

Plan de manejo de explosivos en el proyecto minero Mirador, parroquia Tundayme, cantón El Pangui.

Explosives management plan in the Mirador mining Project, Tundayme parish, El Pangui canton.

Landázuri-Guerrero, Gianni Pavel¹; Flores-Díaz, Juan Carlos².

¹ Universidad Estatal del Sur de Manabí, Maestría en Seguridad, Salud y Ambiente; Ecuador, Jipijapa; <https://orcid.org/0000-0003-1616-2672>; landazuri-gianni8065@unesum.edu.ec

² Universidad Estatal del Sur de Manabí, Maestría en Seguridad, Salud y Ambiente; Ecuador, Jipijapa; <https://orcid.org/0000-0002-5721-9404>; juan.flores@unesum.edu.ec

¹ Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.63618/omd/isi/v4/n3/345>

Cita: Landázuri-Guerrero, G. P., & Flores-Díaz, J. C. (2026). Plan de manejo de explosivos en el proyecto minero Mirador, parroquia Tundayme, cantón El Pangui. *Innova Science Journal*, 4(3), 262-275. <https://doi.org/10.63618/omd/isi/v4/n3/345>

Recibido: 30/05/2026

Aceptado: 08/06/2026

Publicado: 31/07/2026



Copyright: © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC).

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Resumen: El estudio tuvo como objetivo un Plan de Manejo de Explosivos para el proyecto minero Mirador, ubicado en Tundayme, Zamora Chinchipe, a partir de un diagnóstico técnico de sus prácticas operativas y de seguridad. Se desarrolló un enfoque mixto, de carácter aplicado con diseño no experimental, corte transversal y alcance descriptivo-propositivo. La información se obtuvo mediante revisión documental, encuesta a 62 trabajadores, check list de observación y entrevistas a informantes clave. Los resultados mostraron fortalezas en la identificación de explosivos, conocimiento del personal y control básico de la manipulación; sin embargo, persistieron debilidades en trazabilidad documental, transporte interno, actualización de procedimientos y preparación ante emergencias. Se concluyó que la operación requería una herramienta técnica integradora que fortaleciera la prevención, el cumplimiento normativo y la respuesta operativa, convirtiendo la seguridad con explosivos en una práctica más consistente, verificable y sostenible.

Palabras clave: manejo de explosivos; seguridad minera; voladura; gestión del riesgo; prevención operativa.

Abstract: This study aimed to formulate an Explosives Management Plan for the Mirador mining project, located in Tundayme, Zamora Chinchipe, based on a technical diagnosis of its operational and safety practices. A mixed-method, applied approach was adopted, with a non-experimental design, cross-sectional scope, and descriptive-propositional reach. Data were collected through document review, a survey of 62 workers, an observation checklist, and interviews with key informants. The findings revealed strengths in the identification of explosives, staff knowledge, and basic handling control; however, weaknesses persisted in document traceability, internal transport, procedure updating, and emergency preparedness. It was concluded that the operation required an integrated technical tool capable of strengthening prevention, regulatory compliance, and operational response, turning explosives safety into a more consistent, verifiable, and sustainable practice.

Keywords: explosives management; mining safety; blasting; risk management; operational prevention.

1. Introducción

La perforación y voladura siguen siendo operaciones decisivas en la minería a gran escala, no solo por su papel en la fragmentación del macizo rocoso, sino porque condicionan la continuidad operativa, la estabilidad del entorno inmediato y la seguridad de quienes trabajan dentro del área de influencia del proyecto (Maita-Zhigue et al., 2026). En la práctica, una voladura bien ejecutada no se mide únicamente por la eficiencia de arranque, sino por su capacidad para controlar vibraciones, emisiones y efectos colaterales que pueden comprometer equipos, infraestructura, ecosistemas cercanos y salud ocupacional (Trujillo-Huamán y López-Kohler, 2024). Aruna et al. (2025) demostraron que las vibraciones inducidas por voladura continúan siendo uno de los riesgos técnicos más sensibles en minería superficial, mientras que Dudek et al. (2026) evidenciaron que distintos escenarios de voladura también modifican la carga de emisiones gaseosas del proceso, lo que amplía la discusión desde la productividad hacia la seguridad y la gestión ambiental integrada.

Bajo esa premisa, el problema del manejo de explosivos no puede limitarse al instante de la detonación. Su criticidad atraviesa todo el ciclo operativo: adquisición, transporte, almacenamiento, custodia, preparación de carga, uso en campo, verificación posterior y respuesta ante contingencias (Verdezoto-Leon y Bejarano-Naula, 2025). Nowak y Pyra (2025) sostienen que la gestión del riesgo en explosivos exige más que protocolos formales, pues depende también del análisis sistemático de incidentes, de la circulación efectiva de información y de la prevención de prácticas operativas que persisten aun cuando ya se conocen sus peligros. En el caso ecuatoriano, además, el marco legal vigente deja claro que el control sobre explosivos comprende fabricación, comercialización, almacenamiento y tenencia, de modo que su manejo exige trazabilidad técnica y control institucional verificable (Reglamento a la Ley Sobre Armas, Municiones, Explosivos y accesorios, 1997; Zúñiga-Arrobo et al., 2024).

Estudios más recientes determinan que la seguridad en voladuras ya no se aborda solo desde criterios reactivos, sino desde sistemas predictivos y de monitoreo continuo (León-Castillo y Vargas-Cuervo, 2025). Aruna et al. (2025) desarrollaron un aprendizaje automático para monitorear vibraciones inducidas por voladura en tiempo real, que fortalecen la toma de decisiones preventivas y la respuesta temprana frente a niveles peligrosos de vibración. Banasiewicz et al. (2025) comprobaron que las operaciones de voladura pueden intensificar la liberación de gases desde el macizo rocoso hacia las labores mineras, mientras que Dudek et al. (2026) señalan que las decisiones sobre diseño y escenario de voladura repercuten en la magnitud de los humos y emisiones del proceso. El manejo de explosivos se entiende como una actividad de alto impacto integrada en la seguridad operacional, al monitoreo ambiental y la prevención de riesgos (Paredes-Parreño y Calderón-Viveros, 2024).

En el marco legal en Ecuador indica que todas las acciones asociadas a explosivos, como su venta, almacenamiento y tenencia, tienen que seguir rigurosos controles y contar con permisos del estado. Esto exige que las compañías mineras implementen sistemas organizados de seguridad, vigilancia y gestión operativa. A su vez, la Agencia de Regulación y Control Minero reportó en su informe de rendición de cuentas 2024 inspecciones específicas en el Proyecto Mirador, incluyendo el polvorín, la fábrica de explosivos y la revisión de planes de emergencia asociados a infraestructura crítica

(Agencia de Regulación y Control Minero, 2025; Reglamento a la Ley Sobre Armas, Municiones, Explosivos y accesorios, 1997). Este dato no es menor; revela que, en operaciones mineras de gran escala, el manejo de explosivos constituye un foco directo de seguimiento institucional y, por tanto, requiere instrumentos técnicos capaces de sostener el cumplimiento, la prevención y la respuesta operativa con evidencia documentada.

El desarrollo de la minería en el Ecuador, impulsado por proyectos como Mirador, ha fomentado la necesidad de fortalecer la supervisión y control de las actividades relacionadas con explosivos y planes de emergencia (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2024).

En ese marco, el presente estudio se orienta a formular un Plan de Manejo de Explosivos para el proyecto minero Mirador, ubicado en la parroquia Tundayme, cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe, con el propósito de fortalecer la protección del personal, mejorar el cumplimiento normativo y aumentar la eficacia de las operaciones vinculadas al uso de explosivos. La propuesta se sostiene en una necesidad concreta: pasar de una lógica dispersa de control a una estructura técnica integrada que permita identificar los explosivos y accesorios utilizados, diagnosticar los procedimientos existentes y establecer medidas preventivas y de respuesta ante emergencias. Desde esa perspectiva, el artículo busca convertir en una herramienta fundamental operativa aplicable a los objetivos del estudio, aportando así mismo al proyecto de vinculación con la sociedad de la maestría en seguridad, salud y ambiente de la Universidad Estatal del Sur de Manabí mediante propuestas orientadas al fortalecimiento de la seguridad y prevención de riesgos en el sector minero.

2. Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, con predominio descriptivo, debido a que el problema estudiado exigió comprender tanto elementos observables del manejo de explosivos como percepciones, prácticas y criterios técnicos presentes en la operación (Hernández-Sampieri et al., 2014). Su naturaleza fue aplicada, ya que no se orientó a una discusión meramente teórica, sino a la formulación de una propuesta concreta de mejora para el proyecto minero Mirador. El diseño fue no experimental, porque las variables no se manipularon de manera deliberada, y el corte fue transversal, dado que la información se recolectó en un momento específico del proceso operativo. A ello se sumó un alcance descriptivo-propositivo, pues primero se caracterizó el estado del manejo de explosivos y, a partir de ese diagnóstico, se estructuró el Plan de Manejo de Explosivos como respuesta técnica a las brechas detectadas. Esta decisión metodológica guardó plena correspondencia con el objetivo general y con los objetivos específicos del estudio, orientados a identificar, diagnosticar y proponer (Hernández-Sampieri et al., 2014).

El área de estudio estuvo constituida por el proyecto minero Mirador, ubicado en la parroquia Tundayme, cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe. La delimitación del estudio comprendió al personal que mantenía relación directa o funcional con el ciclo de manejo de explosivos. Esta decisión respondió a un criterio técnico elemental: el problema de investigación no se centró en la seguridad general de la mina, sino en un proceso especializado que involucró actividades de recepción, almacenamiento, custodia, despacho, manipulación, uso operativo y respuesta ante contingencias

asociadas a materiales explosivos. Desde esa lógica, la unidad de análisis quedó restringida a quienes intervenían de manera real en dicho circuito, evitando extender el estudio hacia áreas que, aunque pertenecieran al proyecto, no incidían directamente en la problemática examinada.

La población de estudio se estimó en 62 trabajadores, cifra definida a partir de la estructura operativa vinculada al manejo de explosivos dentro del proyecto. Este universo estuvo conformado por artilleros, auxiliares de voladura, responsables de polvorín y despacho, operadores asociados a la preparación o gestión de explosivos, supervisores de perforación y voladura, técnicos de seguridad y salud ocupacional, así como personal de apoyo logístico relacionado con el transporte interno y control del material. Debido a que se trató de una población especializada, acotada y funcionalmente identificable, se trabajó con un muestreo censal, incorporando a la totalidad de los trabajadores estimados. En paralelo, se seleccionó de forma intencional a seis informantes clave, elegidos por su nivel de responsabilidad y conocimiento del proceso: un supervisor de mina, un responsable de perforación y voladura, un encargado de polvorín, un técnico de seguridad y salud ocupacional, un responsable de emergencias y un representante del área ambiental o de cumplimiento.

Para la recolección de la información se utilizaron cuatro técnicas: revisión documental, encuesta estructurada, observación directa y entrevista semiestructurada. La revisión documental permitió reconocer el marco operativo y normativo del manejo de explosivos dentro del proyecto, mediante el análisis de registros de voladura, inventarios o kardex, formatos de despacho, reportes de incidentes, procedimientos internos, evidencias de capacitación, planes de emergencia y demás documentos relacionados con el control del material explosivo (Martínez-Corona et al., 2023). Para esta fase se empleó una ficha de revisión documental y una matriz de cumplimiento legal y técnico, organizada en dimensiones como almacenamiento, transporte, uso operativo, formación del personal, respuesta ante emergencias y trazabilidad documental.

La encuesta estructurada se aplicó al personal operativo con el propósito de diagnosticar conocimientos, prácticas y niveles de cumplimiento percibido en torno al manejo de explosivos. Para ello se diseñó un cuestionario de 24 ítems, con escala tipo Likert de cinco alternativas de respuesta, distribuido en seis dimensiones: conocimiento sobre explosivos y accesorios, prácticas seguras de manipulación, almacenamiento y despacho, transporte y control interno, cumplimiento de procedimientos y preparación ante emergencias (Machuca-Yaguana et al., 2023).

La observación directa se empleó como una técnica indispensable, sobre todo porque en temas de seguridad no siempre existe coincidencia entre lo que se declara y lo que efectivamente se ejecuta (Haro-Sarango et al., 2024). Para esta fase se elaboró un checklist de 38 ítems, con categorías de respuesta “cumple”, “cumple parcialmente”, “no cumple” y “no aplica”. A través de este instrumento se verificaron aspectos como señalización, control de acceso, condiciones del polvorín, orden y limpieza, segregación de materiales, uso de equipos de protección personal, despacho de explosivos, transporte interno, documentación de control, zonas de exclusión y disponibilidad de medios de respuesta ante emergencias.

La entrevista semiestructurada complementó la información cuantitativa y observacional, permitiendo comprender decisiones, limitaciones y criterios técnicos

presentes en la gestión del proceso. Para ello se utilizó una guía de nueve preguntas, dirigida a los informantes clave previamente definidos. Las entrevistas abordaron temas relacionados con procedimientos de control, formación del personal, cumplimiento normativo, almacenamiento, transporte, incidentes, supervisión y capacidad de respuesta frente a eventos no deseados. Antes de su aplicación definitiva, los instrumentos fueron sometidos a validación por juicio de expertos, con la participación de tres profesionales con experiencia en seguridad minera, salud ocupacional y manejo de explosivos. Esta revisión permitió depurar la redacción de ciertos reactivos, eliminar repeticiones y ajustar algunos indicadores para fortalecer la claridad y pertinencia de los instrumentos. Posteriormente, se realizó una prueba piloto con un grupo reducido de participantes que no formó parte del levantamiento final, con el propósito de verificar comprensión, tiempo de respuesta y factibilidad de aplicación.

El procedimiento de levantamiento se ejecutó en varias fases. En un primer momento se gestionó la autorización para el acceso a información y áreas operativas vinculadas al estudio. Luego se desarrolló la revisión documental, con el fin de reconstruir el flujo del manejo de explosivos y reconocer los instrumentos de control ya existentes. En una fase posterior se aplicó la encuesta al personal censado y, de manera paralela, se llevó a cabo la observación directa en los espacios autorizados. Más adelante se realizaron las entrevistas a informantes clave, buscando contrastar los hallazgos cuantitativos con la experiencia técnica de quienes intervenían en la supervisión o gestión del proceso; toda la información recolectada fue integrada mediante un ejercicio de triangulación, contrastando lo documentado, lo observado y lo expresado por los participantes.

Para el procesamiento de la información cuantitativa se empleó Microsoft Excel, herramienta suficiente para organizar bases de datos, calcular frecuencias absolutas, porcentajes y construir tablas por dimensión. Además, se calculó un índice de cumplimiento a partir del checklist de observación, utilizando la relación entre el número de ítems que cumplieron con las condiciones esperadas y el total de ítems aplicables, multiplicado por cien. Este índice permitió clasificar los resultados en tres niveles: aceptable, mejorable y crítico. En cuanto a la información cualitativa, esta fue sometida a un análisis temático, agrupando las respuestas en categorías como capacitación, almacenamiento, transporte, manipulación, supervisión, cumplimiento y respuesta ante emergencias.

En el plano ético, se garantizó la confidencialidad de la información y la participación voluntaria de los trabajadores involucrados. Los instrumentos no registraron nombres propios ni datos que permitieran identificar individualmente a los participantes, y los resultados fueron presentados de forma agregada. A cada persona se le explicó el propósito académico del estudio y su orientación preventiva, dejando en claro que el diagnóstico no perseguía fines sancionatorios. Esta precaución fue especialmente importante por la naturaleza sensible del tema, ya que el manejo de explosivos se encuentra asociado a obligaciones legales, controles de seguridad y responsabilidades operativas de alto nivel. Por ello, la investigación procuró mantener no solo rigor metodológico, sino también respeto por el contexto humano y profesional en el que se desarrolló.

Los materiales y métodos deben describirse con suficientes detalles para que otros puedan reproducirse y basarse en los resultados publicados. Tenga en cuenta que la publicación de su manuscrito implica que debe poner a disposición de los lectores todos los materiales, datos, código informático y protocolos asociados con la publicación. Los nuevos métodos y protocolos deben describirse en detalle, mientras que los métodos bien establecidos pueden describirse brevemente y citarse adecuadamente.

En este apartado escribirá de forma clara todos los procesos, experimentos, pasos, técnicas realizadas en su investigación. Es muy importante que describa de forma precisa y clara, con el objetivo que otros lectores puedan replicar su estudio. En el mayor de los casos si este apartado no es claro, existe una alta probabilidad de rechazo para su documento. Use tablas, diagramas, figuras, formulas...

Incluirá apartados de diseño, tipo, nivel y modalidad de investigación, métodos, procedimientos y técnicas de investigación. Se define la población o grupo de estudio, así como los criterios de inclusión, exclusión y eliminación. Especificar aspectos éticos de la investigación, como autorización de instituciones, consejos científicos, comité de ética, consentimiento informado.

3. Resultados

Los resultados se estructuraron a partir de tres ejes: la identificación de los explosivos y accesorios utilizados en la operación, el diagnóstico de los procedimientos técnicos y de seguridad y la determinación de hallazgos críticos que sustentaron la formulación del Plan de Manejo de Explosivos. La población analizada estuvo conformada por 62 trabajadores vinculados directamente al ciclo operativo del explosivo, distribuidos entre artilleros, auxiliares de voladura, responsables de polvorín, operadores de planta o explosivos, supervisores de perforación y voladura, técnicos de seguridad y salud ocupacional, además de personal de logística y transporte. A ello se sumó la participación de seis informantes clave, cuya experiencia permitió contrastar la información cuantitativa con la lectura técnica del proceso.

En términos de composición, el mayor peso correspondió a los artilleros con 16 participantes (25,8%), seguidos de los auxiliares de voladura con 12 (19,4%). Los supervisores e ingenieros de perforación y voladura, así como los operadores de planta o explosivos, representaron cada uno el 12,9% del total, mientras que los responsables de polvorín, técnicos de seguridad y personal de logística concentraron el 9,7% por grupo. Esta distribución resultó consistente con el enfoque censal definido en la metodología, pues permitió captar la percepción y las prácticas de quienes efectivamente intervenían en el proceso de almacenamiento, traslado, custodia, manipulación y uso de explosivos dentro del Proyecto Mirador.

3.1. Identificación de explosivos y accesorios utilizados en la operación

La revisión documental permitió identificar con claridad los materiales explosivos y accesorios presentes en la operación. Se observó un predominio de la emulsión a granel como explosivo principal de carguío en producción, acompañado por ANFO para bancos secos y emulsión encartuchada para necesidades específicas de iniciación o contingencia. En cuanto a los accesorios, se registró el uso de boosters, detonadores no eléctricos, detonadores electrónicos, cordón detonante y conectores superficiales. La evidencia documental fue positiva en todos los casos, lo que confirmó que el proyecto

contaba con identificación básica de materiales; sin embargo, la sola existencia de estos registros no bastó para asegurar homogeneidad en el control operativo, sobre todo cuando la trazabilidad dependía de documentos parciales o no siempre actualizados.

Tabla 1.

Explosivos y accesorios identificados en la operación

Material	Clasificación	Uso principal	Frecuencia estimada
Emulsión a granel	Explosivo	Carguío principal en producción	Alta
ANFO	Explosivo	Voladura en bancos secos	Media
Emulsión encartuchada	Explosivo	Iniciación, contingencias y zonas específicas	Media
Booster / iniciador de alta energía	Accesorio	Asegurar transferencia de energía	Alta
Detonadores no eléctricos	Accesorio	Secuencia de iniciación	Alta
Detonadores electrónicos	Accesorio	Voladuras de mayor precisión	Media
Cordón detonante	Accesorio	Transmisión y enlace	Media
Conectores superficiales	Accesorio	Amarre superficial y secuencia	Alta

Nota. Se identificó el uso de explosivos y accesorios adecuados para minería a gran escala, destacando la emulsión a granel como material principal.

Este hallazgo respondió de manera directa al primer objetivo específico, ya que permitió reconocer no solo qué materiales se usaban, sino también el papel operativo de cada uno dentro del sistema de voladura. Desde una lectura práctica, el resultado confirmó que el proyecto trabajaba con una combinación de explosivos y accesorios técnicamente compatible con una operación minera de gran escala, aunque también dejó ver la necesidad de ordenar mejor la documentación asociada a su manejo para que la identificación no se limitara a un registro nominal, sino que se integrara a un esquema de control más fino.

3.2. Diagnóstico documental y percepción del personal sobre los procedimientos técnicos y de seguridad

La revisión de los 12 documentos clave mostró que 11 estuvieron disponibles (91,7%), pero solo 8 se encontraron vigentes o actualizados (66,7%). En cuanto al nivel de cumplimiento, 4 documentos presentaron cumplimiento pleno (33,3%), 7 reflejaron cumplimiento parcial (58,3%) y 1 documento evidenció no cumplimiento (8,3%). El índice documental global alcanzó 62,5%, valor que ubicó al componente documental en una condición intermedia, con controles existentes, pero insuficientemente consolidados. Los puntos más sensibles se concentraron en la ausencia de un checklist preoperacional de transporte, en la desactualización del registro integral de capacitación, en la necesidad de precisar el plan de emergencia para tiros fallidos, en el subregistro de desviaciones menores y en la falta de mayor control sobre la actualización de la matriz legal y del programa anual de simulacros.

La encuesta aplicada al personal mostró un promedio global de 3,55 sobre 5, con una favorabilidad general de 52,0% para respuestas ubicadas en los niveles 4 y 5. Aunque

el resultado no describió un escenario crítico, sí dejó una señal clara: el proceso funcionaba con bases aceptables, pero todavía arrastraba vacíos que no podían considerarse menores. Las dimensiones mejor valoradas fueron Conocimiento (media = 3,92; favorabilidad = 70,6%) y Manipulación segura (media = 3,86; favorabilidad = 66,1%), lo que sugirió que el personal reconocía razonablemente los materiales, los riesgos y varias pautas de actuación cotidiana. En cambio, las dimensiones más débiles fueron Transporte y control (media = 3,18; favorabilidad = 33,9%) y Emergencias (media = 3,16; favorabilidad = 33,5%), precisamente dos componentes donde el margen de error operativo es más delicado y donde la prevención no admite zonas grises.

Tabla 2.

Resultados de la encuesta por dimensión

Dimensión	Media	Favorabilidad (%)	Lectura
Conocimiento	3,92	70,6	Fortaleza relativa
Manipulación segura	3,86	66,1	Desempeño favorable
Cumplimiento de procedimientos	3,66	55,2	Nivel intermedio
Almacenamiento y despacho	3,55	52,8	Nivel intermedio
Transporte y control	3,18	33,9	Debilidad prioritaria
Emergencias	3,16	33,5	Debilidad prioritaria
Global	3,55	52,0	Desempeño medio con brechas

Nota. El personal mostró buen conocimiento sobre explosivos y manipulación segura, pero se evidenciaron debilidades en transporte y respuesta ante emergencias

Cuando se examinó el comportamiento por ítem, se confirmó esa misma tendencia. Los mejores resultados aparecieron en verificación del uso de EPP antes de actividades con explosivos (P5; media = 4,29; favorabilidad = 85,5%), conocimiento de los riesgos principales asociados al manejo de explosivos (P3; media = 4,27; favorabilidad = 83,9%) e identificación correcta de los tipos de explosivos utilizados en el área (P1; media = 4,10; favorabilidad = 80,6%). En el extremo opuesto se ubicaron existencia de custodia o control suficiente durante el traslado (P15; media = 2,94; favorabilidad = 25,8%), conocimiento de actuación frente a tiros fallidos o anomalías (P22; media = 2,94; favorabilidad = 22,6%) y manejo de medios de comunicación y respuesta inicial (P24; media = 3,02; favorabilidad = 30,6%). Esta distribución no fue casual. Mostró que el personal dominaba mejor la rutina inmediata del trabajo que los momentos de transición o contingencia, precisamente donde un error puede escalar con rapidez.

3.3. Verificación en campo mediante checklist de observación

La observación directa permitió contrastar la percepción del personal con condiciones efectivamente visibles en operación. El índice global del checklist fue de 68,9%, valor que ubicó al proceso en un nivel mejorable. Se registraron 18 ítems en cumplimiento, 15 en cumplimiento parcial, 4 en no cumplimiento y 1 no aplicó durante la inspección. En conjunto, el resultado confirmó que existían controles instalados, pero no todos operaban con la misma consistencia ni con la misma madurez documental.

Las dimensiones con mejor desempeño fueron Señalización y control de acceso (87,5%), Almacenamiento y polvorín (81,2%) y Uso operativo (75,0%). Estas cifras sugirieron que el proyecto mantenía un estándar razonable en acceso a áreas críticas, organización del polvorín y ejecución de actividades operativas de base. Sin embargo, la situación cambió en Transporte y custodia (58,3%), Documentación y trazabilidad (50,0%) y Emergencias y respuesta (50,0%), donde las brechas resultaron más visibles.

Los incumplimientos más sensibles aparecieron en la verificación preoperacional registrada del transporte, en la respuesta documentada frente a tiros fallidos, en la actualización de procedimientos con control de cambios y en la evidencia de simulacros recientes. A pesar de que no todo estaba fallando, sí quedó claro que los puntos más débiles coincidieron con las áreas donde la coordinación y la trazabilidad debían ser más rigurosas.

Tabla 3.

Índice de cumplimiento del checklist por dimensión

Dimensión observada	Índice (%)	Lectura
Señalización y control de acceso	87,5	Fuerte
Almacenamiento y polvorín	81,2	Favorable
Uso operativo	75,0	Aceptable
Transporte y custodia	58,3	Mejorable
Documentación y trazabilidad	50,0	Débil
Emergencias y respuesta	50,0	Débil
Global	68,9	Mejorable

Nota. Las mejores condiciones se observaron en señalización y almacenamiento, mientras que la documentación y las emergencias presentaron las principales oportunidades de mejora.

3.4. Hallazgos críticos identificados en entrevistas y síntesis operativa

Las entrevistas reforzaron varios de los patrones ya observados en la revisión documental, la encuesta y el checklist. El tema más repetido fue la necesidad de actualizar procedimientos (5 de 6 informantes), seguido por la debilidad documental (4 de 6) y la preparación insuficiente ante emergencias (4 de 6). En un segundo nivel aparecieron la brecha de capacitación (3 de 6) y las fallas en transporte y control (3 de 6). Solo 1 de 6 informantes marcó problemas en almacenamiento como tema principal, lo que coincidió con los mejores resultados obtenidos en el checklist para polvorín y control de inventario. Esta convergencia entre métodos resultó importante porque dio solidez al diagnóstico: el problema central no se ubicó en la existencia básica del sistema, sino en su actualización, trazabilidad y capacidad de respuesta ante situaciones no rutinarias.

Tabla 4.

Hallazgos críticos priorizados para la formulación del plan

Hallazgo prioritario	Evidencia principal
Necesidad de actualizar procedimientos	5/6 informantes lo señalaron; se observó debilidad en control de cambios
Debilidad documental	Índice documental de 62,5%; 7 documentos en cumplimiento parcial
Preparación insuficiente ante emergencias	Dimensión de emergencias con media de 3,16 y checklist de 50,0%

Fallas en transporte y control	Dimensión de transporte con media de 3,18; ausencia de checklist pre operacional
Brechas de capacitación	Registros desactualizados y 3/6 informantes señalaron esta necesidad

Nota. Los hallazgos prioritarios fueron la actualización de procedimientos, el fortalecimiento documental y la mejora de la preparación ante emergencias.

En síntesis, los resultados mostraron un escenario que no podía leerse en blanco y negro. Por un lado, se identificaron fortalezas reales en el conocimiento del personal, en la manipulación cotidiana, en la señalización de áreas críticas y en el control básico del polvorín. Por otro, persistieron debilidades que afectaron la robustez del sistema: procedimientos que no siempre se actualizaban al ritmo de la operación, transporte interno con controles incompletos, evidencia insuficiente de simulacros y una preparación ante emergencias todavía frágil para eventos como tiros fallidos o anomalías de campo. Justamente ahí se concentró la base técnica para la formulación del Plan de Manejo de Explosivos, cuyo énfasis debía orientarse hacia la trazabilidad operativa, el fortalecimiento documental, el entrenamiento específico y la respuesta ante contingencias.

4. Discusión

Los hallazgos del estudio dibujaron un escenario que, siendo realista, se alejó tanto del alarmismo como de la autocomplacencia. Las mejores valoraciones en conocimiento y manipulación segura sugirieron que el personal había interiorizado varios fundamentos del trabajo con explosivos, especialmente en las tareas rutinarias y en el control inmediato del riesgo. Sin embargo, el descenso observado en transporte y control, junto con las debilidades en documentación, trazabilidad y emergencias, dejó en evidencia que el sistema no fallaba por ausencia total de medidas, sino por una madurez incompleta de sus barreras organizacionales. Este patrón coincide con lo señalado por Nowak y Pyra (2025), quienes sostienen que la gestión del riesgo con explosivos debe abarcar todo su ciclo de vida y no solo el momento de uso; además, dialoga con la propuesta de Strzałkowski et al., (2025) que ubica los peligros mineros en una interacción entre factores operacionales, técnicos y humanos, y con lo planteado por Chen et al., (2025) para quienes la seguridad minera más robusta surge cuando la organización deja de limitarse al cumplimiento reactivo y transita hacia esquemas de adaptación proactiva. En ese sentido, los resultados obtenidos en Mirador no describieron un sistema colapsado, pero sí uno que necesitaba cerrar brechas justamente donde los errores suelen hacerse más costosos: el control de transiciones, la supervisión residual y la consistencia documental.

La segunda lectura relevante apareció en la preparación ante emergencias, que fue una de las dimensiones más débiles tanto en la encuesta como en la observación de campo. Ese resultado merece atención, porque en operaciones con explosivos no basta con que el personal conozca el procedimiento ordinario; también debe estar entrenado para responder con solvencia cuando la rutina se rompe. En esta línea, Onifade et al. (2021) subrayan que la preparación para la autoevacuación y la respuesta organizada constituye un componente esencial de la seguridad minera, mientras que Pramayu et al. (2025) proponen que la capacidad de gestión de emergencias debe evaluarse mediante componentes integrados que incluyan identificación de amenazas, capacidad

humana, prevención, respuesta, evaluación y mejora continua. A ello se suma la evidencia de Aruna et al., (2025) quienes muestran que el monitoreo en tiempo real y las herramientas predictivas pueden fortalecer la anticipación del riesgo en voladuras y convertir la prevención en una práctica más tangible. Visto desde esa perspectiva, el Plan de Manejo de Explosivos no debería limitarse a ordenar responsabilidades y formatos; tendría que convertirse en una herramienta viva, capaz de unir capacitación específica, simulacros funcionales, trazabilidad operativa y vigilancia preventiva. Allí, precisamente, se encuentra el valor técnico de la propuesta: no en repetir la norma, sino en volverla aplicable, verificable y útil dentro de la dinámica real de la mina.

5. Conclusiones

En conclusión, el estudio permitió establecer que el manejo de explosivos en el proyecto minero Mirador se apoyó en una base operativa funcional, con fortalezas apreciables en la identificación de materiales, el conocimiento general del personal y el control de ciertas prácticas rutinarias; no obstante, también evidenció brechas que, aunque no anulan lo avanzado, sí comprometen la solidez integral del sistema cuando se examinan componentes más sensibles como la trazabilidad documental, el transporte interno, la actualización de procedimientos y la preparación frente a emergencias.

Esta combinación de fortalezas parciales y debilidades persistentes confirmó que la seguridad en el uso de explosivos no depende únicamente de disponer de materiales, infraestructura o experiencia operativa, sino de articularlos dentro de una lógica preventiva, verificable y sostenida en el tiempo. Desde esa lectura, la formulación de un Plan de Manejo de Explosivos no representó una respuesta accesorio ni meramente formal, sino una necesidad técnica concreta para ordenar procesos, reducir vulnerabilidades y fortalecer la capacidad de control en una operación minera de alta exigencia, donde cada omisión, por pequeña que parezca, puede tener consecuencias desproporcionadas.

Referencias Bibliográficas

- Agencia de Regulación y Control Minero. (2025). *Informe de rendición de cuentas 2024* (Rendición de cuentas, p. 27). Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM). <https://controlminero.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/06/Socializacion-interna-y-aprobacion-del-informe.pdf>
- Aruna, M., Vardhan, H., Tripathi, A. K., Parida, S., Raja Sekhar Reddy, N. V., Sivalingam, K. M., Yingqiu, L., & Elumalai, P. V. (2025). Enhancing safety in surface mine blasting operations with IoT based ground vibration monitoring and prediction system integrated with machine learning. *Scientific Reports*, 15(1), 3999. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86827-w>
- Banasiewicz, A., Kotyla, M., & Gola, S. (2025). Assessment of the impact of blasting operations on the intensity of gas emission from rock masses: A case study of hydrogen sulfide occurrence in a Polish copper ore mine. *Applied Sciences*, 15(23), 12781. <https://doi.org/10.3390/app152312781>
- Chen, X. (2025). Integrated multimethod analysis of miners' safety behavior and risk interaction for practical applications. *Scientific Reports*, 15(1), 34722. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-18454-4>

- Dudek, M., Dworzak, M., & Biessikirski, A. (2026). Impact of blasting scenarios for in-pit ramp construction on the fumes emission. *Sustainability*, 18(2), 633. <https://doi.org/10.3390/su18020633>
- Haro-Sarango, A. F., Chisag-Pallmay, E. R., Ruiz-Sarzosa, J. P., & Caicedo-Pozo, J. E. (2024). Tipos y clasificación de las investigaciones: Types and classification of investigations. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(2), 956–966. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1927>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2024). *Informe de rendición de cuentas IIGE 2023* (Rendición de cuentas, p. 53). Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE). <https://www.ambienteylenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2024/03/Informe-Rendicio%CC%81n-de-Cuentas-2023.pdf>
- León-Castillo, J. A., & Vargas-Cuervo, G. (2025). Métodos para la mitigación temprana de impactos por deslizamientos de rocas en corredores viales, mediante técnicas de voladura. *SAGA: Revista Científica Multidisciplinar*, 2(2), 614–631. <https://doi.org/10.63415/saga.v2i2.109>
- Machuca-Yaguana, J. A., Maldonado-Machuca, M. E., & Vines-Vines, F. V. (2023). Tratamiento y representación de datos provenientes de escalas tipo Likert. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 736–747. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.6905
- Maita-Zhigüe, J. E., Quito-Cortez, B. G., & Vásconez-Duchicela, D. F. (2026). Protocolo de seguridad para la actividad de perforación, voladura y manipulación de explosivos en el área operativa de la Sociedad Civil Minera Goldmins. *Metropolis*, 7(1), 1992–2042.
- Martínez-Corona, J. I., Palacios-Almón, G. E., & Oliva-Garza, D. B. (2023). Guía para la revisión y el análisis documental: Propuesta desde el enfoque investigativo. *Ra Ximhai*, 19(1), 67–83. <https://doi.org/10.35197/rx.19.01.2023.03.jm>
- Nowak-Senderowska, D., & Pyra, J. (2025). Accidents in the production, transport, and handling of explosives: TOL method hazard analysis with a mining case study. *Applied Sciences*, 15(18), 10150. <https://doi.org/10.3390/app151810150>
- Onifade, M. (2021). Towards an emergency preparedness for self-rescue from underground coal mines. *Process Safety and Environmental Protection*, 149, 946–957. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.03.049>
- Paredes-Parreño, C. M., & Calderón-Viveros, E. M. (2024). Relación consumo específico/avance, en operaciones de minería subterránea MAPE, caso de estudio Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 17(1), 43–58. <https://doi.org/10.29166/revfig.v17i1.4932>
- Pramayu, A. P., Lestari, F., Erwandi, D., & Besral, B. (2025). Emergency management in coal mining: Developing a capability-based model in Indonesia. *Safety*, 11(4), 96. <https://doi.org/10.3390/safety11040096>

Reglamento a la Ley sobre armas, municiones, explosivos y accesorios, Legislation No. 169, 32 Registro Oficial (1997). <https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/09/Reglamento-a-la-Ley-de-Fabricacion-Importacion.pdf>

Strzałkowski, P., Woźniak, J., Górniak-Zimroz, J., Delijewska, B., Bęś, P., Solatycka, D., & Janiszewski, M. (2025). Identification and systematics of safety hazards in surface rock mining. *Scientific Reports*, 15(1), 30492. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-16437-z>

Trujillo-Huamán, J. L., & López-Kohler, J. R. (2024). Gestión de riesgos en atmósferas explosivas para la reducción de accidentes en una planta minera. *TecnoHumanismo*, 4(2), 114–127.

Verdezoto-Leon, G. D., & Bejarano-Naula, C. M. (2025). Evaluación ergonómica de la manipulación manual de explosivos y su incidencia en las lesiones músculo esqueléticas del personal de voladura de la mina Mirador, año 2024. *Green World Journal*, 8(2). <https://doi.org/10.53313/gwj82221>

Zúñiga-Arrobo, C. A., Rojas-Villacís, C. A., Rosero-Padilla, C. D., Fernández-Suárez, L. G., & Idrovo-Palomeque, J. P. (2024). Velocidad de detonación del explosivo, vibración y ruido en pequeña minería subterránea, Zaruma–Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 17(1), 26–42. <https://doi.org/10.29166/revfig.v17i1.4634>

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profundo agradecimiento a la Universidad Estatal del Sur de Manabí por ofrecerme la oportunidad de mejorar mi formación académica y profesional. Estoy muy agradecido con sus docentes por transmitir sus conocimientos, experiencia y orientación, que fueron esenciales tanto para el avance de esta investigación como para mi desarrollo profesional.

Quiero hacer un agradecimiento especial a mi madre, quien ha sido la base fundamental de mi vida. Su amor incondicional, sacrificio, apoyo constante y fe en mis habilidades han sido la motivación que me ha llevado a enfrentar cada reto y a lograr esta significativa meta académica. Este éxito también es de ella, por ser un modelo de perseverancia, esfuerzo y dedicación.

Además, quiero mostrar mi gratitud a mis hermanos, quienes han estado a mi lado en cada fase de este trayecto, ofreciéndome su apoyo, comprensión y motivación. Su presencia y estímulo han sido cruciales para mantenerme enfocado en el cumplimiento de mis metas.

A mis amigos, les agradezco por su verdadera amistad, por sus palabras de aliento y por acompañarme durante todo este proceso académico. Su apoyo y confianza han sido decisivos para que esta experiencia fuera más enriquecedora y llevadera.

Por último, deseo enviar mis mejores deseos de éxito y crecimiento a la Universidad Estatal del Sur de Manabí, con la seguridad de que seguirán formando profesionales de calidad, fomentando la investigación científica y contribuyendo al desarrollo sostenible y al bienestar de la sociedad ecuatoriana.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.