

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

SISTEMA AUTOMATIZADO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

GEOMECÁNICOS PARA OPTIMIZAR EL MANEJO DE

INFORMACIÓN EN LA UNIDAD MINERA

VAZANTE, MINAS GERAIS BRASIL

TESIS

Presentada por:

Bach. FABIÁN EDUARDO LABÁN LABÁN

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

SISTEMA AUTOMATIZADO DE RECOLECCIÓN DE DATOS GEOMECÁNICOS PARA OPTIMIZAR EL MANEJO DE INFORMACIÓN EN LA UNIDAD MINERA VAZANTE, MINAS GERAIS BRASIL

Tesis sustentada y aprobada el 22 de mayo de 2026, estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE

.....
Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

1er. MIEMBRO
(SECRETARIO)

.....
Dr. Edgar Faustino Taya Osorio

2do. MIEMBRO
(VOCAL)

.....
Dr. Jorge José Segura Dávila

ASESOR

.....
Dr. Dante Ulises Morales Cabrera

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Dante Ulises Morales Cabrera, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N.º **10400-2026-FAIN/UNJBG** de la tesis titulada:

“**SISTEMA AUTOMATIZADO DE RECOLECCIÓN DE DATOS GEOMECÁNICOS PARA OPTIMIZAR EL MANEJO DE INFORMACIÓN EN LA UNIDAD MINERA VAZANTE, MINAS GERAIS BRASIL**”, presentada por el Bachiller **Fabián Eduardo Labán Labán** con código N.º **2018-101014**, para optar título profesional de Ingeniero de Minas.

Que, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **software de similitud textual Turnitin** cuenta con el **nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 5 %** Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

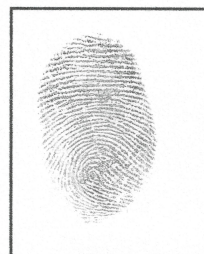
Tacna, 27 de mayo del 2026

FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos: Dr. DANTE ULISES MORALES CABRERA

ORCID.: [0000-0002-0967-3207](https://orcid.org/0000-0002-0967-3207)

DNI: 00432101

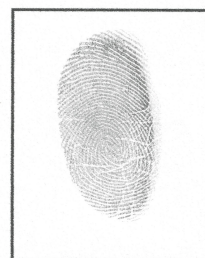


Huella digital

FIRMA TESISTA

Nombres y apellidos: Fabián Eduardo Labán Labán

DNI: 70844371



Huella digital

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido existir, a Luisa y a Graciela ya que sin ellas no podría estar aquí y a toda mi familia por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A todo el personal de la gerencia de geomecánica por la confianza y el apoyo a este proyecto que pude liderar e implementar en la unidad minera Vazante. A todos los docentes de mi alma máter, la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por el apoyo constante a muchos jóvenes como yo, que gracias a su conocimiento y consejo podemos hacer realidad nuestros anhelos personales y profesionales demostrando nuestra valía y aporte a la sociedad.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Antecedentes del Problema.....	3
1.2. Descripción del Problema	4
1.3. Formulación del Problema.....	4
1.3.1. Problema General	4
1.3.2. Problemas Específicos	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. Justificación e Importancia de la Investigación	5
1.6. Limitaciones.....	6
1.6.1. Conectividad en Interior Mina.....	6
1.6.2. Resistencia al Cambio.....	6
1.6.3. Dependencia de la Infraestructura Corporativa	7

1.7.	Viabilidad de Estudio.....	7
1.8.	Formulación de Hipótesis	7
1.8.1.	Hipótesis General.....	7
1.8.2.	Hipótesis Específicas	7
1.9.	Variables.....	8
1.10.	Operacionalización de las Variables	9
2.	MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.	Antecedentes del Estudio.....	10
2.1.1.	Antecedes Internacionales	10
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	14
2.2.	Bases Teóricas.....	16
2.2.1.	Minería Subterránea.....	16
2.2.2.	Geomecánica.....	17
2.2.3.	Minería 4.0.....	20
2.2.4.	Transformación Digital	21
2.2.5.	Ecosistema Microsoft 365 Para Minería.....	22
2.2.6.	Gestión de la Información en Minería	24
2.2.7.	Flujo de Gestión de Información	25
2.2.8.	Secuencia Lógica de Trabajo del Sistema Automatizado	27
2.3.	Definición de Términos	40
2.3.1.	Macizo Rocosó	40
2.3.2.	Labor Minera	40
2.3.3.	Sostenimiento.....	40
2.3.4.	Desate de Rocas	40

2.3.5.	Pull Test	40
2.3.6.	Guardia Minera	40
2.3.7.	Centro de Control (CCO).....	40
2.3.8.	Centro Administrativo (CA)	41
2.3.9.	Aplicación Móvil	41
2.3.10.	Online Mode	41
2.3.11.	Offline Mode.....	41
2.3.12.	Sincronización Asíncrona	41
2.3.13.	Dashboard	41
2.4.	Aspectos Generales de la Mina de Estudio.....	41
2.4.1.	Ubicación	42
2.4.2.	Accesibilidad	42
2.4.3.	Geología.....	43
2.4.4.	Contexto Geomecánico	43
2.4.5.	Método de Explotación.....	44
2.4.6.	Ciclo de Minado.....	45
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	48
3.1.	Planteamiento Metodológico	48
3.1.1.	Tipo de Estudio	48
3.1.2.	Nivel de Investigación	48
3.1.3.	Diseño de la Investigación.....	49
3.2.	Población y Muestra de Estudio	49
3.3.	Equipos y Materiales	50
3.4.	Procedimiento de Pruebas Experimentales.....	50

3.5.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	51
3.6.	Técnicas Para el Procesamiento de Datos.....	52
3.6.1.	Validación y Tabulación de la Información	52
3.6.2.	Codificación de la Información	58
4.	RESULTADOS	60
4.1.	Descripción de las Pruebas Experimentales	60
4.1.1.	Planteamiento del Sistema Automatizado y Control de Tiempos del Método Manual	60
4.1.2.	Implementación del Sistema Automatizado	63
4.1.3.	Evaluación del Sistema Automatizado	65
4.2.	Presentación y Análisis de Resultados.....	66
4.2.1.	Análisis Descriptivo.....	66
4.2.2.	Cálculo de Indicadores.....	68
4.3.	Contrastación de Hipótesis	71
4.3.1.	Contrastación de la Hipótesis General.....	71
4.3.2.	Contrastación de las Hipótesis Específicas.....	71
5.	DISCUSIÓN	73
5.1.	Aplicación de la Tecnología Encontrada	73
5.2.	Contraste con Trabajos de Investigación Similares	75
5.2.1.	Eficiencia Operativa y Reducción de Tiempos.....	75
5.2.2.	Integridad de los Datos y Eliminación del Error Humano.....	75
5.2.3.	Visualización de Datos y Toma de Decisiones (Business Intelligence)	76
5.2.4.	Complejidad Técnica y Accesibilidad Tecnológica	76

CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS	84
ANEXO 01: Matriz de consistencia	85
ANEXO 02: Matriz de operacionalización de variables	86
ANEXO 03: Formato de registro de base de datos.....	87
ANEXO 04: Formato de bitácora de control de tiempos.....	88
ANEXO 05: Formato de observación.....	89
ANEXO 06: Cuestionario de satisfacción	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables.....	9
Tabla 2	Accesibilidad a la unidad minera Vazante.....	43
Tabla 3	Bitácoras de control de tiempos por técnico con el método tradicional.....	54
Tabla 4	Bitácoras de control de tiempos por técnico con el método digital	55
Tabla 5	Registros de bases de datos de las inspecciones geomecánicas	56
Tabla 6	Fichas de observación	57
Tabla 7	Puntuación escala Likert	58
Tabla 8	Resultado de la encuesta de satisfacción de los técnicos geomecánicos.....	59
Tabla 9	Tiempos totales por método y fase del flujo de gestión de información.....	66
Tabla 10	Tasa de sincronización exitosa por técnico	68
Tabla 11	Índice de integridad de datos por técnico	68
Tabla 12	Reducción en el tiempo del flujo de gestión por técnico	70
Tabla 13	Nivel de satisfacción por técnico	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mina subterránea en el centro de Brasil	17
Figura 2 Flujo de gestión de información	27
Figura 3 Interfaz de la aplicación de recolección de información geomecánica	29
Figura 4 Aplicación en modo online.....	31
Figura 5 Aplicación modo offline	32
Figura 6 Interfaz de migración de datos	34
Figura 7 Migración exitosa hacia la base de datos	35
Figura 8 Migración fallida debido a la falta de conexión a red Wi-Fi.....	36
Figura 9 Interfaz de la base de datos en SharePoint	38
Figura 10 Interfaz de reportes y modelo de datos de Power BI en línea	39
Figura 11 Ubicación y accesibilidad de la mina de estudio	42
Figura 12 Método de explotación empleado	45
Figura 13 Base de datos de la gerencia de geomecánica en Access	61
Figura 14 Bases de datos migradas a SharePoint	62
Figura 15 Acompañamiento al técnico 01 en interior mina.....	63
Figura 16 Acompañamiento al técnico 03 en interior mina.....	64
Figura 17 Acompañamiento al técnico 04 en centro administrativo	64
Figura 18 Reunión con centro de control	65
Figura 19 Tiempos de uso del sistema automatizado por técnico	69

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la optimización del manejo de información geomecánica en la unidad minera Vazante mediante la implementación de un sistema automatizado basado en Microsoft 365, utilizando Power Apps, SharePoint y Power BI. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y con un diseño de estudio de caso, considerando a cinco técnicos de la gerencia de geomecánica en condiciones operativas reales. El procedimiento consistió en comparar el método tradicional de registro manual con el sistema digital automatizado mediante el análisis de 10 bitácoras de control de tiempos. Los resultados demostraron una reducción significativa en el tiempo total del flujo de gestión de información, pasando de un promedio de 73,26 minutos a 53,34 minutos, lo que representa una optimización del 27,2% y un ahorro de 19,92 minutos por ciclo. Asimismo, se identificó la eliminación total del tiempo destinado a la digitación manual en oficina y una reducción del 74,5% en la generación de reportes. La evaluación de usabilidad, aplicada mediante una escala de Likert, mostró un nivel de satisfacción: Muy alto, con una moda de 5, lo que confirmó la aceptabilidad tecnológica por parte del equipo técnico geomecánico. La investigación concluyó que la digitalización del flujo de información agilizó la disponibilidad de datos críticos para la seguridad minera y contribuyó a la estandarización e integridad de información en labores subterráneas.

Palabras clave: Sistema automatizado, flujo de gestión de información, geomecánica, automatización, Microsoft 365, optimización de procesos, minería subterránea.

ABSTRACT

The research aimed to evaluate the optimization of geomechanical information management at the Vazante mining unit through the implementation of an automated system based on Microsoft 365, using Power Apps, SharePoint, and Power BI. The study employed a quantitative, explanatory approach with a case study design, focusing on five technicians from the geomechanical management team under real-world operating conditions. The procedure involved comparing the traditional manual recording method with the automated digital system by analyzing 10 time-tracking logs. The results demonstrated a significant reduction in the total information management workflow time, decreasing from an average of 73,26 minutes to 53,34 minutes, representing a 27,2% optimization and a savings of 19,92 minutes per cycle. Furthermore, the study identified the complete elimination of time spent on manual data entry in the office and a 74,5% reduction in report generation. The usability assessment, conducted using a Likert scale, showed a very high level of satisfaction, with a mode of 5, confirming the technological acceptability among the geomechanical technical team. The research concluded that digitizing the information flow expedited the availability of data critical to mine safety and contributed to the standardization and integrity of information in underground excavations.

Keywords: Automated system, information management flow, geomechanics, automation, Microsoft 365, process optimization, underground mining.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria minera global atraviesa una transformación digital impulsada por la denominada minería 4.0. Esta evolución no solo busca la mecanización de las operaciones, sino también la digitalización de los procesos críticos para garantizar la seguridad y la eficiencia operativa mediante la optimización de los procesos. En este contexto, la gestión de la información geomecánica constituye un pilar fundamental, debido a que de la rapidez y precisión de los datos obtenidos en interior mina influyen directamente en la estabilidad de las labores subterráneas y en la seguridad del personal.

Históricamente, el registro de datos geomecánicos en la unidad minera Vazante se realizó mediante métodos tradicionales basados en formatos físicos y transcripción manual en oficina. Este flujo convencional genera retrasos operativos, donde el tiempo transcurrido entre la captura del dato en campo y su visualización en un reporte técnico puede tardar horas, limitando la capacidad de respuesta ante condiciones de las labores subterráneas. Asimismo, los retrabajos en etapas del flujo de gestión de información, como digitación, validación y reportabilidad, incrementaron la probabilidad de error humano y comprometieron la calidad de la información geomecánica.

El presente trabajo de investigación propuso la implementación de una solución innovadora mediante un sistema automatizado utilizando herramientas del ecosistema Microsoft 365, como Power Apps, SharePoint y Power BI. A diferencia de soluciones de software de pago, esta investigación aprovechó el software corporativo existente en la compañía para crear un sistema dinámico de flujo de información, eliminando la digitación manual y reduciendo tiempos dentro del proceso de gestión de información geomecánica.

El estudio se distribuye en cinco capítulos:

En el capítulo I se presentó el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos y las hipótesis de la investigación. En el capítulo II se establecieron los antecedentes, el marco teórico y las bases teóricas sobre geomecánica y herramientas digitales. En el capítulo III se describió el marco metodológico, así como el tipo, nivel y diseño de la investigación, además de los procesos de recolección y tratamiento de datos. El capítulo IV presentó y analizó los resultados con el propósito de comprobar las hipótesis planteadas. El capítulo V se discutieron los hallazgos en comparación con otras investigaciones de la industria minera. Finalmente, se expusieron las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos de la tesis.

Con este trabajo, se buscó sentar un precedente sobre cómo la integración de herramientas digitales puede transformar el manejo de información geomecánica, agregando valor a la disciplina y contribuyendo a la modernizando el ritmo de trabajo en minería subterránea.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes del Problema

En las operaciones extractivas en minería subterránea, la captura de información geomecánica en campo constituye un pilar fundamental para la seguridad del personal que trabaja en interior mina. Este proceso permite la caracterización del macizo rocoso, considerando litologías, estructuras, presencia de agua, y fundamenta la toma de decisiones con el diseño de labores y los sistemas de sostenimiento. De este modo, contribuye a garantizar un ambiente de trabajo seguro, reducir los riesgos geotécnicos y asegurar la continuidad operativa de la mina (Abarca & Lukas, 2025).

Históricamente, en la unidad minera Vazante, ubicada en Minas Gerais, Brasil, y con más de 70 años de historia mediante el método sub level stoping, la recolección de información geomecánica se realizó mediante formatos físicos en papel, los cuáles fueron utilizados por los técnicos geomecánicos que laboran trabajan en cuatro guardias durante el día.

Esta metodología tradicional generó ineficiencias críticas, tales como el retrabajo administrativo derivado de la transcripción manual, ineficiencia en la comunicación con el centro de control y vulnerabilidad en la integridad de los datos debido al riesgo de pérdida o duplicidad de información. El flujo operativo implicó digitalizar la información registrada en papel hacia una base de datos en Microsoft Access, exportarla posteriormente a Excel y compartir archivos en formato PDF. Este ecosistema fragmentado dificultó el control y el flujo de comunicación, incrementando el riesgo de que el personal ingresara a labores con condiciones geotécnicas inestables o con trabajos pendientes relacionados con la seguridad.

En virtud de lo mencionado, el presente trabajo planteó realizar un análisis comparativo entre el método tradicional y un sistema automatizado que empleó Power Apps como plataforma para la recolección de información geomecánica, SharePoint como base de datos en la nube y Power BI como herramienta de visualización de datos. Asimismo, se evaluaron los tiempos empleados en cada método y el nivel de satisfacción del personal técnico de la gerencia de geomecánica.

1.2. Descripción del Problema

El proceso tradicional de captura y gestión de datos geomecánicos en la unidad minera Vazante presentó ineficiencias operativas debido a los elevados tiempos de recolección y transcripción de la información. La dependencia de formatos físicos y la fragmentación de herramientas, como Microsoft Access y Microsoft Excel, generaron retrasos, duplicidad de información y errores en el envío de datos de control, afectando la seguridad operativa.

Esta limitada disponibilidad de información impacto directamente en la calidad de la toma de decisiones relacionadas con la estabilidad y el sostenimiento de las labores subterráneas, impidiendo que el centro de control y las áreas operativas dispusieron de una visión actualizada del estado de las labores. Como consecuencia, se incrementaron los riesgos geotécnicos y operativos durante cada guardia.

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema General

¿En qué medida la implementación de un sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos optimiza el manejo de la información en la unidad minera Vazante?

1.3.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cómo influye el sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos en la reducción de tiempos en el flujo de gestión de información de la gerencia de geomecánica?
- b) ¿Qué influencia tiene el sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos en el nivel de satisfacción de los técnicos de la gerencia de geomecánica?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la optimización del manejo de información geomecánica mediante la implementación de un sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos en la unidad minera Vazante.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar la reducción de los tiempos en el flujo de gestión de información geomecánica entre el método tradicional y el método digital.
- b) Determinar la influencia del sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos en el nivel de satisfacción de los técnicos de la gerencia de geomecánica.

Análisis a detalle en el Anexo 01: Matriz de consistencia.

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación

La investigación se justificó por la necesidad crítica de modernizar la gestión de datos geomecánicos en la unidad minera Vazante, sustituyendo un flujo de trabajo tradicional basado en formatos físicos, Microsoft Access y Microsoft Excel por una arquitectura digital integrada mediante Power Apps, SharePoint y Power BI. El proyecto abordó ineficiencias operativas con el elevado índice de retrabajo administrativo y la

latencia en la comunicación con el centro de control, factores que incrementaban el riesgo de pérdida de integridad de la información recopilada en campo. La implementación de esta solución permitió garantizar una trazabilidad auditable y una disponibilidad inmediata de los datos, optimizando la toma de decisiones técnicas en un entorno de alta exigencia operativa organizado en cuatro guardias de seis horas.

Desde una perspectiva metodológica y de seguridad, el estudio se fortaleció debido al impacto inmediato en la entrega de información al centro de control, ya que datos pudieron visualizarse casi en tiempo real, evitando problemas de información incompleta o duplicada dentro de la gerencia de geomecánica. Bajo un diseño no experimental-transversal, la investigación permitió optimizar los procesos de captura de datos, asegurando que la información geomecánica sea precisa y se entregara oportunamente para contribuir a la prevención de accidentes geotécnicos. De este modo, la investigación no solo resolvió un problema de eficiencia administrativa del área, sino que también fortaleció la cultura de seguridad operacional al proporcionar una visión actualizada del estado de las labores subterráneas.

1.6. Limitaciones

1.6.1. Conectividad en Interior Mina

La ausencia de conexión a una red Wi-Fi o señal de datos en los frentes de trabajo subterráneos representó la principal limitación técnica del estudio. Esta situación se resolvió mediante la configuración de almacenamiento local en Power Apps, lo que permitió que los técnicos trabajaran de forma asíncrona y sin conexión hasta sincronizar la información en SharePoint al retornar al centro administrativo.

1.6.2. Resistencia al Cambio

La transición de un método tradicional a uno digital generó una curva de aprendizaje y adaptación por parte del equipo técnico de geomecánica, lo que requirió un acompañamiento constante para asegurar el uso correcto de la herramienta digital.

1.6.3. Dependencia de la Infraestructura Corporativa

El flujo de datos estuvo sujeto a la estabilidad de los servidores de SharePoint y a la gestión de licencias de Microsoft 365 de la empresa, factores externos al control directo del investigador.

1.7. Viabilidad de Estudio

La viabilidad del proyecto fue alta y demostrable, debido a la disponibilidad inmediata de la infraestructura tecnológica, la cual incluyó *tablets* y licencias corporativas de Microsoft 365, como Power Apps, SharePoint y Power BI, eliminando la necesidad de realizar inversiones financieras adicionales. Desde el punto de vista operativo, la solución se integró de forma eficiente al régimen de cuatro guardias de la unidad minera Vazante, aprovechando la capacidad de almacenamiento sin conexión para superar las limitaciones de conectividad en interior mina.

Finalmente, la ejecución directa por parte del investigador garantizó la sostenibilidad técnica del sistema y aseguró un retorno inmediato mediante la optimización de horas de trabajo y la mitigación de riesgos operativos.

1.8. Formulación de Hipótesis

1.8.1. Hipótesis General

La implementación del sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos optimiza significativamente el manejo de información en la unidad minera Vazante.

1.8.2. Hipótesis Específicas

- a) El sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos reduce el tiempo en el flujo de gestión de información al eliminar la transcripción manual de registros y al automatizar el envío de la información.
- b) El sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos influye significativamente en el nivel de satisfacción de los técnicos de la gerencia de geomecánica.

1.9. Variables

Debido a la naturaleza del estudio no se tratará de establecer una dependencia entre las variables, sino estimar el grado de asociación entre las mismas.

Variable independiente: Sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos.

Tipo: Categórica dicotómica, define la transición entre el método manual y el digital.

Naturaleza: Cualitativa, describe una característica del proceso de gestión.

Escala: Nominal, los estados manual y digital solo representan categorías sin un orden jerárquico numérico.

Variable dependiente: Manejo de información geomecánica.

Tipo: Continua/discreta. Los tiempos permiten decimales, la satisfacción se mide en puntajes enteros.

Naturaleza: Cuantitativa, sus indicadores son medibles numéricamente.

Escala: De razón. Permite realizar comparaciones estadísticas de magnitud y proporción.

1.10. Operacionalización de las Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: Sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos.	Conjunto de herramientas tecnológicas del entorno Microsoft 365 (Power Apps, SharePoint, Power BI) diseñadas para la captura y flujo de gestión digital de información geomecánica en campo.	Desempeño del sistema automatizado.	- Tasa de sincronización (%) - Índice de integridad (%) - Tiempo de captura digital (min).
Variable dependiente: Manejo de información geomecánica.	Evaluación del rendimiento mediante la medición de tiempos de disponibilidad, conteo de errores de registro y encuestas de percepción a los técnicos.	- Eficiencia operativa. - Factor humano.	- Disponibilidad de la información (min). - Reducción en el tiempo del flujo de gestión de información (min). - Nivel de satisfacción de los técnicos geomecánicos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Estudio

2.1.1. *Antecedes Internacionales*

Chala y Ray (2023) desarrollaron un artículo de investigación titulado Machine Learning Techniques for Soil Characterization Using Cone Penetration Test Data. El estudio tuvo como objetivo predecir la velocidad de onda de corte del suelo (V_s), parámetro fundamental para evaluar la propagación de ondas sísmicas y la respuesta dinámica del terreno, utilizando algoritmos de aprendizaje automático basados en datos de ensayos de penetración de cono (CPT). Metodológicamente, los autores emplearon cuatro modelos de machine learning: Bosques Aleatorios (RF), Máquinas de Vectores de Soporte (SVM), Árboles de Decisión (DT) y Potenciación de Gradiente Extremo (XGBoost). Los modelos fueron entrenados con el 70% de los datos disponibles y validados con el 30% restante. Asimismo, los hiperparámetros se optimizaron mediante optimización bayesiana y validación cruzada k-fold. El desempeño de los modelos se evaluó utilizando ocho métricas estadísticas, entre ellas RMSE, MAE, MAPE, coeficiente de determinación (R^2), índice de rendimiento e índice de dispersión. Los resultados evidenciaron que el modelo RF presentó el mejor desempeño global, mostrando un menor nivel de error y una mayor capacidad predictiva. Los modelos SVM y XGBoost también obtuvieron resultados aceptables, aunque ligeramente inferiores, mientras que el modelo DT mostró el rendimiento más bajo.

En conclusión, el modelo de RF constituyó una herramienta eficaz y confiable para estimar con precisión la velocidad de onda de corte del suelo a partir de datos CPT utilizando un conjunto reducido de variables de entrada.

Jimin et al. (2024) elaboraron el artículo de investigación titulado *Automated Data Extraction from Unstructured Geotechnical Report based on AI and Text-mining Techniques*. El estudio tuvo como objetivo proponer un método automatizado para la extracción de datos geotécnicos a partir de informes técnicos, con la finalidad de optimizar el proceso de digitalización y reducir los errores asociados al registro manual. Metodológicamente, se emplearon modelos de aprendizaje profundo basados en imágenes para la clasificación de páginas, algoritmos de búsqueda textual para identificar secciones relevantes y técnicas de visión computacional y minería de texto para detectar y extraer datos válidos. El modelo fue validado mediante una base de 205 informes geotécnicos, alcanzando una precisión del 100 % en la clasificación de páginas y una exactitud promedio del 93 % en la extracción de datos. En conclusión, la investigación demostró que la automatización mediante inteligencia artificial mejoró significativamente la eficiencia y confiabilidad en la digitalización de informes geotécnicos, contribuyendo a la construcción de bases de datos más precisas y estructuradas.

Collico, Spagnoli y Monforte (2025) desarrollaron un artículo de investigación denominado *Automating site characterization from pile field Data*. El estudio tuvo como objetivo desarrollar metodologías eficientes para actualizar parámetros geotécnicos en contextos de alta complejidad, considerando la heterogeneidad del terreno, la anisotropía y la alta complejidad, considerando la heterogeneidad del terreno, la anisotropía y la elevada dimensionalidad de los modelos constitutivos.

Metodológicamente, los autores plantearon dos enfoques bayesianos orientados a la práctica: uno basado en modelos sustitutos o metamodelos y otro sustentado en un flujo de trabajo híbrido-adaptativo. Ambos enfoques se apoyaron en datos limitados obtenidos a partir de ensayos de campo de pilotes y perfiles generados mediante CPT. Para garantizar la convergencia hacia distribuciones posteriores de alta dimensionalidad, se empleó un algoritmo adaptativo de Monte Carlo de Cadenas de Markov Transicional Evolutivo Diferencial. Las metodologías fueron aplicadas a un pilote perforado e inyectado sometido a cargas estáticas y cíclicas, embebido en un depósito natural de suelo. Como resultado, ambos enfoques demostraron ser capaces de actualizar conjuntamente parámetros geotécnicos de alta dimensión utilizando información limitada. Asimismo, ofrecieron marcos de optimización prácticos compatibles con software geotécnico comercial, facilitando su implementación en proyectos reales.

Veltin, McMillan y Lawrence (2025) desarrollaron el artículo titulado *Enhancing Data Quality and Transparency in Geotechnical Data Collection*. El estudio tuvo como objetivo optimizar los procesos de aseguramiento y control de calidad (QAQC) en programas geotécnicos de campo mediante la automatización de tareas rutinarias asociadas al registro de núcleos, con la finalidad de mejorar la confiabilidad de la información utilizada en el diseño geotécnico. Metodológicamente, los autores desarrollaron un conjunto de herramientas en Python capaces de identificar y reconciliar automáticamente inconsistencias en bases de datos de perforación. Entre estas inconsistencias se consideraron profundidades incongruentes, ángulos de núcleo fuera de límites lógicos, valores sobreestimados de RQD en macizos rocosos débiles, omisiones y errores tipográficos. Asimismo, las herramientas generaron registros geotécnicos visuales que permitieron detectar discrepancias conceptuales entre parámetros como la resistencia estimada en campo, los índices de carga puntual y las clasificaciones estructurales

incorrectas. Estos procesos se integraron en un marco digital de gestión QAQC respaldado por un *dashboard* con métricas de calidad, ejecución y seguridad accesible para clientes y equipos técnicos. Los resultados evidenciaron una reducción significativa de errores de registro en programas de perforación a gran escala con múltiples plataformas y equipos de logueo, así como una mejora en la comunicación y retroalimentación diaria entre supervisores y personal de campo. En conclusión, la automatización del QAQC geotécnico mediante herramientas computacionales fortaleció la calidad, trazabilidad y transparencia de la información recolectada, incrementando la confiabilidad técnica para su aplicación en futuros diseños geotécnicos.

Valencia et al. (2025) elaboraron un artículo de investigación titulado *Automatización de Informes Geotécnicos para Macizos Rocosos con IA*. El estudio tuvo como objetivo modernizar la elaboración de informes geotécnicos, tradicionalmente desarrollados de forma manual a partir de observaciones en campo con instrumentos básicos, proceso que suele ser lento, subjetivo y propenso a errores. Para ello, se incorporaron técnicas de inteligencia artificial orientadas a la generación automática de reportes. Metodológicamente, se recopilaban fotografías de afloramientos rocosos y muestras de mano junto con sus descripciones técnicas e informes académicos previos de la cátedra de geotecnia. Estos insumos permitieron definir la estructura del informe, desarrollar la ingeniería de *prompts* y validar las respuestas de un modelo de lenguaje grande multimodal (MLLM). Asimismo, se aplicó un proceso iterativo de refinamiento de instrucciones estructuradas para cada sección del documento, como alternativa eficiente al ajuste fino del modelo. Los resultados mostraron valores de 0,455 en BLEU y 0,653 en ROUGE-L, evidenciando que las descripciones generadas automáticamente alcanzaron un nivel comparable al de expertos. En conclusión, la herramienta desarrollada, accesible vía web, con interfaz intuitiva y opción de exportación en formatos

estandarizados, que constituyó una innovación relevante que mejora la eficiencia, estandarización y accesibilidad en la elaboración de informes geotécnicos para profesionales y estudiantes de geología de campo.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Salas (2024) desarrolló el estudio titulado *Automatización del proceso de captura de información geológica para optimizar el sistema de información de la Minera Raura Huánuco 2024*. La investigación tuvo como objetivo principal implementar la automatización del proceso de captura de información geológica con la finalidad de optimizar el sistema de información de la minera Raura, ubicada en Huánuco, durante el año 2024. Metodológicamente, el estudio desarrolló bajo un diseño no experimental de enfoque causa–efecto, con un tipo de investigación aplicada y un nivel descriptivo y correlacional. Asimismo, estuvo orientado a analizar la situación existente y evaluar los efectos de la intervención tecnológica en el sistema de gestión de datos. La principal conclusión evidenció que, tras la implementación de la automatización, el proceso de captura y almacenamiento de información geológica se optimizó significativamente, permitiendo una gestión de datos más eficiente, confiable y segura. De esta manera, se fortaleció la calidad y trazabilidad de la información utilizada en la toma de decisiones operativas.

Alava (2025) elaboró un trabajo de investigación titulado *Optimización de la gestión de datos en instrumentación geotécnica para reducir costos y errores humanos en las minas del Perú, Lima - 2025*. El presente estudio tuvo como objetivo optimizar los tiempos y reducir los costos asociados a la toma de datos de instrumentos geotécnicos mediante la aplicación del mapeo de procesos “*As Is*” y su posterior rediseño “*To Be*”. Metodológicamente, la investigación se inició con el análisis detallado de los procesos actuales, identificando ineficiencias a través del diagrama de Ishikawa para determinar

las causas raíz de los problemas y del diagrama de Pareto para priorizar los principales costos involucrados. Posteriormente se desarrolló el modelamiento “*To Be*”, orientado a automatizar y facilitar la recopilación de datos, reducir errores humanos y mejorar la trazabilidad de la información. Asimismo, el estudio se complementó con un análisis comparativo de proveedores tecnológicos y un benchmarking de experiencias aplicadas en operaciones mineras internacionales. Finalmente, se realizó la implementación y prueba piloto de la solución tecnológica propuesta. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en la eficiencia operativa, una mayor confiabilidad en la captura de datos y una reducción de reprocesos, lo que se tradujo en menores costos operativos. En conclusión, el rediseño de procesos apoyado en herramientas de gestión y tecnologías de información demostró ser una estrategia efectiva para generar innovación, eficiencia y rentabilidad sostenible en la gestión de instrumentación geotécnica.

Condori (2025) elaboró un trabajo de investigación denominado *Impacto de la transformación digital en la minería subterránea peruana*. La investigación tuvo como objetivo principal analizar el impacto de la tecnología digital en la minería subterránea mediante un estudio de caso, aplicando los conocimientos adquiridos a la realidad de una empresa minera. A partir del análisis desarrollado en la unidad minera Cerro Lindo, se concluyó que la incorporación de tecnologías digitales generó efectos positivos en la gestión operativa. Específicamente, el uso de datos digitales en tiempo real permitió mejorar los análisis técnicos de la mina y contribuir al incremento de la productividad. Esta conclusión se sustentó en el registro histórico de la empresa, el cual evidenció niveles de desempeño fluctuantes bajo un sistema tradicional basado en bases de datos tabuladas.

Con la implementación de una plataforma digital, se logró procesar de manera más eficiente las fuentes de información y transformarlas en informes y paneles de control dinámicos, fortaleciendo la toma de decisiones. En ese sentido, el procesamiento

estructurado y visual de datos no solo optimizó la operación inmediata, sino que abrió posibilidades de escalabilidad tecnológica hacia distintos niveles operativos, aportando un avance significativo para la minería subterránea peruana.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Minería Subterránea

La minería subterránea se define como el conjunto de actividades técnicas, operativas y de gestión destinadas a la extracción y procesamiento de minerales metálicos y no metálicos de valor económico desde un yacimiento ubicado bajo la superficie terrestre. Estas operaciones se desarrollan mediante la aplicación de métodos de explotación específicos, diseñados en función de las características geológicas, geomecánicas y económicas del depósito mineral. A diferencia de la minería superficial, este tipo de explotación requiere la construcción de labores como galerías, rampas, chimeneas y tajos, que permiten acceder al cuerpo mineralizado garantizando condiciones adecuadas de estabilidad y seguridad (Arrobo et al. ,2024).

El objetivo principal de la actividad minera subterránea es la generación de valor económico a través de la comercialización de los minerales extraídos, lo que implica una gestión eficiente de costos, tiempos y recursos. Para ello, la operación se sustenta en una infraestructura especializada, maquinaria de alto rendimiento, sistemas de ventilación, sostenimiento y control geomecánico, así como en la participación de personal técnico calificado (Sánchez, 2025). En este contexto, todos estos elementos deben integrarse bajo criterios de seguridad, productividad y sostenibilidad, asegurando la continuidad operativa y el cumplimiento de estándares ambientales y normativos.

Figura 1

Mina subterránea en el centro de Brasil



2.2.2. Geomecánica

La geomecánica es una disciplina científica y de ingeniería encargada del estudio teórico y aplicado del comportamiento mecánico de los materiales geológicos. En el contexto de la minería subterránea, se define como la aplicación de los principios de la mecánica de rocas para comprender la respuesta del macizo rocoso ante las tensiones inducidas por las excavaciones (Cruz, 2023). Este entendimiento se utiliza para generar modelos mediante softwares especializados, con el fin de determinar el tipo de sostenimiento más adecuado en una labor subterránea, ya sea mediante pernos de anclaje, mallas de acero, *shotcrete* u otros sistemas de soporte estructural.

Además, la geomecánica cumple un rol estratégico en la prevención de inestabilidades, el control de deformaciones y la reducción de riesgos asociados a caídas

de roca o colapsos. A través de la caracterización del macizo rocoso, considerando parámetros como resistencia, discontinuidades, orientación de fracturas y estado de esfuerzos, se establecen criterios de diseño que permiten optimizar la seguridad y la eficiencia operativa (Cruz, 2023). De este modo, la integración de estudios geomecánicos en la planificación minera no solo protege la integridad del personal y la infraestructura, sino que también contribuye a la continuidad productiva y a la sostenibilidad técnica de la operación subterránea.

2.2.2.1. Inspecciones Geomecánicas

Las inspecciones geomecánicas constituyen una actividad sistemática orientada al análisis de las condiciones del macizo rocoso expuesto en las labores subterráneas. Estas inspecciones se realizan generalmente después de cada avance o voladura y tienen como finalidad identificar posibles zonas inestables, presencia de discontinuidades críticas, fracturamientos, fallas, filtraciones de agua o cualquier indicio de degradación estructural. Con base en esta evaluación, se determina la necesidad de aplicar sostenimiento adicional o correctivo para garantizar la estabilidad de la excavación (Zevallos y Huamanyalli, 2024).

Durante el proceso de inspección, el personal especializado registra parámetros geomecánicos relevantes como tipo de roca, grado de alteración, espaciamiento y orientación de fracturas, condición de juntas, presencia de bloques sueltos y calidad del sostenimiento instalado. Esta información suele documentarse en formatos físicos o digitales y constituye la base para la clasificación geomecánica del macizo rocoso mediante sistemas como RMR, Q o GSI. La calidad y precisión de estos registros son fundamentales para una adecuada toma de decisiones en campo (Zevallos y Huamanyalli, 2024).

En este contexto, las inspecciones geomecánicas permiten generar retroalimentación continua hacia las áreas de planeamiento y control de operaciones. Los datos recopilados facilitan la actualización de modelos geomecánicos, la optimización de diseños de sostenimiento y la reducción de riesgos asociados a eventos no deseados, como caídas de roca o colapsos localizados (Zevallos y Huamanyalli, 2024). En ese sentido, una gestión eficiente de la información obtenida en inspecciones no solo fortalece la seguridad operativa, sino que también mejora la productividad al minimizar interrupciones en el ciclo de minado.

2.2.2.2. Gestión de Aseguramiento y Control de Calidad en Sostenimiento

La gestión de aseguramiento de calidad (*Quality Assurance* [QA]) y control de calidad (*Quality Control* [QC]) en el sostenimiento constituye el conjunto de procesos sistemáticos destinados a verificar que la fortificación instalada en la mina subterránea cumpla con los estándares técnicos de seguridad y diseño (Meza y Canchari, 2025).

2.2.2.2.1. Aseguramiento de Calidad (QA)

Se refiere a la parte preventiva. Define los estándares, procedimientos y protocolos que deben seguirse durante la instalación del sostenimiento para evitar fallos (por ejemplo, el procedimiento de mezclado de resina para pernos).

2.2.2.2.2. Control de Calidad (QC)

Corresponde a la fase operativa y de verificación del proceso. Consiste en la medición directa en campo para confirmar que el sostenimiento instalado cumpla con las condiciones de seguridad y calidad establecidas. En la unidad minera Vazante, este proceso incluye actividades críticas como las siguientes:

2.2.2.2.3. *Ensayos de Extracción (Pull test)*

Pruebas de carga para medir la capacidad de anclaje que poseen los pernos y cables usados en el sostenimiento de las excavaciones mineras.

2.2.2.2.4. *Control de Espesores y Resistencia*

Pruebas de medición del ancho, resistencia inicial (3 días) y final (28 días) de la capa de concreto lanzado (*shotcrete*) en las excavaciones mineras (Meza & Canchari, 2025).

2.2.3. *Minería 4.0*

La minería 4.0 puede definirse como la incorporación de tecnologías propias de la cuarta revolución industrial al sector minero. Este enfoque no se limita únicamente al uso de computadoras o software modernos, sino que implica la integración digital de toda la operación, desde el frente de trabajo hasta las áreas de supervisión y gerencia. Tecnologías como el internet de las cosas (*IoT*), el análisis de datos masivos y la computación en la nube permiten que la información fluya en tiempo real, dando lugar a lo que actualmente se conoce como una “mina conectada” (Ramírez, Alegría y Muñoz, 2022).

En este contexto, los datos dejan de registrarse únicamente en formatos físicos o aislados y pasan a convertirse en información dinámica, accesible y compartida entre distintas áreas. En minería subterránea, donde las condiciones operativas son cambiantes y altamente complejas, esta interconectividad permite mantener la trazabilidad de procesos críticos, incluso cuando la conectividad no es constante. De esta manera, las decisiones ya no se sustentan únicamente en la experiencia, sino también en información actualizada y verificable (Ramírez, Alegría y Muñoz, 2022).

Desde el punto de vista operativo, la minería 4.0 implica el uso de sensores, aplicaciones móviles, plataformas digitales y sistemas de monitoreo capaces de registrar automáticamente datos relevantes del proceso productivo y geomecánico. Esto facilita el seguimiento del comportamiento del macizo rocoso, el control del sostenimiento y la detección oportuna de posibles riesgos. Asimismo, la supervisión se vuelve más ágil y precisa, reduciendo la dependencia de reportes manuales y disminuyendo la probabilidad de errores humanos (Ramírez, Alegría y Muñoz, 2022).

En consecuencia, este enfoque no solo moderniza la operación minera, sino que también mejora la eficiencia, la seguridad y la gestión de los recursos. Al contar con información organizada y disponible en tiempo real, se optimizan los procesos, se reducen retrabajos y se fortalecen las decisiones técnicas. Por ello, la minería 4.0 representa una evolución necesaria para que la minería subterránea sea cada vez más segura, competitiva y sostenible.

2.2.4. Transformación Digital

La transformación digital es un proceso mediante el cual las organizaciones incorporan tecnologías digitales en sus actividades cotidianas con el objetivo de mejorar el desempeño, la competitividad y la capacidad de adaptación. Este proceso no se restringe únicamente a la adquisición de nuevos equipos o sistemas informáticos, sino que implica replantear la manera en que se desarrollan los procesos, se gestionan los datos y se ejecutan las decisiones organizacionales. En esencia, representa un cambio cultural y estratégico que integra la tecnología como parte central del funcionamiento institucional (Miranda, 2025).

En el ámbito empresarial, la transformación digital permite optimizar tiempos, reducir costos y mejorar la calidad de los servicios o productos ofrecidos. La

automatización de tareas repetitivas, la digitalización de registros y la implementación de plataformas colaborativas facilitan un flujo de información más ordenado y confiable. Esto contribuye a disminuir errores operativos y fortalecer la trazabilidad de los procesos, aspectos fundamentales en sectores donde la precisión resulta crítica (Miranda, 2025).

Asimismo, la transformación digital promueve una gestión basada en datos. A través del análisis de información en tiempo real, las organizaciones pueden identificar patrones, anticipar problemas y evaluar el desempeño de sus operaciones con mayor objetividad. Este enfoque, conocido como toma de decisiones basada en datos (*data-driven*), permite que las estrategias no dependan únicamente de la experiencia o intuición, sino también de evidencia concreta y medible (Tori y Camacho, 2025).

En sectores técnicos como la minería, la transformación digital adquiere una relevancia particular, ya que facilita el monitoreo continuo de variables operativas y geomecánicas, mejora la comunicación entre áreas y fortalece la seguridad en las labores. Al integrar aplicaciones móviles, sistemas de almacenamiento en la nube y paneles de control, se consolida un entorno en el que la información es accesible, confiable y útil para la planificación. De esta manera, la transformación digital se convierte en un pilar fundamental para alcanzar operaciones más eficientes, seguras y sostenibles en el tiempo.

2.2.5. Ecosistema Microsoft 365 Para Minería

El ecosistema de Microsoft 365 es una plataforma de servicios en la nube que ofrece herramientas de productividad y desarrollo de bajo código *low-code*. En la industria minera, este entorno permite construir soluciones personalizadas que integra la captura de datos en campo con el análisis estratégico en oficina, garantizando la seguridad de la información mediante estándares corporativos (Romero y González, 2025).

2.2.5.1. SharePoint

Es un repositorio central de Microsoft, aunque tradicionalmente se conoce como un gestor documental, en este proyecto se utiliza como una base de datos relacional no estructurada mediante el uso de listas inteligentes (Romero y González, 2025).

2.2.5.1.1. Función Técnica

Permite almacenar miles de registros geomecánicos (ensayos de calidad, inspecciones, fotos) con alta disponibilidad y bajo protocolos de seguridad institucional, facilitando que la información sea consultada simultáneamente por técnicos y jefaturas.

2.2.5.2. Power Apps

Es la plataforma de desarrollo de aplicaciones de bajo código *low-code* en el lenguaje de programación Power Fx que permite diseñar interfaces personalizadas para dispositivos móviles (*tablets*) (Romero y González, 2025).

2.2.5.2.1. Función Técnica

Su principal ventaja en minería subterránea es la función de almacenamiento asíncrono. Esto permite que el técnico geomecánico registre datos en frentes de trabajo sin señal, la aplicación guarda la información en la memoria del dispositivo y al detectar conexión Wi-Fi en el centro administrativo, sincroniza automáticamente los datos con SharePoint sin pérdida de integridad.

2.2.5.3. Power BI

Es la herramienta de inteligencia de negocios (Business Intelligence) encargada de la capa de visualización de datos. Power BI se conecta al repositorio de SharePoint para extraer, transformar y cargar (proceso ETL) los datos crudos (Romero y González, 2025).

2.2.5.3.1. *Función Técnica*

Transforma los registros técnicos en tableros de control dinámicos (*dashboards*) en tiempo real. Esto permite que el centro de control visualice mediante gráficos interactivos, mapas de calor y semáforos de riesgo, el estado actual de la estabilidad y la calidad del sostenimiento en toda la unidad minera.

2.2.5.4. *Desarrollo Low-Code.*

El desarrollo *low-code* es un enfoque de diseño y creación de software que permite la entrega rápida de aplicaciones con un mínimo de codificación manual. Se basa en el uso de interfaces gráficas visuales, conectores de datos preconfigurados y lógica de arrastrar y soltar (*drag-and-drop*), lo que democratiza la creación de herramientas digitales dentro de las organizaciones (Romero y González, 2025).

2.2.6. *Gestión de la Información en Minería*

La gestión de la información en el sector minero se define como el proceso cíclico de captura, almacenamiento, procesamiento y presentación de datos técnicos para dar soporte a la toma de decisiones estratégicas. En un entorno de alto riesgo como la minería subterránea, la información no es solo un registro administrativo, sino un activo crítico que determina la seguridad de las labores y la eficiencia del ciclo de minado (Zaldivar, Pérez y Pelegrín, 2022).

La gestión de información moderna en minería se fundamenta en dos pilares:

2.2.6.1. *Integridad de Datos*

Es la garantía de que la información recolectada en el frente de trabajo se mantiene exacta, completa y consistente durante todo su ciclo de vida. La digitalización elimina el factor de error humano presente en la transcripción manual, asegurando que el dato que

el técnico captura en la *tablet* sea exactamente el mismo que el ingeniero visualiza en el centro de control.

2.2.6.2. Trazabilidad Operativa

Es la capacidad de reconstruir el historial de una labor minera a través de sus registros. Esto incluye saber con precisión quién realizó la inspección, en qué fecha, a qué hora (identificando la guardia de 6 horas correspondiente) y cuáles fueron los hallazgos. En la unidad Vazante, la trazabilidad es vital para las auditorías de seguridad y para el seguimiento del comportamiento del macizo rocoso a largo plazo (Zaldivar, Pérez y Pelegrín, 2022).

2.2.7. Flujo de Gestión de Información

El flujo de gestión de información puede entenderse como el recorrido que siguen los datos desde el momento en que se generan hasta que se convierten en información útil para la toma de decisiones. Este proceso inicia con la captura o recolección de datos en campo o en operación, continúa con su registro y validación, y culmina con su análisis e interpretación. Un flujo adecuado garantiza que la información llegue de manera oportuna, completa y confiable a quienes la necesitan (Silva, 2025).

En contextos técnicos, como la minería subterránea, el flujo de información cobra especial relevancia debido a la criticidad de los datos operativos y geomecánicos. Si la información se registra de manera manual o fragmentada, pueden generarse retrasos, duplicidades o errores que afectan la planificación y la seguridad. Por ello, estructurar claramente las etapas del flujo captura de campo, traslado, digitalización, validación y reportabilidad permite reducir brechas y asegurar la trazabilidad de los registros.

Un aspecto fundamental dentro del flujo de gestión es la validación y control de calidad de los datos. No basta con recopilar información; es necesario verificar su

coherencia, consistencia y pertinencia antes de integrarla a los sistemas de análisis. Cuando esta etapa se omite o se realiza de manera superficial, se corre el riesgo de tomar decisiones basadas en información incompleta o incorrecta, lo que puede generar impactos técnicos y económicos significativos (Silva, 2025).

2.2.7.1. Captura en Campo

Esta etapa inicial constituye la recolección primaria de parámetros geomecánicos directamente en el frente de la labor subterránea. En el nuevo flujo, esta actividad se realiza mediante una aplicación móvil que permite registrar datos con mayor rapidez y precisión, reemplazando el uso de libretas o formatos de papel que suelen comprometer la integridad de la información original (Silva, 2025).

2.2.7.2. Traslado

El traslado comprende el desplazamiento del técnico con los datos recolectados desde la zona de operación hasta el centro administrativo. Este tiempo puede variar según el nivel o labor en la que se encuentre el técnico (Silva, 2025).

2.2.7.3. Digitación

Esta fase consiste en el ingreso de la información recolectada en una base de datos electrónica para su almacenamiento y posterior consulta. Con el flujo actual, la digitación se simplifica al eliminar la necesidad de transcribir manualmente los datos desde formatos físicos a sistemas como Access o Excel, lo cual acelera significativamente el flujo de gestión y reduce errores humanos (Silva, 2025).

2.2.7.4. Validación

La validación es el proceso de control de calidad donde se verifica que los datos registrados sean íntegros, coherentes y completos. Gracias a la interfaz intuitiva de la aplicación, el sistema asegura que la información geomecánica sea precisa antes de su

envío, permitiendo un seguimiento efectivo de las labores y garantizando que la información sea confiable para la seguridad de la mina (Silva, 2025).

2.2.7.5. Reportabilidad

Es la etapa final donde los datos procesados se transforman en reportes y tableros visuales para la toma de decisiones de la gerencia y el centro de control. Mediante el uso de Power BI, se facilita la entrega de información consolidada en tiempo real, lo que genera una mayor satisfacción en el usuario al contar con un sistema de soporte de decisiones más ágil que el flujo tradicional (Silva, 2025).

Figura 2

Flujo de gestión de información



2.2.8. Secuencia Lógica de Trabajo del Sistema Automatizado

El sistema conlleva una cadena de procesos para presentar la información del macizo rocoso en interior mina a un reporte estructurado que será compartido con centro de control y las áreas operativas de la mina.

2.2.8.1. Entrada de Información (*input*)

Esta fase es correspondiente a la etapa de captura en campo, el técnico geomecánico ingresa los datos en la aplicación diseñada en Power Apps. El sistema ejecuta un algoritmo de validación para cada uno de los tipos de datos (alfanuméricos, booleanos, archivos multimedia, etc.) para evitar errores tipográficos o valores fuera de rango.

Figura 3

Interfaz de la aplicación de recolección de información geomecánica

Inspeção Mecânica das Rochas

Info geral
Saneamento de chocos
Estabilização
Marcação/Lavra exaurida/Suporte Desenvolvimento
Instabilidade

Data

Responsável

Leste

Norte

Cota

Galeria

Mina

Letra

Unidade Geotécnica

Estado da frente

Tipo de inspeção

Ciclo anterior

Condição do Brow

Meia Cana

Fogo

Ausência de chocos ou lajes
☐

Chapas aderentes

Suportes suficientes

Ausência de estalos
☐

Projetar abaixo do Greide

Suportes Instalados
☐

Tirantes
☐

Cabos
☐

Cambotas
☐

Telas
☐

Concreto Projetado
☐

Principais desvios
☐

Saneamento
☐

Contenção
☐

Chocos
☐

Gravidade dos desvios

Ação

Georreferenciamento

Foto

Clicar para adicionar uma imagen

Descrição de ação

Observações

Cancelar
Salvar
Registros salvados

2.2.8.2. Conexión del Dispositivo y Almacenamiento de la Información

Una vez llenada la información requerida, nos dirigimos al botón “*Salvar*” textualmente se traduce como “Guardar” el cuál es el encargado de enviar la información llenada en la aplicación hacia la base de datos y evaluará el escenario en el que nos encontremos, mediante la función *if* validamos si nos encontramos vinculados a una red Wi-Fi mediante el código *Connection.Connected=true*.

2.2.8.2.1. Modo Online

En caso de ser verdadero se usará la función *Patch* enviará la información llenada en la aplicación hacia la base de datos y mostrará el mensaje de “*Salvo direto na base de dados*” textualmente se traduce como “Guardado directo en la base de datos” significa que la información fue guardada directamente en la base de datos de SharePoint.

2.2.8.2.2. Modo Offline

En caso de no contar con conexión a una red Wi-Fi se usará la función *Collect* la cuál crea una tabla temporal que se guarda en la memoria local del dispositivo, le asignamos un nombre y definimos las columnas de información y el dato correspondiente a cada una de ellas y enviará el mensaje de “*Informação salva mas não enviada para a base de dados.*” textualmente se traduce como “Información guardada pero no enviada a la base de datos.” significa que la información está guardada en la memoria local pero no se envió a la base de datos.

Figura 4

Aplicación en modo online

✓ Salvo direto na base de dados
✕

Info geral
Saneamento de chocos
Estabilização
Marcação/Lavra exaurida/Suporte Desenvolvimento
Instabilidade

Data	Responsável	Leste	Norte	Cota
03/08/2025				

Galeria	Mina	Letra	Unidade Geotécnica	Estado da frente	Tipo de Inspeção

Ciclo anterior	Condição do Brow	Meia Cana	Fogo	Ausência de chocos ou lajes	Chapas aderentes	Suportes suficientes

Ausência de estalos	Projetar abaixo do Greide	Suportes Instalados	Tirantes	Cabos	Cambotas	Telas	Concreto Projetado

Principais desvios	Saneamento	Contenção	Chocos	Gravidade dos desvios	Ação	Georreferenciamento

Foto	Descrição de ação	Observações
Clicar para adicionar uma imagen		

Cancelar
Salvar
Registros salvados

Figura 5

Aplicación modo offline

Informação salva mas não enviada para a base de dados

Info geral
Saneamento de chocos
Estabilização
Marcação/Lavra exaurida/Suporte Desenvolvimento
Instabilidade

Data	Responsável	Leste	Norte	Cota
03/08/2025				

Galería	Mina	Letra	Unidade Geotécnica	Estado da frente	Tipo de Inspeção

Ciclo anterior	Condição do Brow	Meia Cana	Fogo	Ausência de chocos ou lajes	Chapas aderentes	Suportes suficientes

Ausência de estalos	Projetar abaixo do Greide	Suportes Instalados	Tirantes	Cabos	Cambotas	Telas	Concreto Projetado

Principais desvios	Saneamento	Contenção	Chocos	Gravidade dos desvios	Ação	Georreferenciamento

Foto
Clicar para adicionar uma imagen

Descrição de ação
Observações

Cancelar
Salvar
Registros salvados

2.2.8.3. Migración de la Memoria Local a la Base de Datos

Luego de realizar la cantidad de inspecciones requeridas durante la guardia y retornar hacia centro administrativo, nos aseguramos de que estemos vinculados a la red Wi-Fi local e iniciamos el proceso de migración, nos dirigimos hacia el botón de “*Registros salvados*” textualmente se traduce como “Registros Guardados” el cuál mostrará una pantalla dos recuadros, en el recuadro izquierda muestra los registros que tiene la base de datos en SharePoint, es decir la base de datos en la nube, y en el lado derecho los registros almacenados en la memoria local del dispositivo.

Para migrar la información tenemos presionar el botón de “Subir registros” que mediante el código *Connection.Connected=true* evalúa si efectivamente estamos conectados a la red Wi-Fi y de ser verdadero, ejecuta la función *ForAll*, la cual selecciona todas las tablas temporales que creamos, cada inspección es una tabla temporal, con la función *Patch* conseguimos comunicarnos con la base de datos en SharePoint para proceder a enviar cada registro a la base de datos mostrando el mensaje de “*Cadastrado com sucesso*” textualmente se traduce como “Guardado con éxito.” indicando que la información fue migrada correctamente, otra forma de garantizar que el proceso fue exitoso es ver que los registros del lado derecho pasaron al lado izquierdo.

En caso de no estar conectados a la red y queremos realizar el proceso de migración, enviará el mensaje de “*Opps, você precisa estar online para salvar esses registros*” textualmente se traduce como “Ups, necesitas estar online para guardar esos registros” el cuál recuerda que necesitamos estar conectados a la red para poder realizar esta operación, esta fase es correspondiente a la etapa de digitación.

Figura 6*Interfaz de migración de datos*

The interface is titled "Pagina principal" in an orange button at the top left. It features a list of records on the left and a backup upload area on the right. The records list contains three entries, each with a date, a code, and a name, followed by a right-pointing arrow. The backup area is outlined with a dashed orange border and contains a single record entry with a right-pointing arrow. A "Carregar Backup" button is located at the top right of the backup area, and a "Subir registros" button is at the bottom center.

Record	Backup
01/08/2025 420 AC RP 33 S Diego	01/08/2025 420 GSON 14700 N Diego
01/08/2025 420 GP RP 33 N Diego	
01/08/2025 420 GV RP 33 N Diego	

Figura 7

Migración exitosa hacia la base de datos

✓ Cadastrado com sucesso

01/08/2025
420 AC RP 33 S
Diego

>

01/08/2025
420 GP RP 33 N
Diego

>

01/08/2025
420 GV RP 33 N
Diego

>

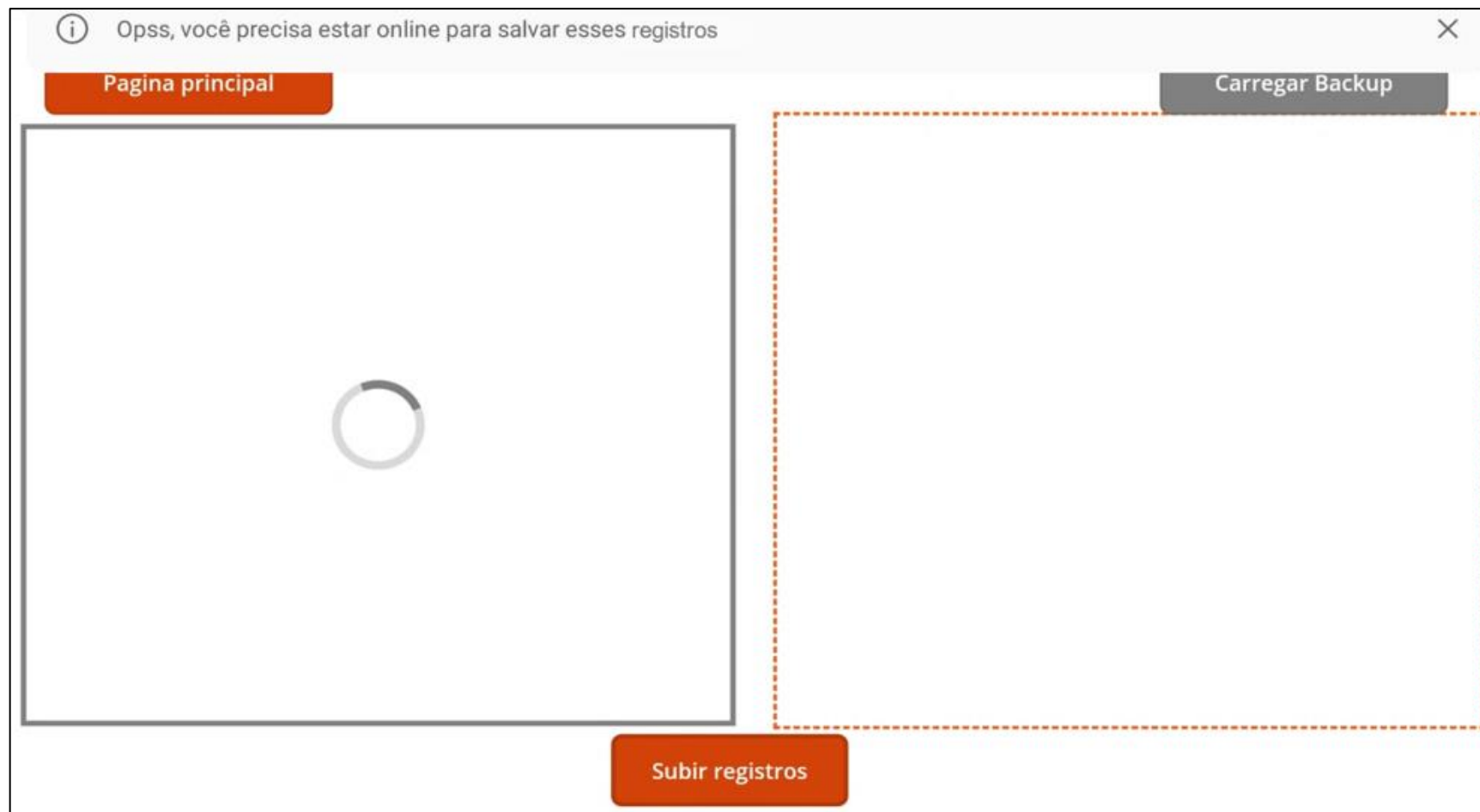
01/08/2025
420 GSON 14700 N
Diego

>

Subir registros

Figura 8

Migración fallida debido a la falta de conexión a red Wi-Fi



2.2.8.4. Almacenamiento de Seguridad (*Back-Up*)

El escenario ideal del uso de la aplicación es no cerrarla durante el traslado, en caso de hacerlo podemos recuperar la última colección de tablas temporales, para invocar esta función tenemos que apretar el botón “*Carregar Backup*” textualmente se traduce como “Cargar Back-up”, cabe mencionar que esta colección de tablas será reemplazada al momento de guardar nueva información el modo *offline*.

2.2.8.5. Revisión de la Información Migrada

Luego de la migración, se procede a revisar la información en la base de datos en Sharepoint, permitiendo, en caso de requerirlo, modificar la información migrada por cambios en la situación de la labor inspeccionada o error en la digitación por parte de los usuarios, esta operación es ejecutada por el supervisor geomecánico a petición de los técnicos, esta fase es correspondiente a la etapa de validación del flujo de gestión de información.

2.2.8.6. Entrega de la Información Recopilada

Tras la creación y diseño de *dashboards* en Power BI se conecta la base de datos de SharePoint, aquí ocurre la transformación de datos (limpieza y modelado). Power BI presenta la opción de servicios en línea donde podemos actualizar el modelo de datos, es decir agregar más registros a una base de datos, para tener información actualizada y en tiempo real, manteniendo un enlace web único con centro de control y las gerencias interesadas en la información geomecánica.

Figura 9

Interfaz de la base de datos en SharePoint

SharePoint

Buscar en esta lista

GV **GEOMECANICA VZT** Grupo privado | Confidencial | Contenido Privado ☆ No se sigue

Mantenga Lists completamente optimizado. Seleccionar Permitir para conectarse a dispositivos locales para que todo siga funcionando con rapidez. [Más información](#)

+ Agregar nuevo elemento Editar en vista de cuadrícula Deshacer Compartir Copiar vínculo Exportar Formularios

TEST ☆

ID_ACCESS	GALERÍA	DATA	RESPONSÁVEL	LESTE	NORTE	COTA	MINA	LETRA
27996	420 AC RP 37 S	01/08/2025	Diego	5808,67	15925,63	485,071	VAZ	C
27997	420 GP RP 37 N	01/08/2025	Diego	5852,82	16009,02	449,615	VAZ	C
27998	420 GV RP 37 N	01/08/2025	Diego	5868,55	16002,28	449,349	VAZ	C
27999	420 GSON 14700 N	01/08/2025	Diego	5868,66	15943,36	450,04	VAZ	C
28000	285 GT 10300 N	01/08/2025	Diego	2904,47	12736,68	278,427	VAZ	C
28001	215 GV2 17240 S	01/08/2025	Fabrizio	7138,19	18171,92	218,05	ENO	D
28002	370 TR 16470 S	01/08/2025	Fabrizio	7002,72	17347,68	382,99	ENO	D
28003	370 TR 16540 S	01/08/2025	Fabrizio	7045,65	17386,69	382,94	ENO	D
28004	285 GT 10300 N	01/08/2025	Fabrizio	2908,09	12743,18	278,42	VAZ	D
28005	RP 02 S DESC	01/08/2025	Heli	6867,54	17183,95	449,14	ENO	B
28006	SUMP RP 02 16240 S	01/08/2025	Heli	6806,07	17191,31	451,32	ENO	B
28007	225 GM2 9045 S	01/08/2025	Heli	1815,17	12287,47	219,44	VAZ	B

Inicio Conversaciones Documentos Bloc de notas Páginas

TEST

Contenido del sitio

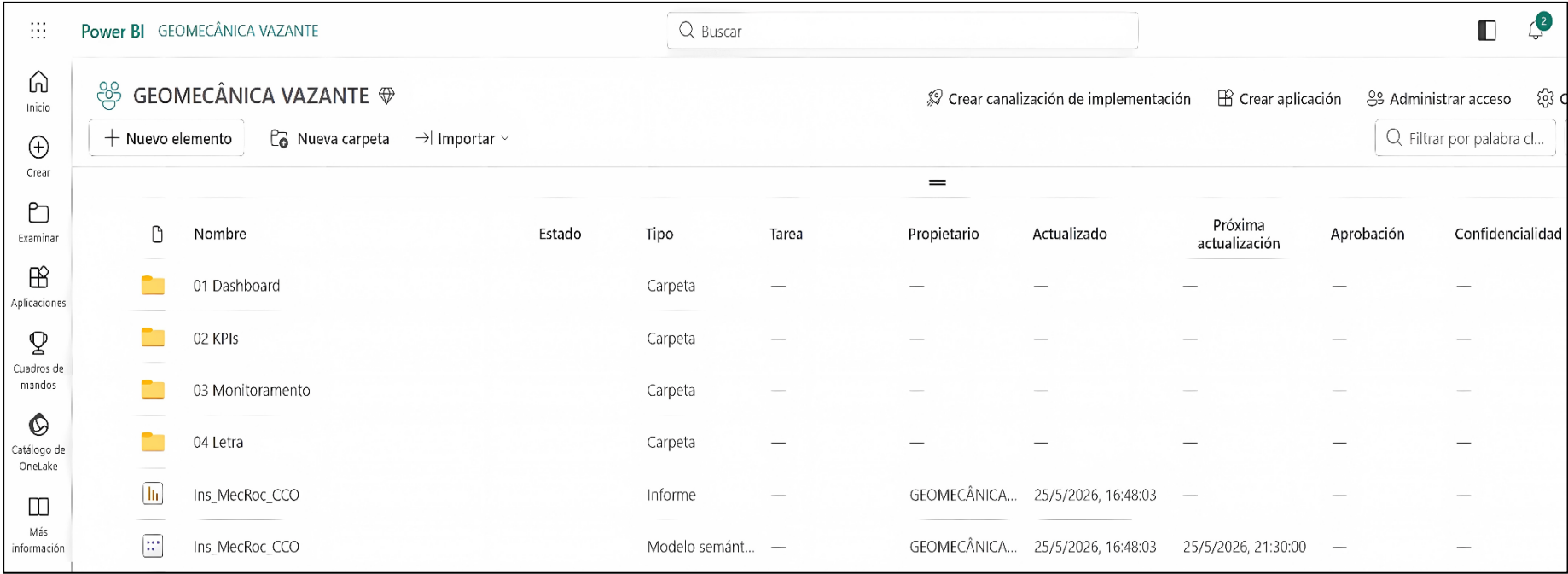
Papelera de reciclaje

Editar

Volver a la versión clásica de SharePoint

Figura 10

Interfaz de reportes y modelo de datos de Power BI en línea



2.3. Definición de Términos

2.3.1. *Macizo Rocos*

Es el medio natural que contiene la roca intacta y las discontinuidades (fracturas, fallas, juntas, etc).

2.3.2. *Labor Minera*

Es cualquier excavación subterránea (galerías, cruceros, tajos, etc) realizada para acceso o explotación.

2.3.3. *Sostenimiento*

Define a todos aquellos elementos que pueden actuar individualmente o en conjunto con el objetivo de garantizar la estabilidad de una excavación para el ingreso de personal o equipos, puede estar en labores de acceso o de producción.

2.3.4. *Desate de Rocas*

Se refiere a la acción de derribar rocas sueltas o fracturadas de la parte superior de una labor minera (corona) o de los laterales (hastiales) para hacerla segura y estable para el uso del personal operativo.

2.3.5. *Pull Test*

Es un ensayo de tracción o extracción realizado a los pernos o cables instalados para verificar su capacidad de anclaje, convencionalmente medido en toneladas.

2.3.6. *Guardia Minera*

Es el intervalo de tiempo donde el personal tiene permitido trabajar por ley, en Brasil, las guardias van desde las diez horas para personal administrativo y seis horas para personal operativo.

2.3.7. *Centro de Control (CCO)*

Es la sala central donde se monitorea y coordinan las actividades que son realizadas durante las cuatro guardias operativas.

2.3.8. Centro Administrativo (CA)

Es la zona de trabajo equipada con laptops, material de oficina y estaciones de trabajo modulares para el desarrollo de las actividades de todas las áreas operativas.

2.3.9. Aplicación Móvil

Es un programa informático diseñado para ser ejecutado en dispositivos móviles (*tablets* o *smartphones*) que permite a determinados usuarios realizar actividades específicas.

2.3.10. Online Mode

Se refiere a la capacidad de un software o aplicación para funcionar con conexión a internet, permitiendo la comunicación con distintas fuentes de almacenamiento en la red.

2.3.11. Offline Mode

Se refiere a la capacidad de un software o aplicación para funcionar sin conexión a internet, almacenando datos en la memoria local del dispositivo.

2.3.12. Sincronización Asíncrona

Proceso de actualización de datos que no ocurre en tiempo real, sino cuando el dispositivo encuentra una red disponible.

2.3.13. Dashboard

Interfaz gráfica que integra indicadores clave (KPIs) para facilitar la visualización rápida de la situación operativa.

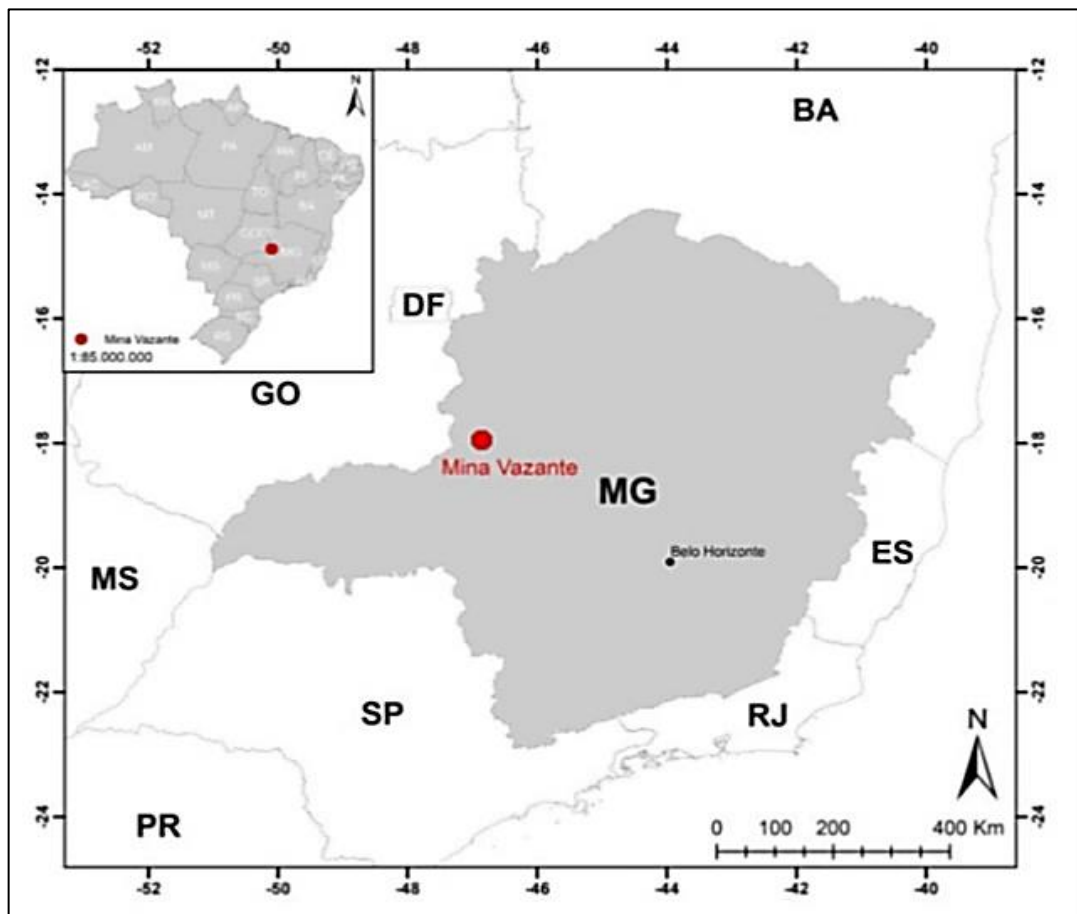
2.4. Aspectos Generales de la Mina de Estudio

2.4.1. Ubicación

La mina subterránea de Vazante está situado en el noroeste del estado de Minas Gerais, a 510 km de la capital del estado, Belo Horizonte, y a 350 km de Brasília (Distrito Federal).

Figura 11

Ubicación y accesibilidad de la mina de estudio



Nota. Tomado de Mistro (2024).

2.4.2. Accesibilidad

Es posible acceder a sus instalaciones por vía terrestre mediante las rutas de ciudades principales descritas en la siguiente tabla.

Tabla 2*Accesibilidad a la unidad minera Vazante*

Tramo	Distancia (Km)	Tiempo (h)	Vía	Estado de vía
Brasilia-Vazante	348	4,6	Presidente Juscelino Kubitschek	Asfaltada
Belo Horizonte- Vazante	504	6,7	Senador Eliseu Resende	Asfaltada

2.4.3. Geología

El área de estudio se localiza en el Grupo Vazante, una unidad de elevada complejidad tectónica y estratigráfica. Según Dardenne (2000), este grupo se caracteriza por una secuencia marina pelítico-dolomítica que alberga importantes depósitos de zinc y plomo.

Desde el punto de vista estructural, persisten debates académicos respecto a su origen tectosedimentario. Mientras que algunos investigadores sugieren una correlación con los grupos Paranoá y Canastra en un entorno de margen pasivo, otros autores proponen una sedimentación asociada a una cuenca de antepaís (*foreland basin*). En la unidad minera destaca la Formación Serra do *Poço Verde*, particularmente el Miembro Pamplona Media, donde las dolomías grises a rosadas alojan la mineralización de willemita.

2.4.4. Contexto Geomecánico

El comportamiento mecánico de la roca en la unidad minera Vazante es una respuesta directa a la historia geológica descrita anteriormente. El marco geomecánico de la operación se define por los siguientes parámetros técnicos que son objeto de monitoreo en la aplicación desarrollada:

2.4.4.1. Calidad del Macizo Rocoso

Las dolomías de la Formación *Serra do Poço Verde* presentan, por lo general, una competencia elevada. No obstante, la presencia de intercalaciones de filitas carbonatadas y pizarras (Pamplona Inferior) genera zonas de debilidad que requieren una clasificación geomecánica diferenciada (RMR/GSI).

2.4.4.2. Condición Estructural

Las tensiones tectónicas del Orógeno de Brasilia han generado un patrón de fracturamiento y cizallamiento. Estas discontinuidades son las que el personal técnico debe mapear e inspeccionar para prevenir fallas tipo cuña o desprendimientos por gravedad.

2.4.4.3. Respuesta a la Excavación

Debido al metamorfismo de facies de esquistos verde, la roca presenta una anisotropía que influye en la dirección del avance de las galerías y en la efectividad del sostenimiento instalado, factores que se auditan a través de los protocolos de QA/QC digitalizados en el sistema.

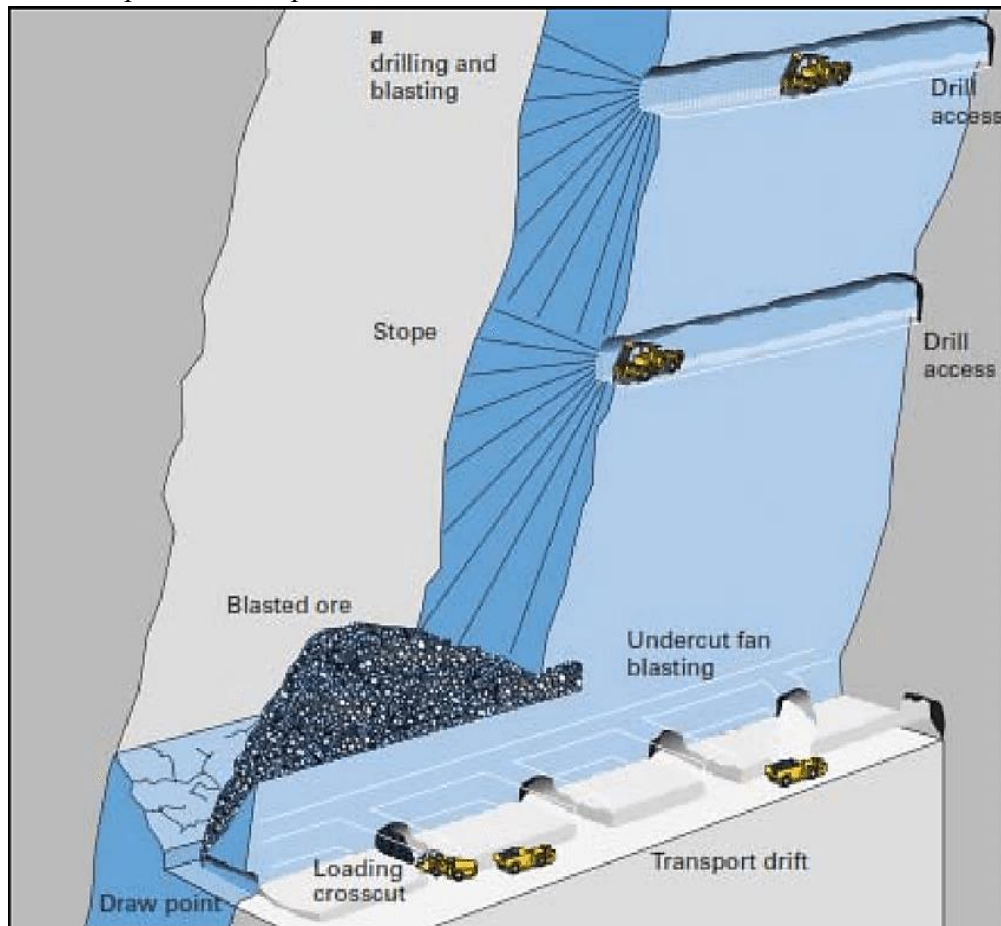
2.4.5. Método de Explotación

El método de explotación empleado en la unidad minera Vazante está dentro de los métodos de minado por tajos abiertos con perforación mediante taladros largos, diseñado para cuerpos mineralizados con buzamientos pronunciados y cajas de material competente. Se emplean equipos de perforación de largo alcance para crear abanicos de taladros. Se desarrollan galerías de perforación en la parte superior y galerías de extracción en la base del tajo. La voladura se realiza de forma secuencial, permitiendo que el mineral fragmentado caiga por gravedad hacia el nivel de extracción, el mineral es recolectado en el nivel inferior mediante equipos LHD (*Load-Haul-Dump*).

Una vez concluida la extracción, los tajos vacíos suelen rellenarse con material cementado o roca estéril para mantener la estabilidad regional del macizo rocoso y permitir la recuperación de pilares adyacentes.

Figura 12

Método de explotación empleado



Nota. Tomado de Atlas Copco (2007).

2.4.6. Ciclo de Minado

El ciclo operativo en la unidad minera se ejecuta de manera secuencial, integrando equipos de alta tecnología para garantizar la productividad y la seguridad del personal operativo. El uso del sistema automatizado entra en función luego de realizar la ventilación de la labor y una vez asegurado el ambiente seguro de trabajo, el técnico geomecánico realiza la inspección y esta puede ser recomendar el tipo de sostenimiento

a emplear en dicha labor o hacer seguimiento de las recomendaciones propuestas por el equipo y ver si estas se han cumplido o si están incompletas o no se realizaron, de igual manera pueden alertar de algún tipo de caída de roca o trabajos pendientes como desate o limpieza.

2.4.6.1. Perforación

El ciclo de minado inicia en la perforación del macizo rocoso, el cual consiste en crear taladros, columnas vacías en el macizo donde posteriormente se introducirán explosivos, pudiendo ser labores de producción o de acceso, esta labor es realizada por perforadoras jumbo. La unidad minera Vazante cuenta con cinco jumbos hidráulicos los cuáles son distribuidos en las distintas partes de la mina para realizar estos trabajos.

2.4.6.2. Voladura

El proceso de voladura consiste en el carguío de los taladros generados en el proceso de perforación y el amarre de la malla de voladura con cordones y retardantes que determinarán la secuencia y orientación de la explosión. En la unidad minera se dispone de 4 camiones de carguío de explosivos de la empresa Orica, especializados en el bombeo de emulsiones y el carguío mecanizado de los *blasters*.

Luego del carguío se procede a realizar la evacuación del personal del área de influencia de la voladura y en la ejecución del disparo, se rigen varios protocolos para garantizar la seguridad del personal.

2.4.6.3. Ventilación

Para el reingreso del personal operativo luego de la ejecución de voladura las mangas de ventilación tienen que ser activadas para dispersar los gases nocivos que emite la explosión, asegurando un nivel oxígeno adecuado que garantice un entorno de trabajo seguro para los colaboradores.

2.4.6.4. Desate y Limpieza

Una vez ventilada la labor, se procede a eliminar las rocas sueltas o cuñas que puedan haber quedado tras la voladura en la corona o los hastiales de la labor. Para esta actividad se emplean seis *scalers* (desatadores mecanizados) para el desate de rocas sueltas en el frente.

2.4.6.5. Carguío y Acarreo

Consiste en el transporte del material fragmentado, mineral, material de alta ley, hacia la planta chancadora en superficie y estéril, material de baja ley, hacia el botadero o pilas de lixiviación.

Este flujo operativo se apoya en equipos cargadoras LHD (*scooptram*), ocho camiones CAT de caja eyectora (ideales para labores con altura limitada) y cinco camiones A30. Adicionalmente el soporte de las vías en interior mina se mantiene con dos motoniveladoras.

2.4.6.6. Sostenimiento

Tras el acarreo, la labor queda liberada para la inspección geomecánica, momento en el cual el técnico geomecánico puede evaluar la calidad de la roca y presencia de estructuras, así como evaluar las fallas o trabajos pendientes en los procesos anteriores del ciclo de minado.

Bajo el modelo geomecánico se tienen planos predictivos de la calidad de roca en la mina, pero son corroboradoras bajo la inspección y evaluación del personal geomecánico que se designa un diseño de sostenimiento pudiendo ser pernos usando los equipos *robolt* y *boltec*, cables usando los equipos *cabolt*. O en caso de usar concreto proyectado(*shotcrete*) usar los equipos *spraymec*.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Planteamiento Metodológico

3.1.1. Tipo de Estudio

La presente investigación es de tipo aplicada. Debido a que no busca generar nuevas teorías, sino emplear los conocimientos existentes de geomecánica y las herramientas del ecosistema Microsoft 365 para resolver un problema en la unidad minera Vazante.

Según Sánchez y Reyes (2017), la investigación aplicada se caracteriza por el interés en la aplicación y la utilización de los conocimientos para transformar una realidad específica, que en este caso es la optimización del flujo de datos entre el frente de trabajo y el centro de control.

3.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de la presente investigación es explicativo, dado que el propósito trasciende la descripción de fenómenos o el establecimiento de relaciones correlacionales, enfocándose en determinar las causas que originan el comportamiento del objeto de estudio. Bajo este enfoque, el estudio no solo busca caracterizar el estado actual del flujo de datos, sino que pretende explicar el porqué de los resultados obtenidos, estableciendo una relación de causalidad donde la implementación del sistema automatizado basado en el ambiente Microsoft 365 actúa como el factor determinante que explica la optimización en el manejo de la información geomecánica en la unidad minera Vazante.

3.1.3. *Diseño de la Investigación*

El diseño de la investigación es no experimental, de corte transversal y de alcance correlacional-causal, debido a que las variables se analizan en su contexto natural sin manipulación deliberada. El estudio se centra en evaluar la relación entre el sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos (variable independiente) y la gestión de la información geomecánica (variable dependiente), observando su comportamiento dentro de la operación real de la unidad minera Vazante.

No experimental: Se adopta este diseño porque no se alteran las condiciones geomecánicas de la mina ni el comportamiento del macizo rocoso. El investigador se limita a observar, medir y analizar el flujo de información generado por el sistema implementado, sin intervenir en los procesos naturales ni operativos.

Transversal: La recolección y evaluación de los datos se realizan en un periodo único y determinado, permitiendo analizar el desempeño del sistema automatizado en el momento de su aplicación y compararlo con el método convencional de gestión de datos.

Enfoque metodológico: El estudio presenta un enfoque cuantitativo, ya que el impacto del sistema se evalúa mediante indicadores numéricos medibles, tales como tiempos de registro, precisión de datos, reducción de errores y disponibilidad de información, lo que permite realizar un análisis objetivo y estadísticamente sustentado.

3.2. Población y Muestra de Estudio

La población de la presente investigación está conformada por la totalidad de los cinco técnicos geomecánicos que operan en la unidad minera Vazante, distribuidos en las cuatro guardias de seis horas.

Se define como población censal debido a que el número de individuos es reducido, perfectamente identificable y accesible para el investigador, lo que permite obtener datos de cada uno de ellos sin necesidad de recurrir a estimaciones probabilísticas.

3.3. Equipos y Materiales

Los equipos empleados para la recolectar los datos, procesar la información y redactar el presente trabajo son una laptop y una *tablet*. Adicionalmente se usaron todos los softwares comprendidos dentro del paquete de Microsoft 365.

3.4. Procedimiento de Pruebas Experimentales

Para la ejecución de las pruebas, se estableció un protocolo de medición de tiempos dividido en las cinco fases que conlleva el flujo de gestión de información.

Para el método tradicional, se le informó a cada uno de los técnicos que los tiempos del flujo serían evaluados, pero evitando que esto influyera en su comportamiento o accionar.

Para el método digital, semanas antes de la migración al sistema automatizado en la reunión de inicio de guardia se comentaba las mejoras y el funcionamiento de la aplicación con cada uno de los técnicos. Cuando esta estuvo lista para ser utilizada, se realizaron pruebas piloto; es decir, se descendió a interior mina con los técnicos para poder enseñar el funcionamiento y que estén un poco más familiarizados al momento de realizar la migración total al nuevo sistema. Posteriormente durante toda la primera semana se acompañó en todos los procesos del flujo de información a los técnicos con el objetivo de otorgarles confianza y empoderarlos con la nueva herramienta, la semana siguiente se realizó una sesión de *feedback* para poder conocer sus sensaciones e ideas que se pudieran implementar y aclarar dudas. Cuando ya existía una rutina y adaptación es que se realizó el control de tiempos mediante las bitácoras, simultáneamente se usaron

las fichas de observación durante el acompañamiento y control de tiempos del flujo de gestión de información digital. En la fase de validación se usó la ficha de base de datos para evaluar cada registro migrado de la memoria de la *tablet* a SharePoint.

Finalmente se compartió mediante Microsoft Forms el cuestionario de satisfacción para que los técnicos evalúen el uso del sistema automatizado.

3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para el desarrollo de esta investigación, se emplearán técnicas que permitan capturar el rendimiento técnico del sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos así como el impacto operativo en la gestión de información.

3.5.1.1. Técnicas

3.5.1.1.1. *Análisis Documental*

Se aplicará para la recolección de datos objetivos almacenados en el sistema y en los registros históricos. Esta técnica permite obtener métricas precisas sobre la integridad y sincronización de los datos, así como los tiempos registrados en el flujo de gestión.

3.5.1.1.2. *Observación Directa*

Se utilizará para monitorear el comportamiento del sistema en tiempo real durante las inspecciones geomecánicas en la unidad minera Vazante, permitiendo registrar la latencia y disponibilidad de la información.

3.5.1.1.3. *Encuesta*

Se empleará para obtener la percepción de los 5 técnicos de la gerencia de geomecánica, permitiendo cuantificar el nivel de satisfacción del sistema automatizado.

3.5.1.2. Instrumentos

3.5.1.2.1. *Ficha de Registro de Base de Datos*

Es un formato donde se encuentran las inspecciones recibidas por el sistema automatizado en SharePoint. Este instrumento será útil para calcular la tasa de sincronización exitosa y el índice de integridad de datos, se detalla en el anexo 3.

3.5.1.2.2. *Bitácora de Control de Tiempos*

Es un formato diseñado para cronometrar las etapas del flujo de gestión de información, comparando el método tradicional frente al método digital. Se utilizará para medir el tiempo total del flujo en ambos métodos y la disponibilidad de la información, detalle en el anexo 4.

3.5.1.2.3. *Ficha de Observación Técnica*

Instrumento de apoyo utilizado durante el inicio del uso del sistema automatizado para validar la estabilidad y respuesta del sistema, se detalla en el anexo 5.

3.5.1.2.4. *Cuestionario (Escala de Likert)*

Es un instrumento compuesto por ítems cerrados con cinco opciones de respuesta orientado a medir el nivel de satisfacción por parte de los técnicos de la gerencia de geomecánica, detalle en el anexo 6.

3.6. Técnicas Para el Procesamiento de Datos

3.6.1. *Validación y Tabulación de la Información*

Con las bitácoras de control de tiempos se evaluaron a los cinco técnicos geomecánicos en diferentes fechas, respetando la cantidad de frentes inspeccionados y que sea el mismo técnico, se midieron los tiempos en los dos métodos tanto el manual como el digital y posteriormente se compararon los tiempos totales calculados. Este

proceso permitirá obtener el tiempo de captura digital en minutos y la reducción en el tiempo del flujo de gestión de información también en minutos.

El uso del formato de registro de base de datos nos ayudará en determinar el éxito de la migración de la información desde la memoria local de la *tablet* a la base de datos en SharePoint en cada uno de los métodos digitales realizados por los técnicos, este proceso permitirá calcular el índice de integridad de datos, en total se evaluaron veintidós registros.

Tabla 3*Bitácoras de control de tiempos por técnico con el método tradicional*

Responsable	Fecha	Número de frentes	Captura en campo (min)	Traslado (min)	Digitación (min)	Validación (min)	Reportabilidad (min)	Tiempo total (min)
Técnico 01	28/07/2025	4	24,80	15,50	9,80	3,20	15,20	68,50
Técnico 02	28/07/2025	5	25,50	19,80	11,90	3,60	12,60	73,40
Técnico 03	29/07/2025	4	27,10	23,80	10,50	2,80	13,50	77,70
Técnico 04	29/07/2025	5	28,80	10,50	12,60	3,00	11,50	66,40
Técnico 05	01/08/2025	4	24,40	14,50	10,30	3,40	12,60	65,20
		Promedio	26,12	16,82	11,02	3,20	13,08	70,24

Tabla 4*Bitácoras de control de tiempos por técnico con el método digital*

Responsable	Fecha	Número de frentes	Captura en campo (min)	Traslado (min)	Digitación (min)	Validación (min)	Reportabilidad (min)	Tiempo total (min)
Técnico 01	15/08/2025	4	25,90	14,20	0,00	2,30	3,50	45,90
Técnico 02	15/08/2025	5	29,60	18,60	0,00	2,70	3,90	54,80
Técnico 03	17/08/2025	4	25,60	27,40	0,00	2,10	3,20	58,30
Técnico 04	17/08/2025	5	31,80	8,60	0,00	1,90	3,40	45,70
Técnico 05	18/08/2025	4	27,90	10,80	0,00	2,60	2,70	44,00
		Promedio	28,16	15,92	0	2,32	3,34	49,74

Tabla 5*Registros de bases de datos de las inspecciones geomecánicas*

ID Inspección	Responsable	<i>Timestamp</i>	Sincronización	Campos de información vacíos	Disponibilidad (min)
27461	Técnico 01	15/08/2025 11:40:45	Exitosa	0	0,03
27462	Técnico 01	15/08/2025 11:40:45	Exitosa	0	0,03
27463	Técnico 01	15/08/2025 11:40:45	Exitosa	0	0,03
27464	Técnico 01	15/08/2025 11:40:45	Exitosa	0	0,03
27465	Técnico 02	15/08/2025 19:23:12	Exitosa	0	0,12
27466	Técnico 02	15/08/2025 19:23:12	Exitosa	0	0,12
27467	Técnico 02	15/08/2025 19:23:12	Exitosa	0	0,12
27468	Técnico 02	15/08/2025 19:23:12	Exitosa	0	0,12
27469	Técnico 02	15/08/2025 19:23:12	Exitosa	0	0,12
27477	Técnico 03	17/08/2025 12:17:36	Exitosa	0	0,05
27478	Técnico 03	17/08/2025 12:17:36	Exitosa	0	0,05
27479	Técnico 03	17/08/2025 12:17:36	Exitosa	0	0,05
27480	Técnico 03	17/08/2025 12:17:36	Exitosa	0	0,05
27481	Técnico 04	17/08/2025 18:49:27	Exitosa	0	0,10

27482	Técnico 04	17/08/2025 18:49:27	Exitosa	0	0,10
27483	Técnico 04	17/08/2025 18:49:27	Exitosa	0	0,10
27484	Técnico 04	17/08/2025 18:49:27	Exitosa	0	0,10
27485	Técnico 04	17/08/2025 18:49:27	Exitosa	0	0,10
27501	Técnico 05	18/08/2025 18:15:18	Exitosa	0	0,05
27502	Técnico 05	18/08/2025 18:15:18	Exitosa	0	0,05
27503	Técnico 05	18/08/2025 18:15:18	Exitosa	0	0,05
27504	Técnico 05	18/08/2025 18:15:18	Exitosa	0	0,05

Con el uso del formato de observación, se validarán los aspectos técnicos del sistema automatizado desde el comienzo hasta el final del uso por cada uno de los técnicos geomecánicos.

Tabla 6

Fichas de observación

Número	Aspecto técnico	Técnico 01	Técnico 02	Técnico 03	Técnico 04	Técnico 05
1	Acceso y <i>log-in</i> .	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
2	Carga de la aplicación.	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
3	Estabilidad.	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
4	Captura multimedia.	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

5	Integridad en campo.	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
6	Sincronización.	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
7	Migración.	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
8	Reportabilidad.	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

3.6.2. Codificación de la Información

El cuestionario de satisfacción en escala Likert será asignado con una puntuación de 1 a 5 correspondientes a cada opción del cuestionario y calcularemos un nivel total de satisfacción.

Tabla 7

Puntuación escala Likert

Opciones	Puntuación
Muy insatisfecho	1
Insatisfecho	2
Neutral	3
Satisfecho	4
Muy satisfecho	5

Tabla 8*Resultado de la encuesta de satisfacción de los técnicos geomecánicos*

Número	Pregunta	Técnico 01	Técnico 02	Técnico 03	Técnico 04	Técnico 05
1	El sistema automatizado permite realizar la recolección de datos con mayor rapidez.	4	5	4	5	4
2	El uso de la aplicación mejora la calidad y precisión de la información geomecánica registrada.	5	5	5	5	4
3	Aprender a utilizar la aplicación de recolección de datos fue sencillo y rápido.	4	5	5	3	5
4	La interfaz de la aplicación es clara, intuitiva y fácil de operar en las condiciones de la labor.	5	5	5	4	5
5	Es más sencillo registrar datos mediante el dispositivo móvil que utilizar libretas o formatos de papel.	5	5	5	4	4
6	La disponibilidad de los datos en SharePoint facilita mi trabajo y el de la gerencia de geomecánica.	4	5	4	5	5
7	El uso de Power BI para reportar las inspecciones facilita la entrega de información a centro de control.	4	5	5	4	5
8	El uso del sistema automatizado permite hacer seguimiento de las labores.	5	5	4	5	5
9	El flujo de gestión de información actual (Power Apps, SharePoint y Power BI) es más rápido que el flujo anterior (Papel, Access y Excel).	5	5	5	5	5
10	En general, me encuentro satisfecho con la transición del método manual al sistema digital.	5	5	5	5	5
Total		46	50	47	45	47

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de las Pruebas Experimentales

Las pruebas experimentales tuvieron lugar en las instalaciones de la unidad minera Vazante, específicamente durante las inspecciones geomecánicas en labores subterráneas, en el centro administrativo y en centro de control desde el 21 de julio del 2025 hasta el 22 de agosto del mismo año.

Se trabajó con el equipo de la gerencia de geomecánica, el personal técnico, los supervisores, ingenieros y gerente en distintas reuniones en el inicio de guardia para informar y compartir el desarrollo del sistema automatizado, el proceso se dividió entre tres etapas.

4.1.1. Planteamiento del Sistema Automatizado y Control de Tiempos del Método Manual

Durante la primera semana de la investigación comprendida entre 21 al 25 de julio del 2025 se realizaron las evaluaciones para comprender el proceso de captura de datos y el diseño y estructuras de las bases de datos en Access, definir los paquetes de información que serán necesarios para el funcionamiento de la aplicación.

Durante esta fase, se diseñó la estructura inicial de la aplicación y la migración parcial de la base de datos antigua a SharePoint y se compartieron los avances con el equipo para la retroalimentación.

Figura 13

Base de dados de la gerencia de geomecânica en Access

Inspeção Mecânica das Rochas

Ponto: 1 Data: 1/11/2019 Hora: #####

Responsável: Roberto

Galeria: 555 GTS RP 01

Leste(m) 7452.88 Norte(m) 17943.81

Cota(m) 555.05

Mina: ENO Letra: E nidade Geotécnica:

Estado da frente: Sem movimentação

ipo de inspeção: Paralisada

Ciclo anterior: Projeção de Condição do Brow

Meia Cana / Fogo: 0 / 0 usência de chocos ou lajes:

hapas aderentes: Sim Suportes suficientes: Sim

sência de estalos de Rocha: ☒ Projetar abaixo do Gre

Metros Projetado linha do Greic

Suportes Instalados

LIMPEZA / ENCHIMENTO

quipamentos em posição segura:

Ausência de material pingando:

SANEAMENTO DE CHOCOS

Mecanizado

Frente lavada:

Posição correta de trabalho:

Alavancas em bom estado disponíveis:

Iluminação suplementar:

Revisão dos chocos recorrentes:

Manual

Frente lavada: ☒

ESTABILIZAÇÃO

Alavancas em bom estado disponíveis: ☒

portos de acordo com a recomendação: ☒

☐ Tirantes

Tempo de mistura na coluna (s):

Tempo de mistura no fundo do furo (s):

Tempo p/ protensão (min):

Carga de protensão (bar):

Comprimento de perfuração correto:

Posição de perfuração correta:

Resinas em boas condições:

isposição correta de resinas no furo:

Resina pega-rápida/furo (unid.):

Resina pega-lenta/furo (unid.):

Reaperto das porcas soltas: Sim

Figura 14

Bases de datos migradas a SharePoint

SharePoint

GV

GEOMECANICA VZT

Grupo privado | Confidencial | Contenido Privado

No se sigue

Inicio

Conversaciones

Documentos

Bloc de notas

Páginas

TEST

Contenido del sitio

Papelera de reciclaje

Editar

Volver a la versión clásica de SharePoint

Buscar

Mantenga Lists completamente optimizado. Seleccionar Permitir para conectarse a dispositivos locales para que todo siga funcionando con rapidez. Más información

+ Agregar nuevo elemento

Editar en vista de cuadrícula

Deshacer

Compartir

Copiar vínculo

Exportar

Integrar

Db_Ins_MecRoc

EDITAR

Todos los elementos

DATA	ID_ACCESS	GALERÍA	LESTE	NORTE	COTA	MINA	RESPONSÁVEL
12/11/2020	3.048	305 TR 10230 S	2.790,8	12.693,15	310,559	VAZ	Rander
01/01/2020	3.750	370 BL1 8950 S	1.750,67	11.913,19	403,87		Naildo
01/01/2020	3.751	R28 GV 10120	2.818,01	12.550,23	231,12		Naildo
01/01/2020	3.752	GV 10195 S	2.814,36	12.570,81	208,4	VAZ	Naildo
01/01/2020	3.753	GV 10195 N	2.806,96	12.562,15	208,4		Naildo
02/01/2020	3.754	185 GT 13150 S	4.882,26	14.745,17	209,15		Naildo
02/01/2020	3.755	185 TR 13425 S	5.084,07	14.940,16	211,17		Naildo
02/01/2020	3.756	143 GD 12725 S	4.617,62	14.342,65	155,044		Naildo
02/01/2020	3.757	225 GT 13350 N	5.082,82	14.873,3	241,884		Naildo
02/01/2020	3.758	225 TR 13350 S	5.057,68	14.868,63	241,994	VAZ	Naildo
02/01/2020	3.759	540 GTS	7.366,71	17.855,4	543,497		Naildo
02/01/2020	3.760	522 TR 17175 S	7.350,96	17.903,11	524,261		Naildo

Durante la semana del 27 de julio al 1 de agosto del 2025 se realizó el control de tiempo con cada uno de los técnicos, usando las bitácoras de tiempo. Los técnicos 01 y 02 fueron evaluados el 27 de julio en las guardias B y C, el técnico 03 el día 28 de julio en la guardia C, el técnico 04 el día 29 de julio en la guardia B y el técnico 05 el día 01 de agosto en la guardia B. La toma de datos se realizó en una libreta manual.

4.1.2. Implementación del Sistema Automatizado

Esta etapa se realizó durante el 4 al 8 de agosto, se realizó la migración completa al sistema automatizado, consistió del acompañamiento a los técnicos durante este proceso, adicionalmente se tuvieron que hacer horas extra fuera del horario laboral dado que los técnicos trabajan las 24 horas del día para garantizar el proceso completo del trabajo, se resolvieron del proceso del flujo del sistema automatizado. Se realizó el acompañamiento en interior mina y en centro administrativo con cada uno de los técnicos.

Figura 15

Acompañamiento al técnico 01 en interior mina

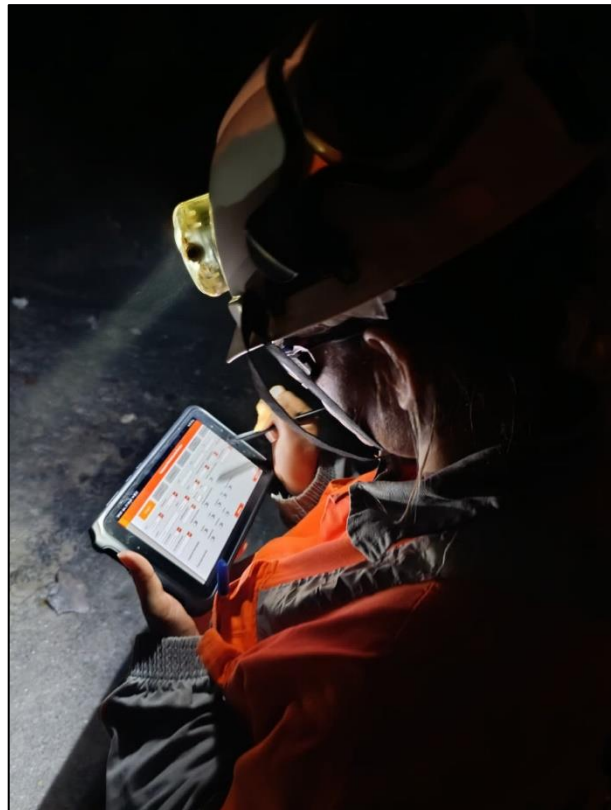


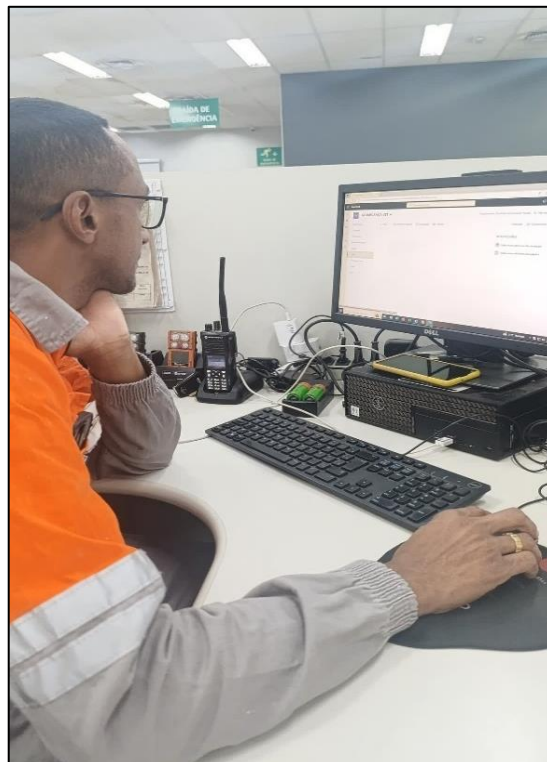
Figura 16

Acompañamiento al técnico 03 en interior mina



Figura 17

Acompañamiento al técnico 04 en centro administrativo



Adicionalmente se tuvieron reuniones con el equipo de centro de control para compartir y explicar cómo funciona el reporte en Power BI, este es actualizado después de la llegada de los técnicos a centro administrativo.

Figura 18

Reunión con centro de control



Durante la semana del 11 al 16 de agosto del 2025, se acordó otorgar este tiempo para que el personal técnico se acostumbre a usarlo.

4.1.3. Evaluación del Sistema Automatizado

Durante la semana del 18 al 22 de agosto después de la semana de adaptación, se realizó el control de tiempos del método digital, esta medición se realizó con cronómetro digital y libreta de notas. Adicionalmente en este proceso se usaron las fichas de observación para evaluar el flujo automatizado en su totalidad. Posteriormente en la etapa de validación, se aplicaron las fichas de registros de bases de datos para evaluar si todas las inspecciones fueron enviadas correctamente. Finalmente, se les compartió un correo con el enlace de Microsoft Forms con el cuestionario de satisfacción.

4.2. Presentación y Análisis de Resultados

4.2.1. Análisis Descriptivo

El análisis descriptivo de tiempos en cada componente del flujo de gestión de información nos ayuda a entender que procesos fueron reducidos o eliminados con la implementación del sistema automatizado.

Tabla 9

Tiempos totales por método y fase del flujo de gestión de información

Componente	Promedio método tradicional (min)	Promedio método digital (min)	Eficiencia (%)
Captura en campo	26,12	28,16	-3,6%
Traslado	16,82	15,92	-3,3%
Digitación	11,02	0	100%
Validación	3,20	2,32	2,8%
Reportabilidad	13,08	3,34	74,5%
Total	73,26	53,34	27,2%

4.2.1.1. Análisis de Captura en Campo

Los tiempos se mantuvieron estables aproximadamente 28 minutos, lo cual es positivo ya que indica que el uso de la aplicación no distrae ni retrasa la inspección del técnico geomecánico en la labor, cabe añadir que este componente está sujeto a la complejidad de cada actividad que se vaya a realizar en la labor.

4.2.1.2. Análisis de Traslado

El traslado de interior mina a centro administrativo depende de la ubicación de las labores a inspeccionar por consecuencia es independiente al uso del sistema automatizado.

4.2.1.3. Análisis de Digitación

Este proceso fue eliminado completamente dentro del flujo de gestión de información puesto que no hay necesidad de trasladar los datos de un formato físico (papel) a una base de datos en Access como era en el método tradicional, pasó de 11,02 minutos a 0 minutos. El sistema eliminó el 100% de esta carga de trabajo manual.

4.2.1.4. Análisis de Validación

En este componente se tuvo una pequeña reducción de 3,20 minutos a 2,32 minutos, esto debido a la rigurosidad que tiene el equipo técnico de geomecánica para la entrega de información que es compartida con todo el personal, cabe resaltar que la visualización de la información en SharePoint mediante las vistas que posee, hace mucho más fácil la lectura y revisión de los datos que serán compartidos.

4.2.1.5. Análisis de Reportabilidad

En el componente final tuvimos una reducción significativa de 13,08 minutos a 3,34 minutos, una mejora del 74,5%. Esto se explica por la integración automática con Power BI, dado que el método tradicional implicaba exportar los datos de Access a un archivo Excel, lo cual debido a la dimensión del archivo era generalmente lento, por otro lado en el sistema automatizado implica solamente actualizar el modelo de datos semántico propio de Power BI, que puede tardar entre 10 a 30 segundos, los valores en esta fase se ven incrementados dado que centro de control solicita un correo con las inspecciones realizadas por los técnicos para contrastar información y que no haya pérdida de la misma durante los cambios de guardia, adicionalmente se añaden las fotos que son tomadas con la *tablet*. Los técnicos geomecánicos mantienen la costumbre de realizar este envío de correo ya que representa para ellos una forma de garantizar que su trabajo se cumplió de manera exitosa.

4.2.2. Cálculo de Indicadores

Luego de ordenar y tabular los datos se calcularon los indicadores mediante las fórmulas descritas en el capítulo de marco teórico, para su posterior análisis e interpretación.

4.2.2.1. Tasa de Sincronización Exitosa (TSE)

Luego de recopilar la información de todos los registros de bases de datos, podemos calcular la TSE.

Tabla 10

Tasa de sincronización exitosa por técnico

Responsable	Registros sincronizados correctamente	Registros Totales	TSE
Técnico 01	4	4	100%
Técnico 02	5	5	100%
Técnico 03	4	4	100%
Técnico 04	5	5	100%
Técnico 05	4	4	100%

Se evidencia que los veintidós registros fueron sincronizados correctamente sin pérdidas garantizando un 100% de TSE para cada situación de estudio.

4.2.2.2. Índice de Integridad de Datos (IID)

Tabla 11

Índice de integridad de datos por técnico

Responsable	Campos de información vacíos	Registros completos	Registros Totales	IID
Técnico 01	0	4	4	100%
Técnico 02	0	5	5	100%
Técnico 03	0	4	4	100%

Técnico 04	0	5	5	100%
Técnico 05	0	4	4	100%

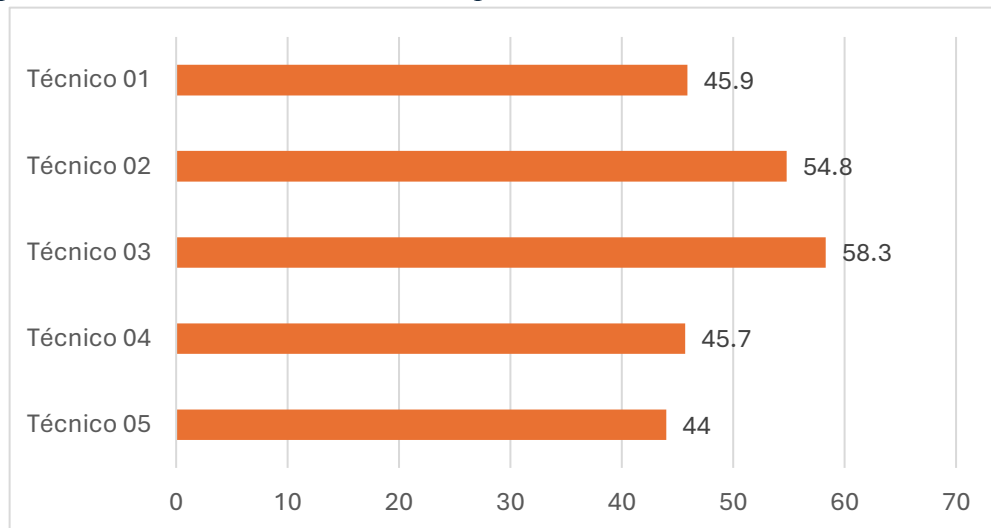
Se evidencia que en los 22 registros no se tuvo ninguno con información faltante o campos de información vacíos garantizando un 100% de IDD para cada situación de estudio.

4.2.2.3. Tiempo de Captura Digital (TCD)

En la Tabla 4 podemos ver que la fase de digitación fue totalmente eliminada, generando un tiempo promedio 49,74 minutos.

Figura 19

Tiempos de uso del sistema automatizado por técnico



4.2.2.4. Disponibilidad de la Información (DI)

Para realizar el cálculo de este indicador, observamos los tiempos de la fase de reportabilidad en el método tradicional y digital en la Tabla 3 y Tabla 4, representado por un promedio de 13,08 minutos y 3,34 minutos.

4.2.2.5. Reducción en el Tiempo del Flujo de Gestión

Para calcular este indicador compararemos el tiempo total entre el método tradicional y el método digital por técnico.

Tabla 12*Reducción en el tiempo del flujo de gestión por técnico*

Responsable	Método tradicional (min)	Método digital (min)	Reducción de tiempo(min)
Técnico 01	68,5	45,9	22,6
Técnico 02	73,4	54,8	18,6
Técnico 03	77,7	58,3	19,4
Técnico 04	66,4	45,7	20,7
Técnico 05	65,2	44	21,2
Promedio	70,24	49,74	20,5

Obtuvimos una reducción de tiempo promedio de 20,5 minutos en el todo el flujo de gestión de información

4.2.2.6. Nivel de Satisfacción (NS)

Con la información de la Tabla 8, podemos determinar el nivel de satisfacción por técnico y obtener un nivel de satisfacción promedio.

Tabla 13*Nivel de satisfacción por técnico*

Responsable	Puntuación	NS
Técnico 01	46	92%
Técnico 02	50	100%
Técnico 03	47	94%
Técnico 04	45	90%
Técnico 05	47	94%
Promedio	46,83	93,67%

Posterior al análisis por técnico se obtuvo un NS de 93,67% lo que refleja una gran aceptación y utilidad al sistema automatizado por parte del equipo técnico geomecánico.

4.3. Contrastación de Hipótesis

En este apartado se valida la hipótesis general y las hipótesis específicas planteadas al inicio de la investigación, utilizando los datos recolectados en las pruebas experimentales realizadas en la unidad minera Vazante.

4.3.1. Contrastación de la Hipótesis General

Hipótesis general: La implementación del sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos optimiza significativamente el manejo de información en la unidad minera Vazante.

Con la información presentada en la Tabla 10 y Tabla 11, al obtener un valor de 100% en la TSE y 100% en el IDD se afirma que no habrá pérdida de datos en el manejo de información. La Tabla 12 refleja un tiempo promedio de los técnicos geomecánicos con el método tradicional de 70,24 minutos por otro lado el método digital muestra 49,74 minutos, dadas estas informaciones se acepta la hipótesis general y se rechaza la hipótesis nula.

4.3.2. Contrastación de las Hipótesis Específicas

Hipótesis específica 1: El sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos reduce el tiempo en el flujo de gestión de información al eliminar la transcripción manual de registros y al automatizar el envío de la información.

Con la información presentada en la Tabla 9, se evidencia que la etapa de digitación fue eliminada totalmente promediando 0 minutos y la fase de reportabilidad se redujo de 13,08 minutos a 3,34 minutos, el método tradicional obtuvo un valor total de

73,26 minutos mientras que el método digital obtuvo 53,34 minutos. Por lo que se afirma que se redujo el tiempo del flujo de gestión de información dando por válida la hipótesis específica.

Hipótesis específica 2: El sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos influye significativamente en el nivel de satisfacción de los técnicos de la gerencia de geomecánica.

Con la información presentada en la Tabla 13 se demuestra que las encuestas realizadas el personal técnico dieron como resultado un NS promedio de 93,67%. Adicionalmente en la Tabla 8 tenemos una moda de puntaje de 5 correspondiente a “Muy satisfecho” en la escala de Likert, por lo que comprobamos que la implementación del sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos influyó significativamente en la satisfacción del personal técnico, dando por válida la segunda hipótesis específica.

5. DISCUSIÓN

5.1. Aplicación de la Tecnología Encontrada

La implementación del sistema automatizado en la unidad minera Vazante representa un cambio de paradigma en el manejo de datos geomecánicos, transitando de un modelo de registro tradicional en formatos físicos (papel) hacia un flujo moderno, dinámico y digital. A diferencia de los softwares especializados que suelen ser costosos y de estructura estática, la tecnología aplicada en esta investigación aprovechó el ecosistema de Microsoft 365 (Power Apps, SharePoint y Power BI) ya existente en la infraestructura corporativa. La integración de estas herramientas demostró una alta versatilidad para afrontar los desafíos logísticos de la minería subterránea.

La capacidad de Power Apps para operar de manera híbrida (*online y offline*) fue determinante para el éxito del proyecto. En interior mina, donde la conectividad es nula, la aplicación permitió la captura de datos e imágenes que se almacenaron localmente en la *tablet*, una vez que el técnico retornó al centro administrativo o alcanzó una zona con Wi-Fi estable, se realizó la sincronización automática en SharePoint. Este proceso no solo aseguró la integridad de la información, sino que obligó a una captura de datos estandarizada y estructurada.

Desde la perspectiva de la eficiencia operativa, la tecnología aplicada eliminó el retrabajo o la duplicidad de tareas. Al suprimir la etapa de digitación manual que promediaba 11,02 minutos en el método tradicional se resolvieron problemas críticos como la pérdida de información o los registros incompletos.

Asimismo, se eliminó el error humano inherente a la transcripción de datos. El uso de SharePoint como repositorio centralizado no solo optimizó el tiempo, sino que elevó la calidad de la información al permitir la integración de elementos multimedia (imágenes y archivos), superando las limitaciones del soporte analógico. Complementariamente, se registró una mejora en la fase de validación, con una reducción del 2,8% en el tiempo de revisión.

El punto culminante de la propuesta tecnológica es la transición hacia el *Business Intelligence* (BI). Mientras que en el método tradicional la información era entregada en archivos de Excel individuales, la implementación del uso de Power BI permitió consolidar toda la información de las inspecciones en un reporte de control actualizable. Este cambio impactó en la reportabilidad, reduciendo el tiempo promedio de disponibilidad de la información de 13,08 a 3,34 minutos, lo que representa una mejora del 74,5%. En conclusión, esta aplicación optimiza la gestión de información al permitir visualizar el estado actual de las labores subterráneas de forma inmediata, lo que representa un mayor control sobre la gestión de seguridad de todo el personal que descende a interior mina.

Finalmente, es imperativo destacar al factor humano como catalizador para el éxito de la implementación del sistema automatizado. La estrategia de adaptación del sistema no sólo se limitó a la entrega de la herramienta, sino que incluyó un proceso de difusión y acompañamiento continuo al personal técnico de la gerencia de geomecánica, orientado al empoderamiento y fortalecimiento de la confianza en el nuevo entorno digital. A través de la retroalimentación constante y por medio de los resultados de la encuesta de satisfacción, se determinó un nivel de satisfacción del 93,67%. Este indicador evidencia una curva de aprendizaje ligera y aceptación positiva del método de trabajo

digital, confirmando que el sistema automatizado se adaptó a las competencias y necesidades del personal técnico de la gerencia de geomecánica.

5.2. Contraste con Trabajos de Investigación Similares

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se alinean con las tendencias globales de transformación digital y uso de sistemas automatizados en minería, demostrando que la implementación de herramientas digitales no solo representa una mejora administrativa, sino que son una necesidad operativa para la eficiencia y seguridad en las unidades mineras.

5.2.1. Eficiencia Operativa y Reducción de Tiempos

La optimización del 27,2% en el tiempo total del flujo y la reducción del 74,5% en la reportabilidad obtenidas en este estudio son consistentes con lo hallado por Alava (2025), quien mediante el rediseño de procesos "To Be" en la instrumentación geotécnica en Perú, logró una mejora significativa en la eficiencia operativa y reducción de costos. De igual manera, coincide con Valencia et al. (2025), quienes, al automatizar informes geotécnicos lograron modernizar un proceso tradicionalmente lento y propenso a errores, alcanzando niveles de precisión comparables a expertos. La presente tesis refuerza estas conclusiones al demostrar que el uso de herramientas digitales permite que el ahorro de tiempo sea inmediato y trazable desde la implementación de la solución digital.

5.2.2. Integridad de los Datos y Eliminación del Error Humano

Un pilar de esta investigación fue la eliminación del 100% del tiempo de digitación, resultado que guarda una estrecha relación con el trabajo de Jimin et al. (2024). Mientras ellos alcanzaron una exactitud del 93% en la extracción de datos mediante inteligencia artificial, la solución implementada en Vazante garantiza una integridad total al eliminar la fase de transcripción de forma nativa. Este enfoque de calidad desde el origen también es validado por Veltin, McMillan y Lawrence (2025), quienes mediante

herramientas computacionales en Python identificaron que la automatización del QAQC fortalece la trazabilidad y transparencia de los datos, eliminando omisiones y errores tipográficos, tal como se logró en esta tesis mediante las validaciones de campo de la aplicación móvil.

5.2.3. Visualización de Datos y Toma de Decisiones (Business Intelligence)

La transición hacia paneles de control dinámicos en Power BI realizada en este estudio encuentra un respaldo directo en la investigación de Condori (2025) sobre la unidad Cerro Lindo. Condori concluye que el reemplazo de bases de datos tradicionales por plataformas digitales y paneles dinámicos mejora el análisis técnico e incrementa la productividad. De igual manera Salas (2024) en minera Raura confirma que la automatización de la captura geológica permite una gestión más efectiva, confiable y segura. Ambos autores, al igual que esta investigación, sostienen que la disponibilidad de la información en una base de datos en la nube es el factor diferenciador que permite transformar un reporte estático en una herramienta de decisión estratégica.

5.2.4. Complejidad Técnica y Accesibilidad Tecnológica

Es interesante contrastar el nivel tecnológico empleado. Mientras que investigadores como Chala y Ray (2023) y Collico, Spagnoli y Monforte (2025) proponen modelos de alta complejidad basados en *Machine Learning* y algoritmos bayesianos para la predicción de parámetros, esta tesis demuestra que el uso de herramientas *low-code* (Microsoft 365) puede alcanzar resultados de optimización similares con una implementación más ágil y económica. El 93,67% de nivel de satisfacción obtenido sugiere que la accesibilidad de la interfaz es un factor crítico para el proceso de adaptación, validando la postura de Valencia et al. (2025) sobre la importancia de contar con interfaces intuitivas para mejorar la estandarización entre profesionales y personal de campo.

CONCLUSIONES

Se determinó que la implementación de un sistema automatizado basado en el entorno Microsoft 365 utilizando Power Apps, SharePoint y Power BI optimiza significativamente el manejo de información geomecánica en la unidad minera Vazante. La arquitectura del sistema demostró ser técnicamente robusta para el entorno minero, logrando una tasa de sincronización exitosa y un índice de integridad de datos de 100% con 0% de campos nulos en variables críticas y 0% en errores producto de la migración de datos de la memoria de la *tablet* a SharePoint. La capacidad híbrida para funcionar *online* y *offline* de la aplicación resolvió la falta de conectividad en interior mina, permitiendo la captura de imágenes que antes era inexistente en los formatos físicos.

La digitalización del flujo permitió reducir el tiempo total del proceso de 73,26 minutos a 53,34 minutos, lo que representa una eficiencia operativa del 27,2%, equivalentes a un ahorro de 19,92 minutos en el flujo de gestión de información. El sistema automatizado logró la eliminación total (100%) del tiempo dedicado a la transcripción manual correspondiente a la fase de digitación. Al suprimir esta fase, que promediaba 11,02 minutos, se erradicó el riesgo de error humano por transcripción, esto permite que cada técnico geomecánico pueda enfocar su tiempo en actividades de mayor valor analítico y preventivo. El uso de Power BI como herramienta de visualización de datos optimizó la fase de reportabilidad en un 74,5%, reduciendo el tiempo de disponibilidad de la información de 13,08 a 3,34 minutos. Esto permite que la toma de decisiones críticas sobre la estabilidad de las labores subterráneas se realice casi en tiempo real, mejorando los estándares de seguridad operativa de la unidad minera.

Se validó un alto nivel de aceptabilidad del sistema automatizado por parte del personal técnico, alcanzando un nivel de satisfacción de 93,67%. Este resultado confirma que la estrategia de empoderamiento y acompañamiento al factor humano fueron determinantes para superar la resistencia al cambio y asegurar la sostenibilidad de la transformación digital en la gerencia de geomecánica.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la gerencia de geomecánica de la unidad minera Vazante escalar la implementación de este sistema hacia otras áreas operativas como geología, planeamiento, seguridad, etc. aprovechando el ecosistema de Microsoft 365 ya disponible. La arquitectura desarrollada es fácilmente adaptable a otros tipos de inspecciones, lo que permitiría una estandarización digital integral en toda la operación.

Es fundamental establecer un protocolo de mantenimiento preventivo para la infraestructura de hardware (*tablets* y dispositivos móviles). Dado el entorno y condiciones de las labores subterráneas como humedad, polvo o vibraciones, se sugiere el uso de carcasas de alta resistencia y un cronograma de revisión técnica para asegurar que la disponibilidad del sistema no se vea afectada por fallas físicas de los equipos.

Se recomienda ampliar la cobertura de red Wi-Fi en puntos estratégicos de las estaciones de servicio o refugios en interior mina. Aunque la aplicación funciona exitosamente en modo *offline*, una mayor densidad de puntos de conexión reduciría aún más la latencia de sincronización, permitiendo que la información llegue al *dashboard* de Power BI de forma casi instantánea sin esperar a que el técnico retorne a superficie.

Se sugiere continuar con los programas de capacitación y refuerzo para el personal técnico, enfocándose en las actualizaciones de las herramientas de Microsoft 365. Mantener el nivel de satisfacción del 93,67% requiere que el personal se sienta partícipe de las mejoras del sistema, por lo que se recomienda habilitar un canal de sugerencias dentro de la propia aplicación para futuras optimizaciones de la interfaz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, I., & Lukas, M. (2025). Extractivismo periurbano como convergencia de fronteras extractivas: Ensamblajes de operaciones inmobiliarias, agroindustriales y mineras en Colina, Santiago de Chile. *Revista INVI*, 40(115), 282–318. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-83582025000300282&script=sci_arttext&tlng=en
- Alava, C. (2025). *Optimización de la gestión de datos en instrumentación geotécnica para reducir costos y errores humanos en las minas del Perú, Lima - 2025* [Tesis de suficiencia profesional, Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio de la Universidad San Ignacio de Loyola. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/31693731-4228-4994-9452-3a5dc592cca1>
- Araya, C. (2024). *Propuesta de implementación de un gemelo digital para la minería subterránea mediante la metodología BIM*. Repositorio de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/203801>
- Arrobo, C., Villacís, C., Padilla, C., & Suárez, L. (2024). Velocidad de detonación del explosivo, vibración y ruido en pequeña minería subterránea, Zaruma–Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 17(1), 26–42. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2602-84842024000100026&script=sci_abstract
- Chala, A., & Ray, R. (2023). Machine learning techniques for soil characterization using cone penetration test data. *Applied Sciences*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/app13148286>

- Collico, S., Spagnoli, G., & Monforte, L. (2025). Automating site characterization from pile field data. *Computers and Geotechnics*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2025.107498>
- Condori, J. (2025). *Impacto de la transformación digital en la minería subterránea peruana* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/items/cb65ea29-1ebb-442b-8f99-c29962d55de8>
- Cruz, H. (2023). Modelos machine learning en geomecánica minera para el control eficaz de perforación. *Revista de Investigaciones*, 12(1), 30–42. <https://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/4311>
- Jimin, P., Wanhyuk, S., Dong, S., & Tae, Y. (2024). Automated data extraction from unstructured geotechnical report based on AI and text-mining techniques. *Journal of the Korean Geotechnical Society*. <https://www.kgsjournal.org/articles/article/Ddro/>
- Meza, J., & Canchari, Z. (2025). *Evaluación geomecánica para el diseño de sostenimiento en el Nv. 4330 crucero 250 Compañía Minera Kolpa–Huachocolpa–Huancavelica 2024* [Tesis de grado]. Repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/c5b5db53-2768-4e81-b9ee-8055b3275804>
- Miranda, G. (2025). *Resistencia al cambio del personal operativo frente a la transformación digital en una empresa minera, 2025* [Tesis de maestría].

Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/685278>

Ramírez, C., Alegría, H., & Muñoz, F. (2022). Modelo de análisis de riesgos de contratos en minería ante Industria 4.0. *Journal of Management & Business Studies*, 4(1),

1–16. <https://revistas.uautonoma.cl/index.php/jmabs/article/view/1689>

Romero, P., & González, F. (2025). Formación de capital humano avanzado para la minería digital y sostenible del futuro. *Boletín Geológico y Minero*, 136(4), 002–

002. <https://bgm.revistas.csic.es/index.php/bgm/article/view/364>

Salas, M. (2024). *Automatización del proceso de captura de información geológica para optimizar el sistema de información de la Minera Raura Huánuco 2024* [Tesis de grado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. Repositorio Institucional

UANCV. <https://repositorio.uancv.edu.pe/items/e5f0f046-663c-4cc0-90f7-fcee89a39bc9>

Sánchez, L. (2025). *Minería subterránea moderna*.

Silva, G. (2025). *Plan de transformación digital del área de cadena de suministros en una empresa contratista del sector minero en Perú* [Tesis de grado]. Universidad

Peruana de Ciencias Aplicadas.

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/688314>

Tori, S., & Camacho, P. (2025). *Impacto de la transformación digital en la minería subterránea peruana* [Tesis de grado]. Repositorio de la Pontificia Universidad

Católica del Perú. <https://tesis.pucp.edu.pe/items/cb65ea29-1ebb-442b-8f99-c29962d55de8>

- Valencia, C., Llumigusín, A., Alvarez, S., Arias, A., & Escobar, C. (2025). Automatización de informes geotécnicos para macizos rocosos con IA. Universidad Central del Ecuador. <https://arxiv.org/html/2511.04690v1>
- Veltin, K., McMillan, R., & Lawrence, K. (2025). Enhancing data quality and transparency in geotechnical data collection. *SSIM 2025: Fourth International Slope Stability in Mining Conference*. Australian Centre for Geomechanics. https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2535_45
- Zaldivar, Y., Pérez, J., & Pelegrín, L. (2022). La minería de datos en apoyo a la toma de decisiones clínicas. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 3(2), e136–e136. <https://rctd.uic.cu/rctd/article/download/136/87>
- Zevallos, P., & Huamanyalli, R. (2024). *Evaluación geomecánica para prevenir accidentes por caída de rocas en la Galería 3520NE Empresa Minera del Centro Zevallos EIRL Unidad Cambalache, Lircay Huancavelica–2022* [Tesis de titulación]. Repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/196b7f8d-5b04-4f45-8e3b-566cfabd68fd>

ANEXOS

ANEXO 01: Matriz de consistencia

ANEXO 02: Matriz de operacionalización de variables

ANEXO 03: Formato de registro de base de datos

ANEXO 04: Formato de bitácora de control de tiempos

ANEXO 05: Formato de observación

ANEXO 06: Cuestionario de satisfacción

ANEXO 01: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES
PROBLEMA GENERAL:	OBJETIVO GENERAL:	HIPÓTESIS GENERAL:	VARIABLE INDEPENDIENTE
¿En qué medida la implementación de un sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos optimiza el manejo de la información en la unidad minera Vazante?	Evaluar la optimización del manejo de información geomecánica mediante la implementación de un sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos en la unidad minera Vazante.	La implementación del sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos optimiza significativamente el manejo de información en la unidad minera Vazante.	Sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS:	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:	Indicadores - Tasa de sincronización exitosa (%) - Índice de integridad de datos (%) - Tiempo de captura digital (min)
1. ¿Cómo influye el sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos en la reducción de tiempos en el flujo de gestión de información de la gerencia de geomecánica?	1. Determinar la reducción de los tiempos en el flujo de gestión de información geomecánica entre el método tradicional y el método digital.	1. El sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos reduce el tiempo en el flujo de gestión de información al eliminar la transcripción manual de registros y al automatizar el envío de la información.	VARIABLE DEPENDIENTE
2. ¿Qué influencia tiene el sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos en el nivel de satisfacción de los técnicos de la gerencia de geomecánica?	2. Determinar la influencia del sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos en el nivel de satisfacción de los técnicos de la gerencia de geomecánica.	2. El sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos influye significativamente en el nivel de satisfacción de los técnicos de la gerencia de geomecánica.	Manejo de información geomecánica.
			Indicadores - Disponibilidad de la información (min) - Reducción en el tiempo del flujo de gestión de información (min) - Nivel de satisfacción de los técnicos geomecánicos
MÉTODO Y DISEÑO	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	
TIPO	POBLACIÓN	TÉCNICAS	
Aplicado	Los 5 técnicos de la gerencia de geomecánica.	- Análisis documental - Observación directa - Encuesta	
NIVEL	MUESTRA	INSTRUMENTOS	
Explicativo			
DISEÑO	Muestra censal.	- Formato de registro de base de datos - Bitácora de control de tiempos - Formato de observación - Cuestionario de usabilidad (escala de Likert)	
No experimental			

ANEXO 02: Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Variable independiente: Sistema automatizado de recolección de datos geomecánicos.	Conjunto de herramientas tecnológicas del entorno Microsoft 365 (Power Apps, SharePoint, Power BI) diseñadas para la captura y flujo de gestión digital de información geomecánica en campo.	Medición del desempeño técnico del software mediante el registro de eventos, estabilidad de carga y completitud de registros en la base de datos.	- Desempeño del sistema automatizado	- Tasa de sincronización exitosa (%). - Índice de integridad de datos (%). - Tiempo de captura digital (min)	-Análisis documental	- Formato de registro de base de datos -Formato de observación
Variable dependiente: Manejo de información geomecánica.	Proceso operativo de captura, almacenamiento, procesamiento, análisis y presentación de datos del macizo rocoso para la toma de decisiones en el secuenciamiento, diseño del minado y sostenimiento.	Evaluación del impacto de la automatización en la eficiencia del flujo de gestión de información y en la percepción de calidad del usuario final.	- Eficiencia operativa - Factor humano	- Disponibilidad de la información (min). - Tiempo de flujo de gestión de información (min). - Nivel de satisfacción de los técnicos geomecánicos.	-Análisis documental - Encuesta	- Bitácora de control de tiempos - Cuestionario de usabilidad (escala de Likert)

ANEXO 03: Formato de registro de base de datos

ID Inspección	Responsable (Técnico)	<i>Timestamp</i> (Fecha y hora)	Sincronización	Campos de información vacíos	Disponibilidad

ANEXO 04: Formato de bitácora de control de tiempos

FECHA		RESPONSABLE	
INSPECCION MANUAL		INSPECCION DIGITAL	
ID INSPECCION	Tiempo(min)	ID INSPECCION	Tiempo(min)
Frente 1		Frente 1	
Frente 2		Frente 2	
Frente 3		Frente 3	
Frente 4		Frente 4	
Frente 5		Frente 5	
Frente 6		Frente 6	
Promedio		Promedio	
Etapa del Proceso	Tiempo Manual (min)	Tiempo Digital (min)	Diferencia (min)
1. Captura en Campo			
2. Traslado			
3. Digitación			
4. Validación			
5. Reportabilidad			
Total			

ANEXO 05: Formato de observación

FECHA			RESPONSABLE	
Número	Aspecto Técnico	Actividad Específica		Cumplimiento
1	Acceso y Log-in	El sistema permite el ingreso del técnico sin errores de autenticación.		
2	Carga de la aplicación	La interfaz de la aplicación carga en menos de 5 segundos.		
3	Estabilidad	La aplicación no se cierra ni se congela durante la toma de datos.		
4	Captura Multimedia	Las fotos geomecánicas se adjuntan correctamente.		
5	Integridad en Campo	La App impide guardar el registro si faltan campos obligatorios.		
6	Sincronización	El sistema indica "Sincronización Exitosa" al ejecutar al realizar la migración de información a SharePoint.		
7	Migración	Las inspecciones aparecen en la base de datos tras la sincronización.		
8	Reportabilidad	Tras actualizar el modelo semántico en Power BI, la información aparece en el <i>dashboard</i> .		

ANEXO 06: Cuestionario de satisfacción

Número	Pregunta	Muy insatisfecho	Insatisfecho	Neutral	Satisfecho	Muy satisfecho
1	El sistema automatizado permite realizar la recolección de datos con mayor rapidez.					
2	El uso de la aplicación mejora la calidad y precisión de la información geomecánica registrada.					
3	Aprender a utilizar la aplicación de recolección de datos fue sencillo y rápido.					
4	La interfaz de la aplicación es clara, intuitiva y fácil de operar en las condiciones de la labor.					
5	Es más sencillo registrar datos mediante el dispositivo móvil que utilizar libretas o formatos de papel.					
6	La disponibilidad de los datos en SharePoint facilita mi trabajo y el de la gerencia de geomecánica.					
7	El uso de Power BI para reportar las inspecciones facilita la entrega de información a centro de control (CCO).					
8	El uso del sistema automatizado permite hacer seguimiento de las labores.					
9	El flujo de gestión de información actual (Power Apps, SharePoint y Power BI) es más rápido que el flujo anterior (Papel, Access y Excel).					
10	En general, me encuentro satisfecho con la transición del método manual al sistema digital.					