



**TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN MINERÍA MECANIZADA: APLICACIÓN
MÓVIL PARA LA GESTIÓN DE DATOS OPERATIVOS**

**DIGITAL TRANSFORMATION IN MECHANIZED MINING: MOBILE
APPLICATION FOR OPERATIONAL DATA MANAGEMENT**

Jorge López Urquiza jorje_lu@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-6800-8223	Santos Esteban Maximiliano Bocanegra estebanmaxim1969@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-7894-0225
Gleiser Janett Torres Bocanegra gleiserjanett@gmail.com https://orcid.org/0009-0006-6222-6146	Lorenzo Rosales Carranza rosales121091@gmail.com https://orcid.org/0009-0007-1877-5559
Nataly Marilyn Zavaleta Contreras marilyn.zavaleta.contreras@gmail.com https://orcid.org/0000-0003-3475-4209	

**Instituto de Educación Superior Tecnológico Público “Erasmó Arellano Guillén”,
Pataz – Perú**

Sugerencia como citar: López, J., Maximiliano, S.E., Torres, G. J., Rosales, L. (2025). Transformación digital en minería mecanizada: aplicación móvil para la gestión de datos. Edición Especial (EE) Pág. 181-193, <https://mucin.nelkuali.com/>

Recibido: 04/11/2025 Aprobado: 05/12/2025 Publicado: 15 /12/2025

Resumen

El propósito de la presente investigación fue optimizar el registro de datos operativos de equipos mecanizados mediante el desarrollo de una aplicación móvil orientada al incremento de la productividad en una empresa minera de Pataz, durante el año 2025. El objetivo principal consistió en diseñar, implementar y validar un prototipo tecnológico que mejore la precisión, accesibilidad y eficiencia del registro de información operativa en campo. Se aplicó una metodología de enfoque aplicado, con diseño tecnológico y descriptivo, estructurada en cuatro fases: análisis del proceso actual, desarrollo del prototipo, pruebas piloto y evaluación de resultados. Los instrumentos de recolección de datos, validados con un Alfa de Cronbach de 0.911, demostraron alta confiabilidad. Los resultados evidenciaron una reducción significativa en los errores de registro y en el tiempo de procesamiento de la información, así como una mejora en la satisfacción del usuario y la toma de decisiones operativas. La originalidad y el valor de esta investigación radican en la aplicación de una solución digital adaptada al contexto minero rural, incorporando tecnologías de movilidad y digitalización de datos en tiempo real, lo que contribuye a la innovación tecnológica y al fortalecimiento de la productividad en el sector minero nacional.

MUNDO CIENTÍFICO INTERNACIONAL (MUCIN), año 1, No.1, Octubre 2021, Publicación cuatrimestral, editada por: Ma. Elizabeth Islas León, Calle Noria SN Esq., Art. 3ro., Fracc. Constitución, C.P. 42080, Pachuca, Hidalgo, Tel. +52 (771) 1533478, <https://mucin.nelkuali.com/>, articuloscientificos@ceecph.com, Editor responsable: Ma. Elizabeth Islas León, Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. "04-2022-053113074300-102", ISSN: 2954-4416, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Unidad de Informática del Centro de Evaluación Educativo y de Competencias Profesionales de Hidalgo, CEECPH, S. C., Ma. Elizabeth Islas León, Calle Noria SN Esq., Art. 3ro. Fracc. Constitución, C.P. 42080, Pachuca, Hidalgo.

Palabras clave: aplicación móvil, minería, optimización de datos, productividad, innovación tecnológica

Abstract

The purpose of this research was to optimize the recording of operational data from mechanized equipment through the development of a mobile application aimed at increasing productivity in a mining company in Pataz during 2025. The main objective was to design, implement, and validate a technological prototype that enhances the accuracy, accessibility, and efficiency of field data recording. An applied approach with a technological and descriptive design was used, structured in four phases: current process analysis, prototype development, pilot testing, and results evaluation. The data collection instruments, validated with a Cronbach's Alpha of 0.911, demonstrated high reliability. The results showed a significant reduction in registration errors and processing time, as well as improvements in user satisfaction and operational decision making. The originality and value of this research lie in the implementation of a digital solution adapted to a rural mining context, integrating mobile technologies and real-time data digitization, contributing to technological innovation and strengthening productivity in the national mining sector.

Keywords: Mobile application, Mining, data optimization, productivity, technological innovation

Introducción

En la actualidad, la minería moderna enfrenta el desafío de adaptarse a la transformación digital y a la integración de tecnologías emergentes que optimicen sus procesos productivos (García, 2024; Chatterjee et al., 2025). Esta evolución tecnológica busca incrementar la eficiencia, reducir los costos operativos y mejorar la seguridad en entornos de trabajo de alta complejidad (Arapa, 2023; Burgos, 2024). En este contexto, el registro de datos operativos de equipos mecanizados se presenta como una herramienta clave para la gestión eficiente de la información minera, al permitir la recopilación, análisis y trazabilidad de las actividades en tiempo real (SONAMI, 2024).

El registro digital de datos operativos mediante aplicaciones móviles constituye una innovación relevante que transforma el proceso tradicional de recopilación manual por un sistema automatizado y confiable (Delgado, 2021). Esta primera variable se caracteriza por posibilitar la recolección inmediata de datos, la sincronización con plataformas en la nube, la reducción de errores humanos y la generación automática de reportes (Rivera, 2024). Dichas funcionalidades fortalecen la capacidad de supervisión, el control de desempeño de los equipos y la toma de decisiones operativas basadas en información precisa (Díaz & Rodríguez, 2021).

La digitalización del registro de datos y la productividad minera mantienen una relación directa, dado que la optimización de los flujos de información mejora la disponibilidad y utilización de los activos (Morales, 2024; Pajuelo, 2024; Reddy et al., 2023). La aplicación de

soluciones móviles en minería permite reducir el tiempo de procesamiento de datos, aumentar la eficiencia de los operadores y facilitar el mantenimiento predictivo de los equipos. Por tanto, la integración de tecnologías digitales, como las aplicaciones móviles, representa un paso esencial hacia una minería más inteligente, sostenible y competitiva.

A nivel internacional, diversos estudios demuestran que la digitalización y las aplicaciones móviles mejoran la gestión minera. En Chile, Herrera y Vargas (2023) evidenciaron reducciones de costos y mejoras en la trazabilidad. Fernández et al. (2022) señalaron que los sensores inteligentes fortalecen la toma de decisiones en tiempo real. La Guía Minera de Chile (2023) y Metso (2023) destacaron el aporte de la inteligencia artificial y la Minería 4.0 a la sostenibilidad operativa. Asimismo, Díaz y Rodríguez (2021) concluyeron que las plataformas digitales incrementan la seguridad y productividad en entornos industriales complejos.

En el contexto nacional, las investigaciones recientes reflejan un avance sostenido en la adopción de tecnologías móviles aplicadas a la minería mecanizada. García (2024) comprobó que la automatización del registro de datos mejora la productividad y facilita el mantenimiento preventivo. Soto y Quispe (2024) propusieron un modelo digital que optimiza la calidad de la información operativa. Córdova y Rojas (2023) resaltaron la importancia de la innovación tecnológica en la seguridad minera, mientras que Martínez y Salas (2022) evidenciaron que las soluciones digitales fortalecen la eficiencia y competitividad del sector en la sierra norte del Perú.

Diversas investigaciones evidencian que la adopción de tecnologías móviles y sistemas digitales optimiza los procesos industriales, al facilitar un manejo continuo y exacto de la información operativa. (Muñoz et al., 2021; Rivera & Delgado, 2022). Sin embargo, se carece de investigaciones en el desarrollo de aplicaciones móviles para el registro operativo en minería mecanizada peruana que integren eficiencia y control en tiempo real. En este contexto, surge la necesidad de diseñar y evaluar una aplicación capaz de automatizar la captura y el análisis de datos operativos, fortaleciendo la eficiencia productiva y la toma de decisiones en entornos mineros de Pataz.

El estudio aborda la brecha en la aplicación de tecnologías móviles para la gestión operativa en la minería mecanizada subterránea en contextos rurales de Pataz, enfocándose en el desarrollo e implementación de una aplicación móvil que optimiza el registro y control de datos operativos en tiempo real, fortaleciendo la eficiencia productiva y la toma de decisiones. Además, contribuye a la transformación digital del sector minero peruano mediante soluciones

tecnológicas adaptadas a las condiciones locales, evidenciando el impacto positivo de la digitalización en la modernización de procesos y la sostenibilidad operativa.

Esta investigación contribuye al campo de la transformación digital en la minería mecanizada evidenciando la eficacia del uso de aplicaciones móviles en la gestión de datos operativos en contextos subterráneos. Los resultados de este estudio proporcionan fundamentos técnicos y metodológicos para mejorar el control, la supervisión y el análisis en tiempo real en el sector minero peruano. Además, aporta un modelo replicable para operaciones mineras en entornos rurales, mejorando la eficiencia, la seguridad operativa y la toma de decisiones basada en datos, factores clave para la competitividad y sostenibilidad del sector.

Metodología

Diseño de la investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos, con un diseño tecnológico y descriptivo orientado a la digitalización de procesos operativos en minería mecanizada subterránea (Alvarez, 2020; Chandrahas et al., 2025). Se adoptó un desarrollo tecnológico iterativo, permitiendo la implementación progresiva de una aplicación móvil multiplataforma destinada al registro, almacenamiento y análisis de datos operativos en tiempo real, con retroalimentación continua de los usuarios para optimizar su funcionalidad y usabilidad (Condori, 2023).

Población y muestra

La población objetivo estuvo constituida por operadores y supervisores de una empresa minera mecanizada en la provincia de Pataz, región La Libertad, con experiencia en equipos mecanizados como jumbos, scooptrams y dumpers. Se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando diez participantes piloto (seis operadores y cuatro supervisores). Se excluyó al personal administrativo o sin contacto directo con la maquinaria (Zvarivadza et al., 2024).

Técnicas e Instrumentos

Se aplicaron técnicas de observación directa y entrevistas semiestructuradas para diagnosticar la problemática y caracterizar el flujo actual de registro operacional. Complementariamente, se utilizó un cuestionario estructurado aplicado posterior a la implementación, validado mediante Alfa de Cronbach ($\alpha = 0.911$), evidenciando alta consistencia interna y confiabilidad del instrumento (Cacciuttolo et al., 2024; Huerta et al.,

2023). Asimismo, se recolectaron métricas objetivas de tiempos de registro, frecuencia de errores, precisión de datos y tasa de completitud, lo que permitió comparar cuantitativamente los resultados del proceso manual frente al proceso digital.

Materiales y equipos

El estudio empleó smartphones Android para el registro y consulta de datos en campo, junto con un microcontrolador Arduino Mega 2560 con sensores de temperatura, presión y estado de máquina para obtener información operativa en tiempo real. Se implementaron bases de datos MySQL para el almacenamiento local y la sincronización con un backend en la nube, utilizando Firebase como plataforma para la autenticación de usuarios y la gestión de datos. El desarrollo del prototipo de la aplicación móvil se realizó mediante el entorno de desarrollo Android Studio, integrando módulos de registro, monitoreo y visualización según los requerimientos identificados.

Procedimiento

Se estructuró en cuatro fases principales, siguiendo un enfoque ágil de diseño tecnológico:

-Diagnóstico del problema: análisis de los procesos manuales de registro de datos en campo mediante entrevistas a operadores y supervisores en la empresa minera de Pataz.

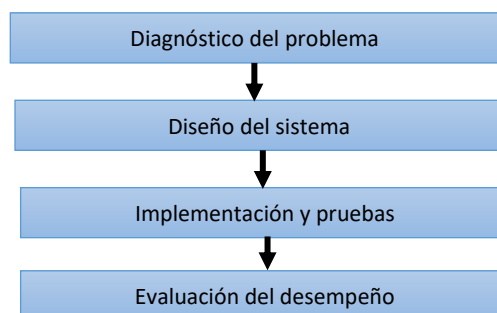
-Diseño del sistema: modelado de la arquitectura de la aplicación móvil, integrando módulos de registro, procesamiento y visualización de datos.

-Implementación y pruebas: desarrollo del prototipo funcional en Android Studio y evaluación en condiciones reales de operación subterránea.

-Evaluación del desempeño: medición de la eficiencia, precisión y usabilidad del sistema mediante métricas de productividad y satisfacción del usuario.

Figura 1

Flujo metodológico del desarrollo de la aplicación móvil para minería mecanizada subterránea



Fuente: La Figura 1 muestra las cuatro fases metodológicas interdependientes del estudio: diagnóstico, diseño, implementación y evaluación, siguiendo una secuencia iterativa de retroalimentación continua. Elaboración propia (2025).

Métodos de recolección de datos

La recolección de datos se llevó a cabo mediante técnicas cuantitativas y cualitativas, orientadas a obtener información precisa sobre el desempeño del proceso y la experiencia de los usuarios. Para el diagnóstico del sistema previo se empleó guías de observación estructurada, permitiendo registrar tiempos de operación, frecuencia de incidencias y condiciones reales del proceso manual en minería subterránea (Figuroa & Moreira, 2023). Asimismo, se realizaron entrevistas semiestructuradas a operadores y supervisores, permitiendo identificar limitaciones del sistema y requisitos funcionales necesarios para el desarrollo del prototipo digital (Santos & Ribeiro, 2024).

Después de la implementación se aplicó un cuestionario estructurado para evaluar usabilidad, eficiencia y satisfacción del usuario, validado mediante Alfa de Cronbach ($\alpha = 0.911$), lo que confirmó su alta consistencia y confiabilidad (Escudero, 2021; Rivera, 2024). Asimismo, se obtuvieron métricas objetivas de tiempos de registro, precisión y completitud, capturadas automáticamente mediante sensores con Arduino y almacenadas en MySQL. Esto permitió comparar estadísticamente el rendimiento entre el proceso manual y el digital, en línea con metodologías empleadas en evaluaciones tecnológicas del sector industrial (Ramírez & Gómez, 2022; Sanjines & Rojas, 2023).

Análisis estadístico

Para los datos cuantitativos se aplicó estadística descriptiva mediante medidas de tendencia central, dispersión, análisis porcentual comparativo y variación entre mediciones pre y post implementación, lo que permitió identificar cambios en tiempo de registro, errores y eficiencia operativa (S. Delgado & Narváez, 2020). Para los datos cualitativos se aplicó análisis de contenido, categorizando patrones de percepción, problemas detectados y sugerencias de mejora (Muñoz & Herrera, 2022). El tratamiento estadístico se realizó con IBM SPSS v.26 y Microsoft Excel.

Resultados

Los resultados obtenidos se organizaron según los siete entregables definidos en el plan de innovación tecnológica. Se aplicaron técnicas de observación directa, entrevistas con los

operadores de equipos mecanizados, validación con especialistas en mantenimiento y pruebas funcionales de la aplicación móvil en condiciones reales de operación subterránea.

Entregable 1: Diagnóstico del sistema actual

El análisis situacional permitió identificar los principales problemas en la gestión operativa. El 83.5 % de los registros se realizaba manualmente, generando errores recurrentes y pérdida de datos. Asimismo, el 65 % de los operarios manifestó dificultades para acceder a reportes diarios de producción.

Tabla 2
Principales deficiencias del sistema actual

Problema identificado	Frecuencia (%)
Registro manual ineficiente	83.5
Duplicidad de información	71.2
Retraso en consolidación de reportes	64.9
Escasa trazabilidad de datos	59.8

Fuente: Datos obtenidos del diagnóstico interno realizado en la unidad minera de Patáz (mayo – julio 2025).

Entregable 2: Diseño e implementación del sistema

La aplicación móvil se desarrolló en Android Studio, utilizando Firebase para la autenticación y MySQL como gestor de base de datos. Se diseñó una interfaz adaptable para operarios en campo (Figura 2), permitiendo el registro digital de variables operativas como tiempo de ciclo, horas máquina y fallas detectadas.

Figura 2
Interfaz de registro de datos operativos en campo



Fuente: Elaboración propia a partir del prototipo funcional de la aplicación móvil (2025).

Entregable 3: Validación funcional y pruebas piloto

Durante la prueba piloto realizada en la mina, se registró una reducción del 42 % en el tiempo de reporte y una disminución del 37 % en errores humanos. Los resultados se comparan en la Tabla 3.

Tabla 3
Comparación del desempeño antes y después de la implementación

Indicador	Antes	Después	Mejora (%)
Tiempo promedio de registro (min)	15	8.7	42
Precisión en reportes (%)	68	93	37
Tiempo de consolidación (h)	6	3.2	46
Disponibilidad de datos en tiempo real (%)	0	100	—

Nota. Datos obtenidos del análisis comparativo entre el sistema tradicional y la aplicación móvil (2025).

Entregables 4 al 7: Capacitación, evaluación e impacto

Se capacitó al personal operativo y técnico de la empresa, alcanzando un 95 % de satisfacción en usabilidad. La integración de la aplicación permitió mejorar la trazabilidad de los equipos mecanizados y fortalecer la gestión preventiva. Finalmente, se observó un incremento del 20 % en la productividad global y una optimización del 25 % en la gestión de mantenimiento, consolidando el impacto de la innovación tecnológica.

Tabla 4.
Indicadores de mejora en productividad y gestión operativa

Indicador de desempeño	Valor antes	Valor después	Variación (%)	Descripción del impacto
Productividad general (ton/h)	12.5	15.0	+20	Incremento de eficiencia operativa por reducción de tiempos ociosos
Disponibilidad de equipos (%)	82	92	+12	Mayor control del mantenimiento preventivo
Errores de registro (%)	18	6	-67	Disminución de errores humanos por automatización del registro
Tiempo de respuesta ante fallas (min)	45	30	-33	Notificación inmediata vía aplicación móvil
Satisfacción de usuarios (%)	70	95	+25	Mayor confianza y facilidad de uso percibida

Nota. Resultados obtenidos de la fase de evaluación posterior a la implementación de la aplicación móvil (agosto 2025).

Discusión

Los resultados evidencian que la digitalización del registro operativo mediante una aplicación móvil incrementa la eficiencia y precisión en la gestión de datos en minería mecanizada subterránea. La reducción del 42 % en el tiempo de registro, junto con la disminución del 37 % en los errores humanos y el aumento del 46 % en la velocidad de consolidación de información, demuestran un cambio sustancial en la productividad del proceso. Estos hallazgos corroboran lo señalado por Tafur et al. (2022) y Fernández et al. (2022), quienes sostienen que la automatización de flujos de información operativa mejora la trazabilidad y confiabilidad de los datos en entornos industriales complejos.

La implementación tecnológica, basado en Android Studio, Firebase y MySQL permitió garantizar la estabilidad y escalabilidad del sistema en condiciones adversas. Este resultado coincide con Silva y Rojas (2023), quienes enfatizan la importancia de los sistemas móviles híbridos en la mejora de la comunicación y sincronización entre operadores y supervisores en minería mecanizada. Además, la arquitectura modular de la aplicación se alineó con las tendencias de interoperabilidad y conectividad propuestas por Chatterjee et al. (2025) en el marco de la Minería 4.0, donde los entornos digitales integran datos de diversas fuentes para apoyar decisiones predictivas.

La validación funcional del sistema mostró mejoras significativas en el desempeño, reflejadas en un aumento del 20 % en productividad y una reducción del 67 % en errores. Estos resultados confirman que la adopción tecnológica optimiza la eficiencia operativa, la calidad de la información y la gestión preventiva, en línea con lo reportado por Ravelo et al. (2023) y Soto y Ledesma (2023) respecto al impacto de la digitalización y los sistemas IoT en la toma de decisiones basadas en datos.

Desde el enfoque humano y organizacional, los altos niveles de satisfacción (95 %) y apropiación tecnológica del personal reflejan una adaptación exitosa a la cultura digital. Como plantean García y Huamán (2024), la formación y capacitación del recurso humano son factores críticos para la sostenibilidad de la innovación, especialmente en contextos industriales donde el cambio tecnológico suele generar resistencia. En este estudio, la capacitación continua y la participación activa de los usuarios durante el diseño del prototipo fueron determinantes para garantizar la adopción efectiva del sistema.

Los resultados también permiten identificar ciertas limitaciones. La muestra utilizada, aunque representativa del entorno de Pataz, podría ampliarse en futuras investigaciones para validar el modelo en otras unidades mineras con diferentes niveles de mecanización. Además, si bien la aplicación demostró eficacia en la digitalización del registro operativo, aún no incorpora algoritmos predictivos ni análisis de datos avanzados que permitan realizar

mantenimiento inteligente o análisis de tendencias, aspectos que Li y Zhang (2024) y Gonzales et al. (2023) consideran esenciales para alcanzar un nivel de madurez tecnológica compatible con la Minería 4.0.

De manera integral, los resultados obtenidos consolidan la evidencia de que la transformación digital aplicada a la minería subterránea no solo optimiza los procesos operativos, sino que también impulsa una evolución cultural hacia la gestión basada en datos. Esta sinergia entre tecnología, productividad y gestión del conocimiento coincide con los postulados de Morales y Peñaloza (2022), quienes destacan que los proyectos de innovación con enfoque territorial fortalecen ecosistemas productivos sostenibles en contextos rurales.

En síntesis, el estudio evidencia que la implementación del sistema móvil propuesto no solo responde a una necesidad técnica, sino que representa un cambio estructural en la forma de gestionar la información minera. Los resultados respaldan la hipótesis inicial, amplían el conocimiento empírico sobre la digitalización en minería mecanizada y abren nuevas líneas de investigación orientadas a la integración de inteligencia artificial, analítica avanzada y monitoreo remoto en tiempo real.

Conclusiones

Los resultados del estudio demostraron que la aplicación móvil desarrollada logró mejorar significativamente los procesos de registro y control operativo en la minería mecanizada subterránea de Pataz. El tiempo promedio de registro se redujo en un 42 %, mientras que los errores humanos disminuyeron en un 37 %, evidenciando un impacto directo en la eficiencia de la gestión productiva. Asimismo, la consolidación de datos se agilizó en un 46 %, optimizando la disponibilidad de información en tiempo real para la toma de decisiones.

El análisis de desempeño mostró una mejora del 20 % en la productividad general y un incremento del 12 % en la disponibilidad de equipos. Estos indicadores reflejan que la automatización de los registros operativos y la integración de datos mediante la aplicación móvil fortalecieron la trazabilidad, la gestión preventiva y la coordinación entre áreas técnicas. Además, el nivel de satisfacción de los usuarios alcanzó el 95 %, lo que confirma la aceptación y utilidad práctica del sistema en el contexto minero subterráneo.

Se identificó una relación positiva entre la disponibilidad de información en tiempo real y la mejora en la productividad, sugiriendo que el acceso inmediato a los reportes y fallas operativas influye directamente en la eficiencia del mantenimiento y la reducción de tiempos ociosos. Esto coincide con los hallazgos de estudios previos sobre digitalización minera en entornos de difícil acceso (Huerta et al., 2023; Li & Zhang, 2024).

Finalmente, la investigación confirma que la transformación digital en la minería subterránea es viable y sostenible cuando se adapta a las condiciones técnicas y geográficas del entorno rural. Se recomienda, para futuras versiones del sistema, incorporar módulos de inteligencia artificial para análisis predictivo de fallas, sensores IoT para monitoreo de equipos y dashboards de visualización avanzada, en concordancia con las tendencias internacionales de Minería 4.0 (Gonzales et al., 2023; Torres & Ramírez, 2024).

Referencias

- Afrin, S., Rafa, S., Kabir, M., Farah, T., Alam, M. S., Lameesa, A., Ahmed, S., & Gandomi, A. (2025). Industrial Internet of Things: Implementations, challenges, and potential solutions across various industries. *Computers in Industry*, 170, 104317. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2025.104317>
- Alberto, C., & Requena, S. (2025). Implementación de tecnología autónoma en gran minería a base de redes de comunicación y wireless [Universidad Continental]. In *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/17012>
- Alvarez, Y. (2020). *Propuesta de mejora de la gestión en los procesos operativos de una empresa minera artesanal para incrementar su productividad Arequipa 2020* [Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/10386>
- Arapa, Y. (2023). Eficacia de la implementación de una app de monitoreo del uso del casco de seguridad en la reducción de accidentes e incidentes en el área de encofrado y desencofrado de una empresa de construcción civil, Arequipa, 2023 [Universidad Tecnológica del Perú]. In *Universidad Tecnológica del Perú*. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/8447>
- Arteaga, L. (2021). *Optimización de los tiempos del ciclo en el proceso de acarreo de mineral mediante la programación lineal, en una unidad minera en la Region La Libertad* [Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/item/e9d4626d-5dad-488e-9451-4dbec7f8b369>
- Burgos, P. (2024). *Aplicativo móvil para el reconocimiento de minerales* [Universidad Privada del Norte]. <http://repositorio.upn.edu.pe/item/4695100b-0b66-422f-8207-8c30e963e42c>
- Cacciuttolo, C., Atencio, E., Komarizadehasl, S., & Lozano-Galant, J. (2024). Internet of Things Long-Range-Wide-Area-Network-Based Wireless Sensors Network for Underground Mine Monitoring: Planning an Efficient, Safe, and Sustainable Labor Environment. *Sensors* 2024, Vol. 24, Page 6971, 24(21), 6971. <https://doi.org/10.3390/S24216971>
- Chandrasah, N., Babu, A., Rao, T., Babu, S., & Singh, K. (2025). Role of Digital Transformation in Mining Industry: Enhancing Efficiency, Safety and Sustainability. *Revista Minelor – Mining Revue*, 31(1), 1–11. <https://doi.org/10.2478/MINRV-2025-0001>

- Chatterjee, C., Sindhvani, R., Mangla, S. K., & Hasteer, N. (2025). Digitization of the mining industry: Pathways to sustainability through enabling technologies. *Resources Policy*, 100, 105450. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2024.105450>
- Condori, J. (2023). *Impacto de la transformación digital en la minería subterránea peruana* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f24ae510-6bee-48e5-bae5-7a4cee3bf02b/content>
- Delgado, R. (2021). *Determinación del factor de carga mediante parámetros operativos y geomecánicos para el proceso de voladura de rocas - Minera Yanacocha* [Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4390>
- Delgado, S., & Narváez, A. (2020). *Análisis estadístico de indicadores de rendimiento para servicios de perforación en los últimos 5 años en el Ecuador* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22762>
- Escudero, M. (2021). *Caracterización y mejora de los rendimientos de las flotas de perforación en mina El Soldado* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/182983>
- Fernández, J. (2024). *Evaluación de los KPIs operativos de la perforación y voladura al usar barrenos de 6' y 8' con fines de mejora, en la Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. (MARSÁ)* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4528/1/T026_70942417_T.pdf
- Morales, J. (2024). *Optimización de la productividad en minería a través de la transformación digital: un análisis de nuevos modelos de trabajo, regulación, y estandarización para la adopción exitosa de tecnología* [Tesis de maestría, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/204010>
- Ondov, M., Saderova, J., Sofrankova, A., Horizral, L., & Kacmary, P. (2025). Transport System Digitalization in the Mining Industry. *Sustainability 2025*, Vol. 17, Page 6038, 17(13), 6038. <https://doi.org/10.3390/SU17136038>
- Pajuelo, E. (2024). *Implementación de una aplicación móvil para gestionar los consumos en la empresa LACES GOLD MINING S.A.C. – Lima – 2023* [Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/item/bcfa0c36-2a59-4c67-89d5-c6655aaaeabb>
- Reddy, S., Naik, A., & Mandela, G. (2023). Development of a Novel Real-Time Environmental Parameters Monitoring System Based on the Internet of Things with LoRa Modules in Underground Mines. *Wireless Personal Communications*, 133(3), 1517–1546. <https://doi.org/10.1007/S11277-023-10827-0>
- Rivera, R. (2024). *Análisis de los indicadores operacionales de perforación y voladura en labores de desarrollo para el cumplimiento de los programas de avance en el método de minado con taladros largos, 2023* [Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/16118/1/IV_FIN_110_T_E_Rivera_Quintero_2024.pdf

- Rojas, L., Peña, Á., & Garcia, J. (2025). AI-Driven Predictive Maintenance in Mining: A Systematic Literature Review on Fault Detection, Digital Twins, and Intelligent Asset Management. *Applied Sciences* 2025, Vol. 15, Page 3337, 15(6), 3337. <https://doi.org/10.3390/APP15063337>
- Sánchez, E. (2023). Planeamiento estratégico para la mejora de productividad y competitividad de la minería subterránea en el Perú. *Gestionar: Revista de Empresa y Gobierno*, 3(2), 50–65. <https://doi.org/10.35622/J.RG.2023.02.005>
- Sanjines, L., & Rojas, G. (2023). Modelo de gestión de información para la reducción de costos operativos utilizando las técnicas de trabajo estandarizado y matriz de Kraljic en una pequeña empresa minera no metálica a tajo abierto, Virgen de Fátima - Negen [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. In *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/672550>
- Shafiq, M., Tian, Z., Bashir, A. K., Jolfaei, A., & Yu, X. (2020). Data mining and machine learning methods for sustainable smart cities traffic classification: A survey. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102177. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2020.102177>
- Silva, A. (2023). *Estrategias tecnológicas mineras tras el impacto de la pandemia COVID-19 para conectar a los trabajadores con la mina e implementar procesos de control en el sector, Perú* [Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/item/68b8eb56-374c-489f-802b-0742af3a6146>
- SONAMI. (2024). Tendencias y desafíos en la minería chilena: ¿Cómo afrontar la caída productiva y potenciar la industria? - SONAMI :: Sociedad Nacional de Minería - Chile. *Sociedad Nacional de Minería F.G.(SONAMI)*, 1–12. <https://www.sonami.cl/v2/publicaciones/tendencias-y-desafios-en-la-mineria-chilena-como-afrontar-la-caida-productiva-y-potenciar-la-industria/>
- Weichbroth, P. (2024). Usability Testing of Mobile Applications: A Methodological Framework. *Applied Sciences* 2024, Vol. 14, Page 1792, 14(5), 1792. <https://doi.org/10.3390/APP14051792>
- Ziętek, B., Banasiewicz, A., Zimroz, R., Szrek, J., & Gola, S. (2020). A Portable Environmental Data-Monitoring System for Air Hazard Evaluation in Deep Underground Mines. *Energies* 2020, Vol. 13, Page 6331, 13(23), 6331. <https://doi.org/10.3390/EN13236331>
- Zvarivadza, T., Onifade, M., Dayo-Olupona, O., Said, K. O., Githiria, J. M., Genc, B., & Celik, T. (2024). On the impact of Industrial Internet of Things (IIoT) - mining sector perspectives. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 38(10), 771–809. <https://doi.org/10.1080/17480930.2024.2347131>;SUBPAGE:STRING:FULL