para trabajos en espacios confinados y operación de maquinaria. Además, el artículo 45 del mismo reglamento indica que los equipos deben ser operados únicamente por personal capacitado y autorizado, bajo condiciones seguras y con el uso obligatorio de equipos de protección personal. (Alvarado, 2021).

A nivel internacional, normas como la OSHA 1910.146 “Occupational Safety and Health Administration” regulan las prácticas seguras en espacios confinados, incluyendo requerimientos para el ingreso, vigilancia atmosférica, comunicación, rescate y permisos de trabajo. Por otro lado, la norma ISO 45001:2018, enfocada en los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, promueve un enfoque basado en riesgos y en la mejora continua, siendo aplicable al análisis de peligros críticos y diseño de controles en entornos como la minería subterránea. (Coache, 2021).

El uso de maquinaria pesada en minería no solo implica riesgos físicos evidentes como colisiones o atrapamientos, sino también otros de tipo ergonómico y psicosocial, derivados del trabajo en condiciones de aislamiento, presión constante y fatiga. Diversos estudios han demostrado que una deficiente gestión de estos factores puede afectar el desempeño del trabajador y aumentar la probabilidad de errores operacionales. Por ello, se hace indispensable integrar el enfoque de gestión integral del riesgo, considerando variables humanas, organizacionales y tecnológicas. (Z. Martínez, 2020).



Delimitar el análisis a los riesgos críticos vinculados a la operación de maquinaria pesada dentro de espacios confinados en minería subterránea, según, Figueroa (2023), permite centrar la atención en una de las áreas más vulnerables del sistema de producción minera. Esta delimitación busca no solo identificar los peligros evidentes, sino también proponer estrategias de mejora desde una visión preventiva y basada en evidencia, contribuyendo al fortalecimiento de una cultura de seguridad proactiva.

Estado del Arte

El análisis de riesgos en entornos mineros subterráneos ha recibido atención prioritaria en la literatura técnica y científica, debido a la alta tasa de accidentes y a la complejidad operativa que caracteriza estos espacios. Dentro de esta línea de investigación, los riesgos críticos asociados al uso de maquinaria pesada en espacios confinados han sido abordados en estudios con enfoques técnicos, ergonómicos, organizacionales y de gestión de la seguridad. (Amoroso y Orellana, 2019).

Se ha incrementado el interés por identificar, evaluar y controlar los riesgos asociados a la utilización de maquinaria pesada, cuya operación en zonas restringidas y con múltiples obstáculos puede derivar en accidentes graves, como atrapamientos, colisiones, volcamiento de equipos y atropellos a trabajadores. La combinación entre equipos de gran tamaño y espacios confinados, que no fueron diseñados para la circulación continua de maquinaria, supone un reto importante para la seguridad y salud ocupacional, tanto desde el punto de vista técnico como organizacional. (Ajith et al., 2021).



Dentro de esta línea de investigación, los riesgos críticos asociados específicamente al uso de maquinaria pesada en espacios confinados subterráneos han sido objeto de estudio desde múltiples enfoques. Diversas investigaciones han adoptado perspectivas técnicas, centradas en el diseño y condiciones operativas de los equipos; otras han abordado el problema desde un ángulo ergonómico, examinando las capacidades físicas y cognitivas del operador ante condiciones adversas. Asimismo, han surgido estudios desde una visión organizacional, analizando la cultura de seguridad, los niveles de formación del personal, los protocolos existentes y la eficacia de los sistemas de gestión en la prevención de incidentes. También se han desarrollado investigaciones orientadas a la gestión integral de la seguridad, que buscan articular las dimensiones técnica, humana y normativa para mitigar los factores de riesgo que coexisten en este tipo de operaciones. (Lööw y Nygren, 2019).

Un estudio desarrollado por Kumar et al. (2020), analizó los factores que influyen en los accidentes con maquinaria pesada en túneles y minas subterráneas. Los autores concluyen que los eventos graves analizados se relacionaban con condiciones espaciales reducidas, deficiencias en la visibilidad y errores humanos durante maniobras de carga y transporte. Además, se destaca la falta de protocolos específicos para la operación de equipos en espacios confinados como una debilidad sistemática en la industria minera latinoamericana.

Por su parte, Herrera y Ortiz (2022), realizaron una investigación en la minería, donde desarrollaron un modelo predictivo de riesgos para la operación de maquinaria subterránea basado en inteligencia artificial. Su enfoque permitió identificar patrones de comportamiento de equipos en



zonas confinadas y, con ello, establecer alertas tempranas de riesgo. Este estudio demuestra que la gestión de maquinaria en minería subterránea no puede seguir siendo intuitiva, sino que debe basarse en datos, simulaciones y tecnologías predictivas.

En América Latina, un aporte relevante es el de Ulises et al. (2019), examinaron los principales factores de riesgo asociados a la maquinaria pesada en minas subterráneas peruanas. Su análisis mostró que, pese a la existencia de normativa técnica nacional, las condiciones reales de operación no siempre cumplen los estándares establecidos. Los autores insisten en la necesidad de reforzar la cultura preventiva mediante la capacitación del operador, la supervisión activa y la adecuación del diseño de galerías al tipo de equipo utilizado.

Otra contribución destacada es la de Villaseñor (2019), quienes evaluaron la aplicación de procedimientos de trabajo seguro con equipos pesados en minas de mediana escala. Su trabajo, evidenció que los espacios confinados incrementan el riesgo de atrapamientos, especialmente cuando se combinan con condiciones de ventilación inadecuadas y rutas de escape limitadas. El estudio también indicó que las auditorías de seguridad suelen enfocarse en aspectos generales del sitio, sin un análisis detallado del comportamiento del equipo en estos espacios críticos.

Desde una perspectiva más técnica, Molina et al. (2023), propusieron en su investigación el rediseño de trayectorias de maquinaria pesada en túneles mineros utilizando software de simulación espacial. Su estudio, desarrollado en una mina, permitió reducir significativamente los puntos ciegos y optimizar las maniobras de giro en zonas críticas. Los autores



concluyen que el rediseño operativo, basado en análisis tridimensional del espacio, puede ser una herramienta clave en la prevención de incidentes.

A partir de esta revisión sistemática, se puede observar que el nivel de desarrollo del tema es moderado a avanzado, aunque con notables brechas en cuanto a la implementación práctica de medidas correctivas. La mayoría de los estudios coinciden en que los espacios confinados representan un entorno altamente peligroso para el uso de maquinaria pesada, y que el análisis de riesgos críticos debe contemplar no solo factores técnicos del equipo, sino también condiciones del entorno, formación del personal, diseño de rutas, supervisión y aplicación de tecnologías emergentes. (Arrarás, 2023).

No obstante, existe una limitada investigación enfocada de forma exclusiva en la interacción entre maquinaria pesada y espacios confinados en minería subterránea, como un campo de análisis independiente. La mayoría de los trabajos analizados integran este aspecto como parte de estudios más amplios sobre seguridad minera o gestión de riesgos generales, lo que evidencia una oportunidad para profundizar en investigaciones específicas y aplicadas al contexto operativo real. (Doss et al., 2020).

Desarrollo.

Factores de riesgo en la operación de maquinaria pesada

La operación de maquinaria pesada en entornos industriales es una actividad que implica un alto nivel de riesgo debido a la naturaleza compleja y dinámica de los procesos en los que interviene. Esta complejidad se multiplica de manera considerable cuando la operación se lleva a cabo en



espacios confinados, como es característico en la minería subterránea, donde las condiciones ambientales y estructurales agregan capas adicionales de desafío y peligrosidad. En estos escenarios, los factores de riesgo no solo se limitan a las características propias del equipo utilizado, sino que también abarcan las condiciones específicas del entorno, la interacción entre el operador y la maquinaria, la gestión organizacional que regula las operaciones, así como el cumplimiento de las normativas vigentes en seguridad y salud ocupacional (Paredes, 2025). La maquinaria pesada, reconocida por su gran tamaño, elevada potencia y en muchos casos por contar con sistemas avanzados de automatización, demanda un manejo cuidadoso y bajo estrictas condiciones de control, dado que cualquier fallo técnico o error humano puede desencadenar consecuencias graves, incluso fatales, para los trabajadores y la operación en general. (Casal et al., 2022).

Entre los diversos factores de riesgo, uno de los más determinantes es la limitación del espacio físico disponible, ya que la estrechez de las galerías y la geometría irregular de los túneles subterráneos restringen significativamente los movimientos seguros de la maquinaria. Esta limitación espacial impone restricciones severas a las maniobras del equipo pesado, dificultando la circulación, el posicionamiento y la operación eficiente, y aumentando de manera considerable la probabilidad de accidentes tales como choques contra paredes, atrapamientos entre estructuras, o vuelcos que pueden poner en peligro la vida de los operadores y trabajadores próximos. Estas condiciones no solo representan un reto técnico, sino también una exigencia constante para la



destreza y atención del operador, quien debe maniobrar con precisión en un ambiente que no permite márgenes de error. (Guaycha et al., 2021).

Además, la restricción del espacio afecta directamente los campos visuales del operador, ya que la visibilidad en estos entornos es limitada y fragmentada. Aunque la maquinaria pesada moderna suele estar equipada con retrovisores, cámaras y sensores de proximidad diseñados para ampliar el rango visual, estas herramientas no siempre pueden compensar la dificultad que representa la estructura física del entorno subterráneo. La combinación de túneles angostos, curvas cerradas, puntos ciegos y la presencia de polvo o humo puede reducir drásticamente la capacidad del operador para percibir objetos, personas u otros equipos en movimiento, lo que agrava el riesgo de colisiones y accidentes. Esta situación demanda una atención constante y una coordinación efectiva entre los miembros del equipo para garantizar que las operaciones se desarrolle con los máximos niveles de seguridad. (Flores, 2025).

Por otra parte, la interacción humana con la maquinaria pesada añade una dimensión crítica al análisis de riesgos. El factor humano puede contribuir tanto a la prevención como a la generación de incidentes, dependiendo del nivel de formación, experiencia, condiciones físicas y psicológicas del operador. El estrés, la fatiga, la distracción o la presión por cumplir con metas de producción pueden afectar negativamente el desempeño, aumentando la probabilidad de cometer errores operativos en un entorno ya de por sí desafiante. Por ello, es fundamental que las organizaciones implementen programas de capacitación adecuados, supervisión continua y estrategias para gestionar la carga laboral y las condiciones psicosociales del personal. (Flores, 2025).



Asimismo, otro factor crítico lo constituye el estado de conservación y mantenimiento del equipo. La operación en condiciones de humedad, polvo, vibración constante y presión atmosférica variable acelera el desgaste de los componentes mecánicos, hidráulicos y eléctricos de la maquinaria. Un sistema de frenos defectuoso, una alarma de retroceso inoperativa o una luz de advertencia fundida pueden marcar la diferencia entre una operación segura y un accidente grave. En muchos casos, la falta de mantenimiento preventivo o correctivo se asocia a una deficiente planificación operativa, falta de presupuesto, ausencia de repuestos o personal técnico no calificado. (Quiroz, 2022).

Los factores humanos también juegan un papel determinante. La fatiga, el estrés, la presión por alcanzar metas de producción y la falta de capacitación son elementos que alteran la capacidad de atención, el tiempo de respuesta y el juicio del operador. Un trabajador fatigado o mal entrenado es más propenso a cometer errores operacionales, como ejecutar maniobras inseguras, omitir procedimientos de seguridad o subestimar señales de advertencia del equipo. Además, cuando el operador carece de formación específica para el manejo de maquinaria en espacios confinados, su percepción del riesgo se ve afectada, incrementando la probabilidad de accidentes. La comunicación deficiente entre los miembros del equipo ya sea por fallas en los sistemas de radio, ruido ambiental o barreras organizacionales, también es un factor de riesgo recurrente que impide la coordinación efectiva entre operadores, supervisores y personal de apoyo en las galerías subterráneas. (Moncada y Navarro, 2023).



De igual manera, los factores ambientales que caracterizan a la minería subterránea representan condiciones agravantes del riesgo. La ventilación limitada puede generar acumulación de gases tóxicos, nieblas o polvo en suspensión que afectan la visibilidad y las condiciones respiratorias. La iluminación artificial no siempre es suficiente ni constante, lo cual interfiere con la precisión en la operación de la maquinaria. La presencia de agua, lodo o superficies irregulares en las vías de circulación puede comprometer la estabilidad de los vehículos, favoreciendo el deslizamiento, la pérdida de control y el hundimiento parcial de neumáticos. Estas condiciones exigen que los equipos estén dotados con sistemas especiales de tracción, frenado y protección para funcionar adecuadamente, así como que los operadores tengan la capacidad de reconocer y adaptarse a estos cambios del entorno en tiempo real. (Alania, 2023).

En muchas operaciones subterráneas, existen protocolos y reglamentos de seguridad que no se aplican con el rigor necesario, ya sea por desconocimiento, falta de supervisión o por considerarse obstáculos al cumplimiento de los objetivos productivos. Cuando las normas no se cumplen o se interpretan de manera flexible, se crea una falsa sensación de control del riesgo. La ausencia de procedimientos específicos para la operación segura de maquinaria pesada en espacios confinados, así como la carencia de planes de emergencia realistas para este tipo de situaciones, revela una debilidad estructural en el sistema de seguridad industrial. La gestión de estos factores de riesgo debe ser abordada de forma integral, considerando no solo la presencia del peligro, sino también la eficacia de los controles existentes, la formación del recurso humano, el compromiso



de la organización con la seguridad, y el cumplimiento efectivo de la normativa técnica y legal vigente. (Badri et al., 2023)

Condiciones técnicas y de diseño

El diseño y las condiciones técnicas de la maquinaria pesada destinada a operar en minería subterránea juegan un papel importante para garantizar no solo la seguridad de los operadores y demás trabajadores, sino también la eficiencia y continuidad de las labores en espacios confinados que presentan características singulares y desafiantes. A diferencia de la maquinaria utilizada en minería a cielo abierto o en otras actividades industriales, los equipos que se emplean bajo tierra deben cumplir con requerimientos muy específicos que responden tanto a las limitaciones físicas del entorno como a la necesidad de optimizar el desempeño operativo sin comprometer la seguridad. La configuración estructural de estas máquinas debe ser compacta y adaptada a las dimensiones reducidas de las galerías, rampas y túneles, donde el espacio disponible para la circulación es sumamente limitado y no siempre permite movimientos amplios o maniobras complejas sin riesgo de colisión. (Maldonado, 2024).

En este sentido, uno de los aspectos fundamentales del diseño técnico es la reducción de las dimensiones generales del equipo, especialmente en términos de altura, ancho y longitud, para facilitar su desplazamiento dentro de los pasillos subterráneos estrechos y con geometrías irregulares. Este diseño compacto se complementa con la incorporación de radios de giro reducidos, que permiten a la maquinaria realizar maniobras más precisas y seguras en tramos estrechos y en espacios con curvas cerradas. La capacidad de girar en espacios limitados no solo mejora la movilidad del equipo, sino que también reduce el tiempo empleado en desplazamientos



y minimiza la probabilidad de accidentes por contacto con las paredes o con otros equipos. Para ello, muchas máquinas cuentan con sistemas de dirección articulada que posibilitan movimientos coordinados entre sus diferentes secciones, logrando así un control óptimo sin sacrificar la estabilidad ni la seguridad del operador. (Miranda y Vilca, 2020).

Cabe mencionar que el diseño debe considerar la protección y comodidad del operador, incorporando cabinas resistentes y ergonómicas que mitiguen la exposición a vibraciones, ruido y condiciones ambientales adversas propias de la minería subterránea. La visibilidad desde la cabina es otro aspecto crítico en el diseño técnico, dado que una buena línea de visión reduce los puntos ciegos y facilita la detección temprana de obstáculos o personas en el entorno, mejorando la seguridad en la operación diaria. Asimismo, la maquinaria pesada debe contar con sistemas auxiliares tecnológicos, como cámaras de vigilancia, sensores de proximidad y alarmas sonoras, que complementen el diseño físico y aporten una capa adicional de prevención frente a riesgos inherentes al espacio confinado. (Benito, 2021).

La limitada iluminación subterránea y los múltiples ángulos muertos aumentan la posibilidad de atropellos o choques, por lo que los fabricantes han incorporado sistemas auxiliares como cámaras traseras, sensores de proximidad, alarmas sonoras de retroceso y dispositivos de detección de obstáculos. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que la instalación de estas tecnologías no siempre es suficiente si no van acompañadas de un diseño ergonómico que permita al operador mantener una postura cómoda, visión clara y acceso intuitivo a los controles. De igual manera, la vibración constante y el ruido excesivo en la cabina son factores



que deben ser minimizados mediante aislamiento acústico, amortiguadores y asientos con suspensión hidráulica, contribuyendo así a preservar la salud física del trabajador y a mejorar su desempeño operativo. (Cheje et al., 2020).

Las condiciones técnicas también incluyen la potencia y control del equipo, especialmente en relación con los sistemas de tracción, frenado y elevación. En un entorno irregular como el subterráneo, donde el terreno puede ser fangoso, inclinado o inestable, es esencial que la maquinaria disponga de mecanismos de control que aseguren la adherencia y la precisión de las maniobras. Los sistemas de frenos deben responder adecuadamente incluso en condiciones de humedad o polvo extremo, y contar con redundancias que garanticen el frenado seguro en caso de falla del sistema principal. Del mismo modo, los componentes hidráulicos deben estar protegidos contra fugas y sobrepresiones, ya que cualquier pérdida de fluido puede poner en riesgo la integridad del equipo y del operador. (Bonilla, 2024).

La emisión de gases producto de la combustión de motores diésel representa un riesgo significativo en espacios confinados, por lo que se ha avanzado hacia la incorporación de motores eléctricos o híbridos en ciertos tipos de maquinaria. Esta transición tecnológica permite reducir la concentración de gases tóxicos y mejorar las condiciones de trabajo, aunque implica desafíos adicionales en términos de autonomía, mantenimiento y compatibilidad con la infraestructura eléctrica disponible. Adicionalmente, el diseño de los sistemas de escape y los compartimientos de refrigeración debe asegurar que el calor generado por la operación del equipo no contribuya a elevar la temperatura del entorno



a niveles peligrosos para la salud de los trabajadores. (Chipana y Gonzales, 2024).

El mantenimiento técnico constituye una condición inherente e ineludible dentro del ciclo de vida del diseño de maquinaria pesada, especialmente en el contexto de operaciones subterráneas donde las condiciones adversas exigen una alta confiabilidad de los equipos. Desde la fase de fabricación, los diseñadores y fabricantes deben integrar criterios que faciliten no solo la operación eficiente del equipo, sino también su mantenimiento periódico y correctivo. Para ello, es fundamental que se garantice la facilidad de acceso a los componentes críticos, tales como motores, sistemas hidráulicos, frenos, filtros y conexiones eléctricas, ya que estos elementos requieren inspecciones regulares, ajustes o reemplazos programados. Asimismo, la disposición modular de las piezas reemplazables no solo facilita su sustitución rápida, sino que también disminuye los tiempos de inactividad y reduce los riesgos para el personal técnico al evitar maniobras complejas o peligrosas en espacios confinados. (Quesquen, 2024).

Otro aspecto crucial es la compatibilidad de la maquinaria con herramientas estándar utilizadas comúnmente en labores de mantenimiento subterráneo. Cuando el diseño técnico del equipo no toma en cuenta estas necesidades, se generan dificultades operativas que pueden retrasar las intervenciones necesarias o incluso provocar su omisión. En consecuencia, la probabilidad de fallas mecánicas durante la operación aumenta considerablemente, comprometiendo tanto la seguridad del operador como la eficiencia del proceso productivo. Esta situación se agrava si no existen protocolos claros para el mantenimiento



preventivo o si el personal no cuenta con la capacitación adecuada para ejecutar tareas técnicas bajo condiciones extremas de temperatura, humedad, iluminación limitada y ventilación restringida. (Garcia, 2025).

Gestión de la seguridad ocupacional en minería subterránea

La gestión de la seguridad ocupacional en minería subterránea es considerado como estratégico para asegurar la protección integral de la salud física y mental de todos los trabajadores involucrados en esta actividad, particularmente debido a las condiciones extremas y a la complejidad inherente del entorno subterráneo. Este ámbito industrial se caracteriza por una exposición permanente a una serie de riesgos que abarcan múltiples dimensiones, incluyendo peligros físicos como caídas de rocas, vibraciones y movimientos de maquinaria pesada; riesgos químicos derivados de la presencia de gases tóxicos y polvo; riesgos mecánicos relacionados con la operación de equipos y herramientas; así como riesgos ambientales producto de la humedad, temperatura variable y ventilación insuficiente. La confluencia de estos factores aumenta considerablemente la probabilidad de accidentes laborales y la aparición de enfermedades profesionales, por lo que la gestión adecuada de estos riesgos es imprescindible para minimizar impactos negativos sobre la salud y la seguridad del personal. (Huanes, 2021).

En contraste con otros sectores industriales donde los riesgos pueden ser más predecibles o controlables, la minería subterránea presenta particularidades que exigen un enfoque especializado y multifacético en materia de seguridad. Por ello, la gestión de la seguridad ocupacional debe trascender la mera aplicación de medidas correctivas o protocolos reactivos frente a incidentes, para consolidarse como un sistema integral,



estructurado y dinámico. Este sistema debe estar fundamentado en el desarrollo y la implementación de políticas claras, la definición de procesos estandarizados, la asignación adecuada de recursos humanos, técnicos y financieros, así como en la promoción de una cultura organizacional que valore la prevención, el compromiso colectivo y el respeto por las normativas vigentes. De esta forma, la gestión de la seguridad no se limita a cumplir con exigencias regulatorias, sino que se convierte en un motor para la mejora continua y la sostenibilidad de las operaciones mineras. (Castillo, 2025).

Dentro de este marco, la gestión efectiva implica una planificación sistemática que abarca desde la identificación y evaluación de riesgos hasta la aplicación de controles preventivos y correctivos. Esto incluye la formación constante del personal, el monitoreo de condiciones ambientales, la implementación de tecnologías para la detección temprana de peligros, y la promoción de hábitos seguros que reduzcan la incidencia de accidentes y enfermedades laborales. Asimismo, la gestión debe contemplar mecanismos para la participación activa de los trabajadores, quienes son actores clave en la identificación de riesgos y en la generación de propuestas para su mitigación. La comunicación fluida entre todos los niveles jerárquicos y el establecimiento de canales efectivos para el reporte de incidentes o condiciones inseguras son componentes esenciales para fortalecer este sistema integral. (Olivares, 2021).

Uno de los pilares fundamentales en esta gestión es la identificación y evaluación sistemática de riesgos, una tarea que requiere el uso de metodologías especializadas como el Análisis de Riesgos en Tareas Críticas “ARTC”, Análisis de Seguridad del Trabajo “AST”, Árbol de Fallas y el Análisis



de Modo y Efecto de Falla “AMEF”. Estas herramientas permiten no solo detectar peligros inherentes a las tareas o al entorno, sino también establecer probabilidades de ocurrencia y consecuencias potenciales, a fin de priorizar acciones preventivas y correctivas. En el caso específico de la maquinaria pesada operada en espacios confinados, esta evaluación cobra una relevancia aún mayor, ya que la combinación de factores como visibilidad reducida, ventilación limitada, ruido excesivo y desplazamiento de cargas pesadas incrementa significativamente el nivel de exposición al riesgo. (Ayosa, 2022).

Además de la evaluación de riesgos, la planificación y ejecución de controles operativos es otro eje clave en la gestión de la seguridad. Esto incluye la implementación de medidas de ingeniería, como sistemas de ventilación adecuados, señalización luminosa, sensores de proximidad, frenos de emergencia y enclavamientos automáticos, así como medidas administrativas como protocolos de bloqueo y etiquetado, permisos de trabajo, rutinas de inspección y mantenimiento preventivo. Todo esto debe estar debidamente documentado y actualizado dentro del sistema de gestión, siguiendo lo establecido por normas internacionales como la ISO 45001:2018, que promueve un enfoque basado en riesgos y en la mejora continua. (Casas et al., 2022).

Otro aspecto determinante en la gestión de la seguridad ocupacional en minería subterránea es el fortalecimiento de la cultura preventiva dentro de la organización. Esto implica un cambio de paradigma en el que la seguridad no sea vista como una obligación externa o un cumplimiento normativo, sino como un valor arraigado en las prácticas cotidianas de todos los trabajadores. Para lograrlo, es fundamental el compromiso visible



de la alta dirección, la participación activa de los trabajadores en los comités de seguridad y salud, y la ejecución de programas permanentes de capacitación, sensibilización y simulacros. En especial, la formación debe enfocarse en el reconocimiento de riesgos críticos, el uso correcto de equipos de protección personal, las rutas de evacuación y los procedimientos de respuesta ante emergencias, con énfasis en escenarios realistas y específicos del entorno subterráneo. (Castelo, 2020).

Por otro lado, la gestión eficaz de la seguridad también requiere una articulación con el marco legal y regulatorio vigente, tanto a nivel nacional como internacional. En Ecuador, el Reglamento de Seguridad y Salud para el Ámbito Minero establece disposiciones específicas para la protección del trabajador en actividades subterráneas, incluyendo la obligación de contar con un sistema de gestión de riesgos, la evaluación médica periódica del personal, el control de contaminantes ambientales y la fiscalización por parte de la autoridad competente. A esto se suman las normas técnicas INEN aplicables y los convenios de la Organización Internacional del Trabajo “OIT”, como el Convenio 176 sobre seguridad y salud en las minas, ratificado por varios países de la región. El cumplimiento de estas disposiciones no solo es un requisito legal, sino también una condición ética y estratégica que contribuye a la sostenibilidad del sector minero. (Cántaro et al., 2023).

La gestión de la seguridad en minería subterránea constituye un proceso dinámico y en constante evolución, determinado por múltiples factores que interactúan de forma simultánea: los avances tecnológicos, los cambios normativos a nivel local e internacional, las crecientes exigencias sociales en torno al respeto por la vida y la salud de los trabajadores, y,



especialmente, las lecciones aprendidas a partir de incidentes y accidentes previos. Esta naturaleza cambiante obliga a las organizaciones a adoptar un enfoque sistémico, flexible y proactivo, donde la seguridad no se perciba como una obligación puntual ni como una responsabilidad exclusiva del área de salud ocupacional, sino como un valor corporativo transversal que debe integrarse de manera plena en todos los niveles jerárquicos y etapas del proceso minero. (Ccapa y Manzanedo, 2025).

En este proceso, el uso combinado de indicadores proactivos como inspecciones planificadas, observaciones conductuales y evaluación de la cultura preventiva y reactivos como tasas de accidentabilidad, severidad o días perdidos resulta clave para tener una visión completa del desempeño en seguridad. A su vez, la integración de tecnologías digitales como sensores inteligentes para detectar gases, monitorear vibraciones o controlar condiciones atmosféricas; softwares especializados en gestión de riesgos; aplicaciones móviles para reportes inmediatos; y plataformas de comunicación en tiempo real aporta un valor estratégico a la toma de decisiones basada en datos verificables, oportunos y contextualizados. Esta transformación digital no solo permite optimizar la respuesta ante situaciones de emergencia, sino también anticiparse a eventos críticos mediante análisis predictivos y modelación de escenarios de riesgo. (Jerez y Montero, 2021).

Incidencia de la fatiga laboral en la operación segura de maquinaria pesada

La fatiga laboral representa uno de los factores psicosociales más significativos y complejos en la operación de maquinaria pesada, especialmente en entornos de alta demanda física y mental como la minería



subterránea. Esta condición se define como una reducción progresiva del rendimiento tanto físico como cognitivo del trabajador, provocada por esfuerzos continuos, jornadas prolongadas y la ausencia de descansos adecuados que permitan la recuperación integral del organismo. La fatiga no solo afecta la capacidad física, sino que también incide profundamente en funciones cognitivas esenciales como la atención, la memoria, la percepción y el juicio, elementos indispensables para la operación segura y eficiente de equipos complejos en donde la precisión y la rapidez de respuesta son vitales. Numerosos estudios y reportes de organismos internacionales han identificado la fatiga laboral como una causa directa o factor coadyuvante en una alta proporción de incidentes y accidentes operativos, especialmente en sectores donde las condiciones laborales exigen altos niveles de concentración y resistencia física. (Bravo et al., 2025).

La fatiga compromete gravemente la capacidad para mantener un estado de alerta constante, elemento crítico para detectar a tiempo señales de peligro y reaccionar de manera adecuada ante situaciones imprevistas. La disminución en el tiempo de reacción, la reducción en la capacidad de tomar decisiones acertadas y la alteración en la coordinación motora son manifestaciones comunes de esta condición, y pueden traducirse en errores operativos que, en espacios confinados y con márgenes mínimos de tolerancia para el error, pueden derivar en accidentes de gran magnitud. Esta vulnerabilidad se incrementa cuando las jornadas laborales superan las ocho horas habituales, cuando se incorporan turnos nocturnos o rotativos que alteran los ritmos circadianos naturales, o cuando las condiciones físicas del entorno laboral como insuficiente iluminación,



ventilación deficiente, ruido constante o ausencia de ergonomía adecuada contribuyen a un desgaste acelerado del trabajador. (Sierra et al., 2020).

Cabe mencionar que, la fatiga laboral no solo afecta el rendimiento individual, sino que también tiene repercusiones a nivel organizacional, ya que incrementa la probabilidad de incidentes que pueden causar daños materiales, interrupciones en la producción y costos asociados a accidentes laborales y enfermedades ocupacionales. Por ello, la gestión adecuada de esta problemática implica la implementación de políticas de prevención que consideren aspectos como la planificación racional de los turnos, la promoción de pausas activas y descansos suficientes, el monitoreo constante del estado de salud y bienestar de los operadores, y la creación de entornos laborales que minimicen los factores estresantes y agotadores. (Valero Sánchez, 2025).

Desde el punto de vista fisiológico, la fatiga laboral se manifiesta a través de somnolencia, pérdida de concentración, disminución del tiempo de reacción y errores en tareas rutinarias. A nivel cognitivo, puede inducir a una falsa sensación de control, subestimación del riesgo o incluso a la ejecución automática de maniobras sin conciencia plena de las consecuencias. En operadores de maquinaria pesada, estos efectos pueden derivar en situaciones como colisiones, atropellos, volcamiento de equipos, errores de navegación y fallas en la interpretación de señales de advertencia. Particularmente en espacios confinados del entorno minero subterráneo, donde la visibilidad es limitada, el espacio para maniobrar es estrecho y la proximidad a otros trabajadores o equipos es constante, estos errores pueden tener consecuencias catastróficas tanto para el operador



como para sus compañeros de trabajo. (Moncada Gonzalez & Navarro Pabón, 2023).

Diversas investigaciones han señalado la necesidad de establecer controles organizacionales que mitiguen la incidencia de la fatiga laboral. Entre estos, se destacan la planificación de turnos de trabajo que respeten los ciclos circadianos, la inclusión de pausas activas programadas, la rotación de tareas para reducir la monotonía y la implementación de políticas de sueño adecuado, incluso fuera del entorno laboral. En países con marcos regulatorios más estrictos, se exige que los operadores de maquinaria pesada cumplan con evaluaciones periódicas de aptitud psicofisiológica y programas de vigilancia de la fatiga. En el ámbito internacional, la Organización Internacional del Trabajo “OIT” y la ISO 45003:2021 sobre salud psicosocial en el trabajo también reconocen la fatiga como un riesgo que debe ser gestionado con el mismo nivel de seriedad que los peligros físicos o químicos. (Cheje et al., 2020).

La implementación de tecnologías de monitoreo también ha mostrado resultados prometedores en la prevención de incidentes asociados a la fatiga. Sensores biométricos instalados en cascos o asientos, cámaras de seguimiento ocular, sistemas de monitoreo de postura o de parpadeo, e incluso algoritmos de inteligencia artificial que detectan patrones de conducción erráticos, pueden ser integrados en los equipos pesados para alertar al operador y al supervisor en caso de síntomas evidentes de fatiga. Sin embargo, estas herramientas deben complementarse con una cultura organizacional que no penalice el reporte de cansancio o agotamiento, sino que lo entienda como una condición humana que debe gestionarse desde la empatía y la responsabilidad compartida. (Martínez et al., 2021).



Accidentes laborales asociados al uso de maquinaria pesada en espacios confinados

Los accidentes laborales relacionados con la operación de maquinaria pesada en espacios confinados constituyen uno de los retos más significativos para la seguridad dentro del ámbito de la minería subterránea, debido a la severidad de sus consecuencias y a la complejidad inherente del entorno donde ocurren. Estos incidentes, que afectan no solo la integridad física de los trabajadores involucrados, sino también la continuidad operativa y la reputación de las empresas mineras, requieren una atención especial y un enfoque preventivo riguroso por parte de los responsables de seguridad y salud ocupacional. Los espacios confinados, por definición, presentan limitaciones sustanciales para la movilidad, además de restringir la visibilidad y dificultar la capacidad de evacuación rápida ante situaciones de emergencia, condiciones que, cuando se combinan con la manipulación de maquinaria pesada equipos de gran tamaño, potencia y complejidad técnica, multiplican de forma significativa la probabilidad de que ocurran accidentes con consecuencias graves o fatales. (García, 2023).

Las características físicas de los túneles, galerías y rampas estrechas donde se desarrollan las operaciones mineras subterráneas configuran un escenario desafiante para la gestión del riesgo. La limitada amplitud de estos espacios obliga a que la circulación de maquinaria y personal sea extremadamente controlada, mientras que las condiciones de baja iluminación, la presencia de polvo y gases, así como la configuración irregular del terreno, agravan la dificultad de maniobra y la detección oportuna de obstáculos. La interacción entre operadores y maquinaria pesada se convierte en un punto crítico que, de no ser gestionado



adecuadamente, puede desembocar en incidentes como colisiones, atropellos, atrapamientos y vuelcos, los cuales constituyen una fuente frecuente de accidentes dentro de las minas subterráneas. La naturaleza multifactorial de estos accidentes requiere que las estrategias de prevención contemplen no solo aspectos técnicos, sino también factores humanos, organizacionales y ambientales. (OPS, 2022).

Datos estadísticos recientes, recogidos en diversas regiones con alta actividad minera, demuestran que una proporción considerable de los accidentes reportados en minas subterráneas está vinculada directamente a la operación y movimiento de maquinaria pesada en espacios confinados. Este hecho evidencia la importancia de implementar protocolos específicos de gestión de riesgos que aborden las particularidades del entorno subterráneo, así como de fortalecer los sistemas de supervisión y control operativo. La formación y capacitación continua de los operadores, el mantenimiento riguroso de los equipos, la optimización de los sistemas de comunicación y la adopción de tecnologías que mejoren la visibilidad y la detección de obstáculos son medidas indispensables para reducir la incidencia de accidentes. Además, la promoción de una cultura de seguridad que involucre a todos los niveles de la organización es fundamental para garantizar la adherencia a los procedimientos establecidos y fomentar la responsabilidad compartida en la prevención. (Villaseñor, 2019).

Entre los tipos de accidentes más frecuentes se encuentran las colisiones entre maquinaria pesada y otros vehículos o estructuras, atrapamientos de trabajadores en puntos de enganche o mecanismos móviles, vuelcos en pendientes o superficies irregulares, y atropellos causados por maniobras



en zonas con baja visibilidad. Estos eventos pueden estar originados por diversas causas que incluyen errores humanos como la distracción, la fatiga o la falta de capacitación adecuada, así como por fallos técnicos debido a mantenimiento insuficiente o defectos en los sistemas de control y frenado. (Ulises et al., 2019).

El análisis de reportes de incidentes muestra que, en muchos casos, la ocurrencia de accidentes no es producto de un único factor sino de la combinación de múltiples elementos que interactúan de manera compleja. Un operador fatigado que maneja maquinaria en un espacio confinado con poca ventilación y visibilidad limitada, y que además se encuentra en un turno prolongado, se enfrenta a un entorno propenso a la ocurrencia de eventos adversos. Esta realidad pone de manifiesto la importancia de adoptar una visión integral de la seguridad que incluya no solo aspectos técnicos y mecánicos, sino también factores humanos, organizacionales y ambientales. La implementación de programas de capacitación continua, protocolos de mantenimiento riguroso y sistemas de supervisión tecnológica puede contribuir a reducir significativamente la frecuencia y gravedad de estos accidentes. (Lozano y Redroban, 2023).

Asimismo, la falta de una cultura preventiva sólida y la ausencia de mecanismos efectivos para reportar condiciones inseguras o casi accidentes son factores que limitan de forma significativa la mejora continua en la gestión de la seguridad. En muchos entornos mineros subterráneos, persiste una cultura reactiva, donde las acciones se toman únicamente después de ocurridos los incidentes, lo cual impide establecer estrategias sostenibles de prevención. Esta carencia no solo se manifiesta en la limitada capacidad para anticiparse a los riesgos, sino también en la



escasa disposición institucional para invertir recursos en herramientas de evaluación proactiva, auditorías internas y retroalimentación operativa constante. Además, en contextos donde los trabajadores no se sienten respaldados al momento de reportar situaciones de riesgo ya sea por temor a represalias, por indiferencia organizacional o por falta de canales formales se pierde valiosa información que podría ser utilizada para fortalecer los sistemas de seguridad. (Pormache, 2024).

Las empresas que no fomentan la participación activa y comprometida de los trabajadores en la identificación, evaluación y mitigación de riesgos, o que no priorizan la capacitación continua y especializada para operadores de maquinaria pesada, están mucho más expuestas a sufrir incidentes recurrentes, con consecuencias tanto humanas como económicas. La falta de formación específica en el manejo seguro de equipos en espacios confinados agrava las posibilidades de error humano, y contribuye a mantener prácticas operativas inseguras. (Herrera, 2023).

Discusión

La operación de maquinaria pesada en espacios confinados dentro de la minería subterránea representa un foco crítico para la gestión de riesgos debido a las múltiples condiciones adversas que confluyen en este entorno, aumentando significativamente la probabilidad de accidentes laborales y afectaciones a la salud de los trabajadores. La revisión de los factores técnicos, humanos, organizacionales y ambientales que intervienen en esta problemática evidencia la necesidad de adoptar un enfoque integral y multidisciplinario para la prevención y control de riesgos. El estudio de García (2023), confirma que, más allá de las características propias del



equipo, el entorno y la gestión operativa determinan en gran medida el nivel de seguridad en las operaciones mineras subterráneas.

La restricción espacial en galerías, túneles y rampas estrechas limita considerablemente la maniobrabilidad de la maquinaria pesada, incrementando el riesgo de colisiones, atrapamientos y vuelcos. Este factor es ampliamente reconocido en la literatura especializada y en normativas internacionales que regulan la operación minera. La ISO 17776 establece directrices específicas para la gestión de riesgos en minería subterránea, enfatizando la adaptación del diseño del equipo a las dimensiones del entorno y la necesidad de tecnologías que permitan mejorar la visibilidad y la comunicación en tiempo real. Las Normativas del Sector Minero (2020), confirman que la maquinaria con diseño compacto y sistemas de dirección articulada es más adecuada para estos espacios confinados, ya que facilita maniobras seguras sin sacrificar la estabilidad ni la productividad. Sin embargo, la simple adaptación técnica no es suficiente si no se acompaña de capacitación continua y protocolos operativos estrictos que reduzcan la probabilidad de error humano.

El factor humano emerge como uno de los elementos más determinantes en la ocurrencia de accidentes en este tipo de operaciones. La fatiga laboral, la falta de entrenamiento adecuado, el estrés y la presión por cumplir con objetivos productivos son causas recurrentes identificadas en la investigación. La fatiga, en particular, disminuye la capacidad de alerta y el tiempo de reacción, condiciones críticas cuando se opera maquinaria en un entorno con márgenes reducidos para el error. Este hallazgo coincide con estudios recientes sobre factores psicosociales en minería subterránea, que señalan la importancia de gestionar los horarios de



trabajo, establecer pausas activas y promover la salud mental para mitigar riesgos. Además, la ergonomía del puesto de operación y la calidad del ambiente laboral, incluyendo iluminación, ventilación y reducción de vibraciones, influyen directamente en el desempeño y seguridad del operador. Por ende, la gestión de la seguridad no puede limitarse a aspectos técnicos, sino que debe incluir políticas que consideren el bienestar integral del trabajador. (Useda, 2020).

En cuanto a la gestión organizacional, el estudio evidencia que la implementación de sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo “SG-SST”, alineados con normativas nacionales e internacionales, es fundamental para la reducción efectiva de riesgos. La existencia de procedimientos claros, la asignación de responsabilidades, la supervisión continua y la cultura de reporte de incidentes y condiciones inseguras son pilares indispensables para la prevención de accidentes. Sin embargo, la investigación revela que en muchos casos, las deficiencias en la comunicación interna y la falta de participación activa de los trabajadores limitan la efectividad de estos sistemas. Por ello, promover una cultura organizacional que fomente la corresponsabilidad y la mejora continua se presenta como un desafío clave para las empresas mineras. (Amponsah y Mensah, 2021).

La incorporación de tecnologías emergentes representa una oportunidad significativa para mejorar la seguridad en la operación de maquinaria pesada en espacios confinados. Sensores de proximidad, cámaras de vigilancia, sistemas de alerta temprana y monitoreo biométrico son herramientas que pueden reducir la ocurrencia de accidentes al proporcionar información en tiempo real tanto a operadores como a



supervisores. No obstante, la adopción de estas tecnologías debe estar acompañada por capacitación especializada y mantenimiento adecuado, para evitar fallos técnicos que puedan generar riesgos adicionales. Además, el uso de tecnologías no debe sustituir la responsabilidad humana ni la aplicación rigurosa de procedimientos, sino complementarlas dentro de un sistema integrado de gestión de riesgos. (Martínez et al., 2021).

El análisis de casos de accidentes recientes y reportes estadísticos refuerza la importancia de una gestión proactiva del riesgo, centrada en la identificación temprana de peligros y la implementación de medidas preventivas efectivas. La integración de la participación de los trabajadores en la identificación de riesgos y en el diseño de soluciones se muestra como una práctica exitosa para mejorar el nivel de seguridad y fomentar un sentido de pertenencia y compromiso. Asimismo, la evaluación constante de los protocolos y la actualización de los mismos conforme a los avances tecnológicos y cambios en las condiciones operativas son acciones necesarias para mantener la eficacia del sistema de seguridad. (Lomas, 2019).

El cumplimiento de estándares y regulaciones es un requisito indispensable, pero no suficiente, para garantizar la seguridad en la operación de maquinaria pesada en espacios confinados. La evidencia sugiere que la simple existencia de normativas no asegura su efectiva aplicación, siendo necesario un acompañamiento constante por parte de las autoridades competentes, auditorías periódicas y sanciones cuando se detecten incumplimientos. Esto refuerza la necesidad de que las organizaciones mineras desarrollen políticas internas que superen los



mínimos legales y que promuevan la excelencia en seguridad laboral como parte de su estrategia corporativa. (Florez et al., 2022).

El impacto social y económico de los accidentes laborales en minería subterránea subraya la relevancia de este estudio. Las consecuencias no solo afectan a los trabajadores y sus familias, sino que también generan pérdidas económicas significativas para las empresas, debido a paros operativos, costos legales y daño reputacional. La inversión en prevención, capacitación y tecnología, aunque implique un costo inicial, representa una estrategia rentable a largo plazo que contribuye a la sostenibilidad del sector y a la protección del capital humano. (Herrera, 2020).

Conclusión

El análisis de los riesgos críticos asociados a la operación de maquinaria pesada en espacios confinados en minería subterránea evidencia que este es un tema complejo y además es multidimensional que requiere atención prioritaria dentro de la gestión de seguridad y salud ocupacional. Las condiciones particulares del entorno subterráneo, caracterizadas por espacios reducidos, visibilidad limitada y condiciones ambientales adversas, aumentan significativamente la probabilidad de accidentes, lo que subraya la necesidad de adaptar tanto el diseño técnico de la maquinaria como las prácticas operativas a estas exigencias específicas.

El diseño compacto y especializado de la maquinaria pesada, con sistemas de dirección articulada y tecnologías complementarias de monitoreo, constituye un factor clave para minimizar riesgos y facilitar maniobras seguras en galerías y túneles estrechos. Sin embargo, el éxito en la prevención de incidentes depende también del factor humano, destacándose la importancia de la capacitación continua, el manejo



adecuado de la fatiga laboral y la promoción de condiciones ergonómicas óptimas para los operadores. La fatiga emerge como un factor psicosocial crítico que afecta el rendimiento y la seguridad, especialmente en turnos prolongados o rotativos, por lo que su gestión debe ser una prioridad en las políticas de seguridad.

Además, la gestión organizacional se identifica como un pilar fundamental para la prevención de accidentes. La implementación efectiva de sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, junto con una cultura organizacional que fomente la participación activa de los trabajadores y la comunicación abierta sobre riesgos, mejora notablemente la capacidad para identificar y controlar peligros. La integración de tecnologías emergentes representa una oportunidad valiosa, siempre que se acompañe de formación y mantenimiento adecuados.

El estudio resalta que el cumplimiento normativo es indispensable, pero no suficiente por sí solo para garantizar la seguridad. La mejora continua, basada en la evaluación constante, la actualización de procedimientos y el compromiso institucional, es esencial para enfrentar los desafíos que plantea la operación de maquinaria pesada en espacios confinados. La protección de los trabajadores, la continuidad operativa y la sostenibilidad del sector minero dependen de una gestión integral que considere todos estos elementos de manera articulada y proactiva.

Recomendaciones

Se recomienda reforzar la evaluación previa de riesgos en todas las etapas del ciclo operativo de la maquinaria pesada en minería subterránea, considerando no solo los factores técnicos y estructurales del equipo, sino también las condiciones dinámicas del entorno subterráneo. Esta



evaluación debe ser periódica y sistemática, incorporando metodologías actualizadas que permitan identificar peligros latentes como fallas mecánicas, condiciones de ventilación insuficientes, iluminación deficiente o presencia de gases tóxicos. La incorporación de sistemas de monitoreo continuo, como sensores de proximidad, cámaras de visión periférica y alarmas inteligentes, puede mejorar la capacidad de reacción frente a situaciones críticas, reduciendo así el margen de error humano y técnico en espacios confinados.

Asimismo, se recomienda implementar programas de formación continua y especializada para los operadores de maquinaria pesada, con un enfoque en el manejo seguro dentro de túneles y galerías, la interpretación de señales visuales y auditivas, y la correcta reacción ante emergencias. También es fundamental integrar módulos sobre factores psicosociales, como la gestión de la fatiga, el estrés y la presión laboral, con el fin de mejorar la salud mental de los trabajadores y reducir la probabilidad de errores operativos por cansancio o desconcentración.

Se sugiere además optimizar el diseño y mantenimiento de la maquinaria empleada en entornos subterráneos, privilegiando configuraciones compactas, direcciones articuladas, cabinas con visibilidad ampliada y sistemas automatizados de alerta. Las empresas deben establecer protocolos estrictos de inspección técnica y mantenimiento preventivo, asegurando que cada equipo se encuentre en condiciones óptimas antes de su operación. Este proceso debe estar documentado y supervisado por personal competente, con trazabilidad de fallas anteriores y acciones correctivas adoptadas.



Por otra parte, es recomendable fortalecer la cultura organizacional en torno a la seguridad, promoviendo espacios de diálogo, retroalimentación y participación activa de los trabajadores en la identificación de riesgos y diseño de soluciones. La seguridad debe dejar de ser una imposición normativa para convertirse en un valor compartido por todos los niveles jerárquicos de la organización. Esto implica también el compromiso de la alta dirección en la asignación de recursos, tiempo y personal para la implementación de sistemas de gestión robustos que integren seguridad.



Referencias

- Ajith, M. M., Ghosh, A. K., & Jansz, J. (2021). A mixed-method investigation of work, government and social factors associated with severe injuries in artisanal and small-scale mining (ASM) operations. *Safety Science*, 138. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2021.105244>
- Alania Martinez, D. E. (2023). Identificación de riesgos críticos de seguridad en perforaciones diamantinas subterráneas para el control de accidentabilidad en Consorcio Minero Horizonte S.A. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro de Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/10124>
- Alvarado, L. (2021). SELECCIÓN DE AUTORRESCATADOR MINERO PARA LAS OPERACIONES DE MINERÍA SUBTERRÁNEA A GRAN ESCALA EN ECUADOR [Tesis de grado, Universidad Internacional SEK]. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4435/1/Trabajo%20Final%20LUIS%20DANIEL%20ALVARADO%20GONZALEZ.pdf>
- Amoroso, D., & Orellana, M. (2019). Diagnóstico del control subterráneo y plan de mejora en la mina de la Sociedad Minera Minervilla [Tesis de grado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9223/1/14867.pdf>
- Amponsah, K., & Mensah, J. (2021). Occupational Health and Safety and Organizational Commitment: Evidence from the Ghanaian Mining Industry. *Safety and Health at Work*, 7(5), 225-230. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.01.002>



Arrarás, A. (2023). Riesgos en La Minería Subterránea [Tesis de grado, Universidad FASTA].

http://redi.ufasta.edu.ar:8082/jspui/bitstream/123456789/851/1/Arrar%C3%A1s_HYS_2015.pdf

Ayosa Siancas, J. J. (2022). Propuesta de mejora de la seguridad y salud ocupacional dentro de la minería subterránea. Escuela de Posgrado Newman - EPN, 1.

<https://repositorio.epnewman.edu.pe/handle/20.500.12892/376>

Badri, A., Nadeau, S., & Gbodossou, A. (2023). A new practical approach to risk management for underground mining project in Quebec. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(6), 1145–1158. <https://doi.org/10.1016/J.JLP.2013.04.014>

Benito Quispe, J. L. (2021). Diagnóstico de la gestión actual de seguridad y salud ocupacional para el mejoramiento del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional - Cierre de minas - Mina Pucarajo - Ancash - 2019. Universidad Continental, 2.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10040>

Bonilla, J. (2024). Implementación del sistema de gestión integrado para mejorar el nivel de la seguridad y salud ocupacional en la unidad minera Carahuacra U.E.A. [Tesis de grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. In Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/4515>

Bravo Mendoza, J. H., Vásquez Rodríguez, R. A., & Mueckay Villacis, E. S. D. (2025). Determinación de los niveles de presión sonora a la cual se encuentran expuestos los trabajadores del área operativa de maquinaria pesada de la



mina artesanal a cielo abierto Pincopaz S.A. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/66343>

Cántaro, D., Dioses, O., Moreno, L., & Suarez, G. (2023). Modelo Prolab: Yachay Wasi, Centro de Capacitación en Manejo de Maquinarias Especializadas en Minas Subterráneas [Tesis de grado,

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ].

<https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f7d8cd65-9eee-4712-9863-f27750ac23ff/content> Casal, B., Jasso, N. E., Preciados, R., & Reinoso, K. (2022). Pérdida auditiva y exposición laboral a ruido en minería: una revisión sistemática. Medicina y Seguridad Del Trabajo, 68(266), 36–55.
<https://doi.org/10.4321/S0465-546X2022000100004>

Casas, V. G., Sheyla, A., & Yantas, M. M. (2022). Implementación de un sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional basado en la Norma ISO 45001:2018 en la empresa contratista minera Apminac Pulpera, Arequipa - 2021. Universidad Continental, 2.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12957>

Castelo Quispe, E. (2020). Propuesta de implementación de un sistema en gestión de riesgos en una empresa contratista que tiene participación en minería subterránea en la localidad de Chunta, Apurímac.

Universidad Continental, 1.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8371>

Castillo, J. (2025). La actitud de los trabajadores en mina subterránea para la gestión de accidentes en la extracción de mineral de la EE Ecosem Smelter S.A. compañía minera el Brocal S.A. 2024 [Tesis de grado, Cerro de



Pasco]. In Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/5477>

Cayo, J., & Silva, R. (2024). Sinergia entre automatización y seguridad laboral en trabajos industriales.

CIENCIAMATRIA, 10(1), 328–345. <https://doi.org/10.35381/cm.v10i1.1225>

Ccapa Chuctaya, M. J., & Manzanedo Mamani, F. F. (2025). Estudio Comparativo para la Mejora Operativa en la Instalación de Cimbras en una Mina Subterránea en el Sur del Perú. Repositorio Institucional - UTP, 1.
<http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/12614>

Cheje, W., Herrera, H., Rosas, J., & Velásquez, J. (2020). Impacto de la cultura de seguridad y características del trabajador en la accidentabilidad de una empresa de la mediana minería subterránea [Tesis de grado, Gerens].
<https://core.ac.uk/download/pdf/589156457.pdf>

Chipana Gaspar, R. Y., & Gonzales Evangelista, S. Y. (2024). Implementación de un sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional para reducir accidentes e incidentes en la Empresa Minera Jimriver E. I.

R. L., Tirol, San Ramón, 2023 [Tesis de grado, Universidad Continental]. In Universidad Continental.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14539>

Coache, C. (2021, October). Un mejor entendimiento de NFPA 70E: Uso de las 10 principales infracciones de OSHA para identificar peligros eléctricos conocidos. NFPA. <https://www.nfpa.org/es/news-blogs-and-articles/blogs/2021/10/20/a-better-understanding-of-nfpa-70e-using-osha-top-10-violations-to-identify-known-electrical-hazards>



Díaz, M. (2020). Salud y Seguridad en trabajos de minería. *Aulas y Andamios*, 75-80.

https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/salud_seg_mineria.pdf

Doss, K., Hanshew, A. S., & Mauro, J. C. (2020). Signatures of criticality in mining accidents and recurrent neural network forecasting model. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 537. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2019.122656>

Figueroa, C. (2023). La gestión de riesgos en minería: identificación de peligros y controles esenciales. *Protección y Seguridad*. <https://ccs.org.co/wp-content/uploads/2024/01/Gestion-de-riesgos-en-la-mineria-PS-411.pdf>

Flores Marchena, A. V. (2025). La Metodología 5's y la optimización del Proceso de Mantenimiento y Reparación de los Equipos Pesados de Minería Subterránea en la Compañía Minera Santa Luisa - Huanzala, 2024. UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS E INFORMÁTICA, 2.

<http://repositorio.upci.edu.pe/handle/upci/1307>

Florez, L., Quino, G., Villanueva, Q., & Ramos, E. (2022). Identificación de componentes y herramientas para la gestión de seguridad del título III del reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería que influyen en la mejora de la gestión de riesgos laborales de la actividad minera. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(3), 2566-2595. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V6I3.2404

García. (2023). Prevención de riesgos laborales en la minería: industrias extractivas subterráneas [Tesis de grado, Universidad de Valladolid].



<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/62688/TFG-L3672.pdf;jsessionid=BFC9F66E6BB943379AF3257D10928F22?sequence=1>

Garcia Lapa, R. (2025). Implementación de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo en pequeña minería no metálica-mina Deisi [Tesis de grado, Universidad Continental]. In Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/17238>

Guaycha, C., López, J., Pulluquitin, S., & Vargas, V. (2021). Estudio sobre la afectación del ruido en la minería, una revisión sistemática de las principales afectaciones que presenta para la salud de los trabajadores. *Tesla Revista Científica*, 3(2), e251-e251. <https://doi.org/10.55204/TRC.V3I2.E251>

Herrera, H., & Ortiz, F. (2022). Seguridad, Salud y Prevención de Riesgos en Minería. In Seguridad, Salud y Prevención de Riesgos en Minería. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. <https://doi.org/10.20868/upm.book.10673>

Herrera Huisa, B. I. (2023). Incidencia de la cultura de seguridad en la prevención de accidentes laborales en la empresa Industria Minera Producción Metalmecánica Civil SRL [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro de Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/12527>

Herrera, J. (2019). Introducción a la Minería Subterránea. Universidad Politécnica de Madrid, 1. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.62723>

Herrera, J. (2020). Introducción a la Minería Subterránea. Vol. IV: Métodos de explotación de interior.



Introducción a La Minería Subterránea. Vol. IV: Métodos de Explotación de Interior. <https://doi.org/10.20868/UPM.BOOK.62726>

Huanes, V. (2021). Implementación del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional en la empresa minera no metálica S.M.R.L. Nueva minería N° 5 [Tesis de grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/4637>

Jerez Maldonado, R. M., & Montero Laguado, M. Á. (2021). Prevención y control de accidentes y enfermedades laborales generadas por condiciones de iluminación deficiente en minería subterránea [Tesis de grado, Universidad Francisco de Paula Santander]. <http://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/1627>

Kumar, P., Gupta, S., & Gunda, Y. R. (2020). Estimation of human error rate in underground coal mines through retrospective analysis of mining accident reports and some error reduction strategies. *Safety Science*, 123. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2019.104555>

Lomas, R. S. A. (2019). GESTIÓN DE RIESGO E INCERTIDUMBRE PARA PASAR DE LA FASE DE EXPLORACIÓN AVANZADA A LA FASE DE EXPLOTACIÓN DE UN PROYECTO MINERO A

GRAN ESCALA EN EL ECUADOR. *Revista Científica GeoLatitud*, 2(1), 48–55.

<https://geolatitud.geoenergia.gob.ec/ojs/ojs/index.php/GeoLatitud/article/view/27>

Lööw, J., & Nygren, M. (2019). Initiatives for increased safety in the Swedish mining industry: Studying 30 years of improved accident rates. *Safety Science*, 117, 437–446. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2019.04.043>



- Lozano Ponguillo, A. C., & Redroban Muñoz, Á. E. (2023). Propuesta de mitigación de riesgos laborales en espacios confinados para el desarrollo de trabajos metalmecánicos en la Industria Ferretería Victoria [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25097> Maldonado, L. (2024). Implementación del sistema de control de fatiga y somnolencia en los conductores de equipos livianos para la reducción de incidentes laborales en Sociedad Minera Reliquias S.A.C. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro de Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/11648>
- Martínez, L., Espitia, L., & Vargas, J. (2021). Análisis comparativo de metodologías para la identificación y evaluación de riesgos laborales [Tesis de posgrado, Universidad ECCI]. <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1790/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, Z. (2020). Guías prácticas para situaciones específicas: manejo de riesgos y preparación para respuestas a emergencias mineras Recursos naturales e infraestructura. Naciones Unidas.
- Miranda, R., & Vilca, C. (2020). Reducción del índice de accidentabilidad relacionado con la fatiga laboral en conductores de transporte de mineral S.M.R.L. Las Bravas N° 2 de Ica. Repositorio Institucional - UTP, 3. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/4227>
- Molina, J. M., Vallejo, L., López, S., Soto, D., Torero, J., Molina, A., & Ortiz, A. (2023). IA y nuevas tecnologías aplicadas a la seguridad minera. Protección y



Seuridad, 1. <https://ccs.org.co/wp-content/uploads/2024/01/IA-y-seguridad-minera-PS-411.pdf>

Moncada Gonzalez, Y. A., & Navarro Pabón, H. (2023). Medidas de control de enfermedades laborales generadas por la exposición a aguas subterráneas en minería de carbón. Universidad Francisco de Paula Santander, 2. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6936>

Normativas del Sector Minero. (2020). Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

<https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4339000-reglamento-de-seguridad-y-salud-ocupacional-en-mineria-ed-2020>

Olivares Rebatta, D. A. (2021). Propuesta para la mejora de la gestión de seguridad y salud ocupacional en la empresa minera Southern Perú en la ciudad de Tacna, 2020. Escuela de Posgrado Newman - EPN, 1. <https://repositorio.epnewman.edu.pe/handle/20.500.12892/373>

OPS. (2022). Herramienta Estratégica para la Evaluación de Riesgos (STAR) Conjunto integral de herramientas para la evaluación multiamenaza del riesgo de emergencias de salud. Organización Panamericana de La Salud. <https://doi.org/10.37774/9789275325759>

Otniel, P. (2014). GUÍAS DE OPERACIÓN PARA LA PEQUEÑA MINERÍA. <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/11.prevencion-control-incendios.pdf>

Palomino, L. (2019). Identificar cuales son las medidas de prevención de Nistagmo en trabajadores de minas subterráneas.



<https://repositorio.uniajc.edu.co/server/api/core/bitstreams/a4d94689-6c01-4dfa-bb1e-4b59a2fae9b9/content>

Paredes Crisostomo, D. X. D. (2025). Implementación del plan de seguridad y salud en el trabajo para minimizar los riesgos de accidentes e incidentes en la compañía minera Chungar S. A. A.- U. E. A, mina Alpamarca. Universidad Continental, 2.

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/17473>

Pormache Huamani, R. N. (2024). Estrategias de control de riesgos para reducir los índices de accidentabilidad en la unidad minera Inmaculada, Hochschild Mining S.R.L. - 2023 [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro de Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/11252>

Quesquen Quispe, J. C. (2024). Análisis del nivel de riesgo laboral en exploraciones mineras para implementar un sistema de seguridad y salud ocupacional [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro de Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/10810>

Quiroz, L. (2022). Desarrollo de un Objeto Virtual de Aprendizaje OVA Acerca de Prevención de Accidentes Ocasionados por Acumulación de Gases en Minas Subterráneas de Carbón [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/92933745/Trabajo->

[_Proyecto_de_Grado_Luis_Quiroz_y_Angela_Agudelo-libre.pdf?1666571264=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDesarrollo_de_un_objeto_virtual_de_apren.pdf&Expires=1753376589&Signature=RgioNjaTuqTsF2HdT4eUwYS6p-NN9mnPpJ1ilLr9CUHKpZ0fsgcNwVqAZ6Nj72PRsKfc0HvlUafrdROUU9mN](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/92933745/Trabajo-_Proyecto_de_Grado_Luis_Quiroz_y_Angela_Agudelo-libre.pdf?1666571264=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDesarrollo_de_un_objeto_virtual_de_apren.pdf&Expires=1753376589&Signature=RgioNjaTuqTsF2HdT4eUwYS6p-NN9mnPpJ1ilLr9CUHKpZ0fsgcNwVqAZ6Nj72PRsKfc0HvlUafrdROUU9mN)



RH81CB~MOcA0B4nU

dwjKpk98KoRUXQ~-

LQ5Z~6cFAfQ7s0si4u4GycIS~OyejWIPx2Yr91kREZGf~~qzxJ110ONPD8PIyp
 ZnG8nmrsCwNPjb3pV

jlX~YMmUxrMECj9fTERIg0BmjM29DbrUeDk4SxNDD4QaW1DYVm~JSqmSi
 u1HVC7ao2MmPKZp p1T~YYnNZvNpRowB4iQ6HRB-
 Mggw2lWWwDFGdd4iJuOu4rGwpwIS6D1Nqf6R857WIVO4hi- GV~g &Key-
 Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Ramírez, G., Palma, E., Galindo, D., & Fernández, J. (2024). Guía de Seguridad en Instalaciones Eléctricas en Labores Mineras Subterráneas. In Salud en el Trabajo del Sector Minero y Eléctrico. chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.fondoriesgoslaborales.gov.co/wp-content/uploads/2024/11/GUI%CC%81A-DE-SEGURIDAD-EN-INSTALACIONES- ELE%CC%81CTRICAS-EN-LABORES-MINERAS-SUBTERRA%CC%81NEAS-27.08.2024.pdf

Sierra, M., Giraldo, L. M., & Penagos, Y. M. (2020). Intervención del riesgo mecánico por caída de roca en minería subterránea de oro en la empresa Quintana S.A.S de Remedios Antioquia. Politécnico Grancolombiano, 1. <https://alejandria.poligran.edu.co/handle/10823/2869>

Soto, J. (2020). DIAGNÓSTICO DEL MÉTODO DE PERFORACIÓN Y TRONADURA VIGENTE EN PEQUEÑA MINERÍA SUBTERRÁNEA DISTRITO MINERO CHANCÓN [Tesis de grado,

Universidad de Talca]. In ENAMI. chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/http://dspace.utalca.cl/bitstream/1950/12714/3/2020A000 458.pdf



Ulises, O., Gustavo, R., & Ferney, D. (2019). Condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo, una revisión teórica desde la minería colombiana. Revista Venezolana de Gerencia, 24. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>

Useda, M. (2020). Riesgos operacionales en proyectos de minería subterránea. Revista TEKNOS, 16(1), 19–27. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6382665.pdf>

Valero Sánchez, L. (2025). Minería subterránea moderna [Tesis de grado, Universidad de la Cantabria]. In

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (Vol. 1).
<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/35957> Villaseñor, M. (2019). Seguridad y salud en el trabajo en una empresa minera del estado de Hidalgo [Tesis de grado, Universidad Autónoma Metropolitana]. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/2205/1/183415.pdf>

