

Aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos en la Simulación de Sistemas de Voladura con Sensores y Aplicativo Móvil en Minería Subterránea

Application of Project-Based Learning in the Simulation of Blasting Systems with Sensors and a Mobile Application in Underground Mining

Heinz Miguel CHURA CAHUANA¹
Arturo Rafael CHAYÑA RODRIGUEZ²
Edy HUANCA TITO³

Fecha de recepción: 24/11/2024

Fecha de aceptación: 20/05/2025

Fecha de publicación en línea: 16/06/2025

Sección: **Artículo original**

Cómo citar este artículo: Chura Cahuana, H. M. ., Chayña Rodríguez, A. R. ., & Huanca Tito , E. . (2025). Aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos en la Simulación de Sistemas de Voladura con Sensores y Aplicativo Móvil en Minería Subterránea. *Journal of Humanities Titicaca*, 4(1). <https://doi.org/10.70123/jht.93>

RESUMEN

La modernización del plan curricular 2021–2025 de la Facultad de Ingeniería de Minas incorporó el curso Introducción a Sensores y Robótica en el semestre 2024-II, identificado como respuesta a la limitada experiencia práctica de los estudiantes en procesos de perforación, voladura y detonación en minería subterránea. Frente a esta problemática, se planteó como objetivo diseñar e implementar una malla de voladura equipada con sensores y vinculada a una aplicación móvil, con el propósito de fortalecer el aprendizaje práctico y tecnológico de los estudiantes. El estudio se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo, básico y descriptivo, sin manipulación intencionada de variables, observando la dinámica natural de 41 participantes. Los estudiantes planificaron y ejecutaron una simulación de voladura utilizando Arduino, sensores electrónicos, modelado en AutoCAD y validación mediante el software JK Simblast. Los resultados mostraron un incremento significativo en la comprensión de las secuencias de detonación, así como un aumento del interés y la motivación en la asignatura, reflejando un aprendizaje más activo y contextualizado. Además, la comparación entre la simulación práctica y los resultados obtenidos en el software de validación fortaleció las

¹ Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Correo electrónico: hm.chura@unap.edu.pe; (Autor de correspondencia). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3399-821X>

² Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Correo electrónico: ingarturofim@unap.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8196-157X>

³ Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Correo electrónico: ehuancat@unap.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3592-9069>

habilidades críticas de análisis. En conclusión, la integración de tecnologías interactivas mediante el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) impulsó la formación de competencias esenciales para la industria minera 4.0. El estudio aporta un modelo replicable de innovación educativa, destacando la eficacia de integrar sensores y robótica en la enseñanza universitaria de minería subterránea.

PALABRAS CLAVE Aprendizaje basado en proyectos, minería subterránea, simulación, sistema de voladura, sensores

ABSTRACT

The modernization of the 2021–2025 curriculum at the Faculty of Mining Engineering incorporated the Introduction to Sensors and Robotics course in the 2024-II semester, addressing the limited practical experience of students in drilling, blasting, and detonation processes in underground mining. In response to this issue, the objective was to design and implement a blasting grid equipped with sensors and integrated into a mobile application, aiming to strengthen students' practical and technological learning. The study employed a quantitative, basic, and descriptive approach, without intentional manipulation of variables, observing the natural dynamics of 41 participants. Students planned and executed a blasting simulation using Arduino, electronic sensors, AutoCAD modeling, and validation through JK Simblast software. The results showed a significant improvement in the understanding of blasting sequences and increased interest and motivation in the course, fostering more active and contextualized learning. Furthermore, the comparison between practical simulations and validation software results enhanced students' critical analysis skills. In conclusion, the integration of interactive technologies through Project-Based Learning (PBL) promoted the development of essential competencies for the mining industry 4.0. This study provides a replicable model of educational innovation, highlighting the effectiveness of integrating sensors and robotics into university-level training in underground mining.

KEYWORD: Project-based learning, underground mining, simulation, blasting system, sensors.

I. INTRODUCCIÓN

El proyecto responde a la actualización del plan curricular 2021-2025, que introduce la asignatura introducción a sensores y robótica en el séptimo semestre, enfocada en la implementación de sensores en el ciclo minado. Esta asignatura se planteó como un proyecto para mejorar el aprendizaje en procesos esenciales de la minería subterránea. Se identificó que los estudiantes tienen una experiencia práctica limitada en análisis de perforación, voladura y detonación, junto con la falta de herramientas que les permitan comprender y visualizar estos procesos en tiempo real, lo que dificulta su conexión con las tecnologías actuales de la industria minera. La solución propuesta incluye el diseño e implementación de una grilla de perforación y voladura equipada con sensores, integrada con una aplicación móvil para visualizar secuencias de detonación en tiempo real. Este sistema interactivo simula secuencias de carga y salida de la perforación, permitiendo a los estudiantes analizar configuraciones y compararlas con el software JK Simblast.

El aprendizaje basado en proyectos (ABP) ha sido adoptado e implementado como una de las estrategias más utilizadas en la educación para la formación de los estudiantes, sobre todo en los campos de la tecnología tales como las ingenierías (Sánchez-Rivas, 2018). Esto permite los estudiantes obtener nuevos conocimientos teóricos y prácticas desde la intervención en proyectos reales, lo cual es bastante útil en áreas como la minería subterránea, en este caso la simulación del sistema de voladura con sensores integra de manera eficiente la teoría como la práctica. Además, el ABP aborda las necesidades de la industria 4.0 por lo que los estudiantes se preparen para enfrentar desafíos tecnológicos de nivel alto como la inteligencia artificial y la robótica (Frank et al., 2003; Guo et al., 2020; Ríos et al., 2010). Esta metodología también se encamina en el sentido de hacer frente a un futuro imprevisible y siempre cambiante, como lo resaltan (Bertel et al., 2021).

Esta estrategia educativa se basa en los estudiantes trabajar en la elaboración de varios proyectos, donde el profesor es más bien un guía mientras que los estudiantes son más que simples aprendizajes (Trujillo, 2016). Para Pařová & Vejačka (2022), el ABP fomenta a cooperación, colaboración y comunicación entre los estudiantes, donde los estudiantes son capaces de resolver problemas reales donde desenvuelvan su competencias técnicas e profesionales. En el campo de la ingeniería, el ABP permite la aplicación de diferentes ámbitos de conocimiento a través de diseño de proyectos reales (Manikutty et al., 2022). Este enfoque promueve un aprendizaje activo que se intensifica con metodologías como el Design Thinking, ya da la posibilidad de que los estudiantes apliquen los conceptos aprendidos en proyectos verdaderos (Derikvand, 2024; Queiroz-Neto et al., 2023; Valenzuela-Domínguez et al., 2024).

Según Manikutty et al. (2022) señalan que la pandemia forzó la promoción de ABP en formatos en línea para que el estudiante pueda seguir desarrollando obras conjuntas y haciendo frente a nuevas modalidades de aprendizaje. Cavic et al. (2023) señalaron en estudios más recientes que no solo lleva a un mayor interés y motivación de los estudiantes, sino también a un autogobierno cognitivo mejorado y, en último análisis, a mejores logros académicos. En esta manera, tanto la teoría como la práctica en el ABP han permitido el fortalecimiento de habilidades profesionales y de investigación requeridos para abordar desafíos en áreas avanzadas como simulación de sistemas en minería subterránea, de lo indicados en (Oktavia et al., 2022; Ponce et al., 2024).

Como objetivo principal se definió en diseñar e implementar una malla de voladura con sensores e integrada con una aplicación móvil con el fin de potenciar el aprendizaje práctico de los estudiantes.

II. METODOLOGÍA

2.1. Método

Condiciones de trabajo

Este estudio se desarrolló durante el semestre académico 2024-II en las aulas de la Facultad de Ingeniería de Minas, específicamente en el marco del curso MIN318 – Introducción a Sensores y Robótica (séptimo ciclo del plan de estudios). Se aplicó un diseño de investigación no experimental, donde parte de la observación y análisis de un proceso sin alterar deliberadamente las condiciones en las que se desarrolla. De esta manera, se describe la implementación de la malla de voladura con sensores y la aplicación móvil tal como ocurre en su dinámica habitual, asegurando una aproximación objetiva. Se aplica un enfoque descriptivo, dado que no se manipularon de manera deliberada las variables, sino que se observó y registró la dinámica de los participantes en condiciones naturales del aula. La población estuvo conformada por la totalidad de los 41 estudiantes matriculados en el curso.

2.2. Diseño

Los estudiantes participaron en actividades teóricas y prácticas, enfocadas en el diseño y la implementación de una malla de perforación y voladura mediante Arduino, sensores electrónicos y planos elaborados en AutoCAD. Estas tareas se realizaron de forma grupal, con supervisión y registro continuo del docente a cargo. Como parte del procedimiento, se simuló un sistema de voladura para minería subterránea, integrando el prototipo con una aplicación móvil para monitorear las “detonaciones” de manera simulada en tiempo real. Los datos y observaciones resultantes de las actividades sirvieron para analizar la eficacia y el desempeño en la implementación de sensores y robótica básica dentro del ámbito minero.

2.3. Participantes

Autor 01: Es el ingeniero líder del proyecto y docente responsable del curso “Introducción a Sensores y Robótica”, quien supervisó todas las etapas metodológicas y técnicas del estudio.

Dirigió el diseño del sistema de voladura con sensores, validó la integración de tecnologías como ESP32, y garantizó la aplicación del ABP conforme al currículo 2021–2025 de la Facultad de Minas.

Autor 02: Se desempeñó como especialista en tecnología educativa, encargándose de la planificación pedagógica y de asegurar que la metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos fuera aplicada adecuadamente.

Supervisó el desarrollo de la aplicación móvil y colaboró en el diseño de la interfaz gráfica utilizada para la visualización en tiempo real de las secuencias de detonación.

Autor 03: Ingeniero de minas encargado de la supervisión técnica de campo durante el ensamblaje de los sensores y la validación de los datos en condiciones simuladas.

Participó activamente en el análisis de los resultados del sistema de detonación, evaluando la correspondencia con configuraciones reales de voladura subterránea.

Autor 04 y 06: Estudiantes líder del proyecto, responsable del diseño físico de la malla de perforación, modelado en AutoCAD y armado estructural utilizando melamina, PVC y componentes electrónicos.

Coordinó la integración del hardware con los sensores, validando las conexiones del sistema y su operatividad con el microcontrolador ESP32

Autor 05 y 07: Estudiantes responsable de la programación de los circuitos eléctricos y codificación de secuencias de voladura mediante lenguaje C en la plataforma Visual Studio Code.

Se encargó de implementar la lógica del sistema de luces LED y la sincronización de sensores, asegurando la correcta comunicación con la aplicación móvil vía Wi-Fi.

2.4. Instrumentos

Este proyecto implicó necesidad de diversos recursos y tecnologías. Entre los materiales físicos se emplearon componentes electrónicos como sensores y LEDs y módulos LCD, placas Arduino, circuitos, protoboard para la conformación de los sistemas. Se empleó materiales estructurales como también melamina MDF, tubos PVC.

Se utilizó programas como autoCAD para el diseño 2D, SketchUp para el modelo 3D y Arduino para la programación de circuitos. Asimismo, para respaldar los patrones de configuración asumidos de las secuencias de voladuras simuladas en el contexto de la minería subterránea, se utilizó el software JK Simblast. Los materiales fueron seleccionados para permitir la creación de una malla de perforación y voladura equipada con sensores y una aplicación móvil para visualizar las secuencias de detonación en tiempo real.

2.5. Procedimiento

El método empleado fue de tipo cuantitativo, investigación básica con un enfoque descriptivo (Arias et al., 2022), ya que se buscó describir el impacto de la implementación de una malla de voladura equipada con sensores en el aprendizaje práctico de los estudiantes. La investigación consistió en el desarrollo de un proyecto

que permitió a los estudiantes aplicar sus conocimientos de autoCAD, redacción de informes, robótica y sensores y minería subterránea a través de un proceso activo y colaborativo. La ejecución del proyecto se dividió en cuatro etapas como se muestra en la figura 01: diseño inicial utilizando autoCAD y sketchUp, ensamblaje de circuitos con sensores, pruebas funcionales de validación, e integración final con un aplicativo móvil. El procedimiento metodológico incluyó varias fases de trabajo: inicialmente, los estudiantes diseñaron la malla de perforación y voladura, asegurándose de que todos los componentes fueran compatibles y funcionales. Luego, pasaron al ensamblaje de los circuitos, realizando pruebas y ajustes a los sensores y luces LED. Finalmente, los estudiantes implementaron la sincronización de los sensores con el aplicativo móvil para la visualización en tiempo real de las secuencias de detonación, en la tabla 01 se muestra los materiales.

Tabla 1.*Materiales para desarrollo del proyecto*

N°	Descripción	Uso en el proyecto
1	Melamina MDF 18mm	Material versátil para estructuras decorativas.
2	Pelikano Matte ONIX 18mm	Acabados decorativos en el proyecto.
3	Canteado grueso	Protege los bordes de paneles de madera.
4	Pegamento PL 250 ml	Adhesivo para unir materiales como madera y PVC.
5	Tornillos 4x30 LECCO	Ensamblaje de piezas.
6	Arduino Módulo ESP-32	Controlador principal del sistema de sensores.
7	Pantalla LED	Muestra datos y estado del sistema.
8	Luces LED	Indicadores visuales del estado del sistema.
9	Módulo LCD con 12C	Muestra información detallada del sistema.
10	Cable unipolar 24	Conexiones eléctricas entre componentes.
11	Tubo de 1 1/2 pulgadas x 3m PVC	Material de soporte para la malla de perforación.
12	Soldadura estaño 0.8mm	Conexiones eléctricas en componentes.
13	Cautín tipo pistola OPALIX 30-70W	Soldadura de componentes electrónicos.
14	Diodo LED 10mm rojo	Indicadores visuales en el proyecto.
15	Micro switch con rodillo	Detección precisa de movimientos y posiciones.

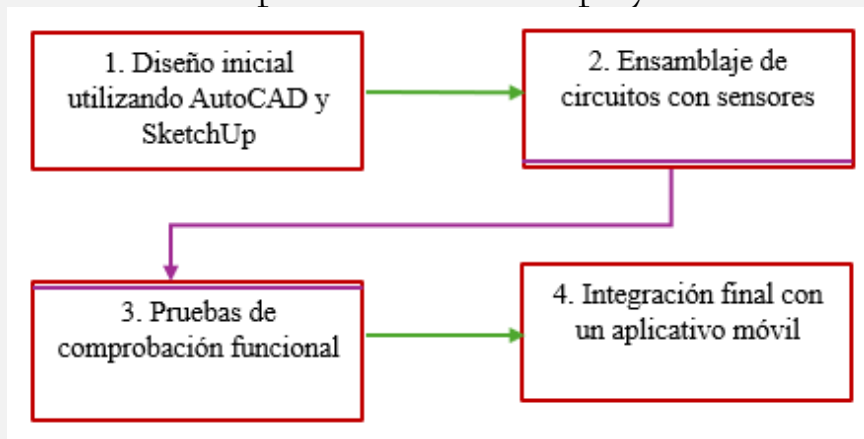
Nota. Materiales mas importantes que se usaron en el diseño e implementación de la malla de perforación y voladura.

2.6. Análisis de datos

La figura 01 ilustra las cuatro etapas principales del proceso de desarrollo del proyecto, organizadas de manera secuencial. Inicia con el diseño inicial en AutoCAD y SketchUp, donde se conceptualizan las estructuras y componentes. Luego, se pasa al

ensamblaje de circuitos con sensores, integrando los componentes electrónicos necesarios. Posteriormente, se realizan las pruebas funcionales de validación para comprobar la correcta operación del sistema. Finalmente, el proyecto concluye con la integración del sistema con un aplicativo móvil, permitiendo la visualización y control de las secuencias de voladura en tiempo real.

Figura 1.
Fases para el desarrollo del proyecto.

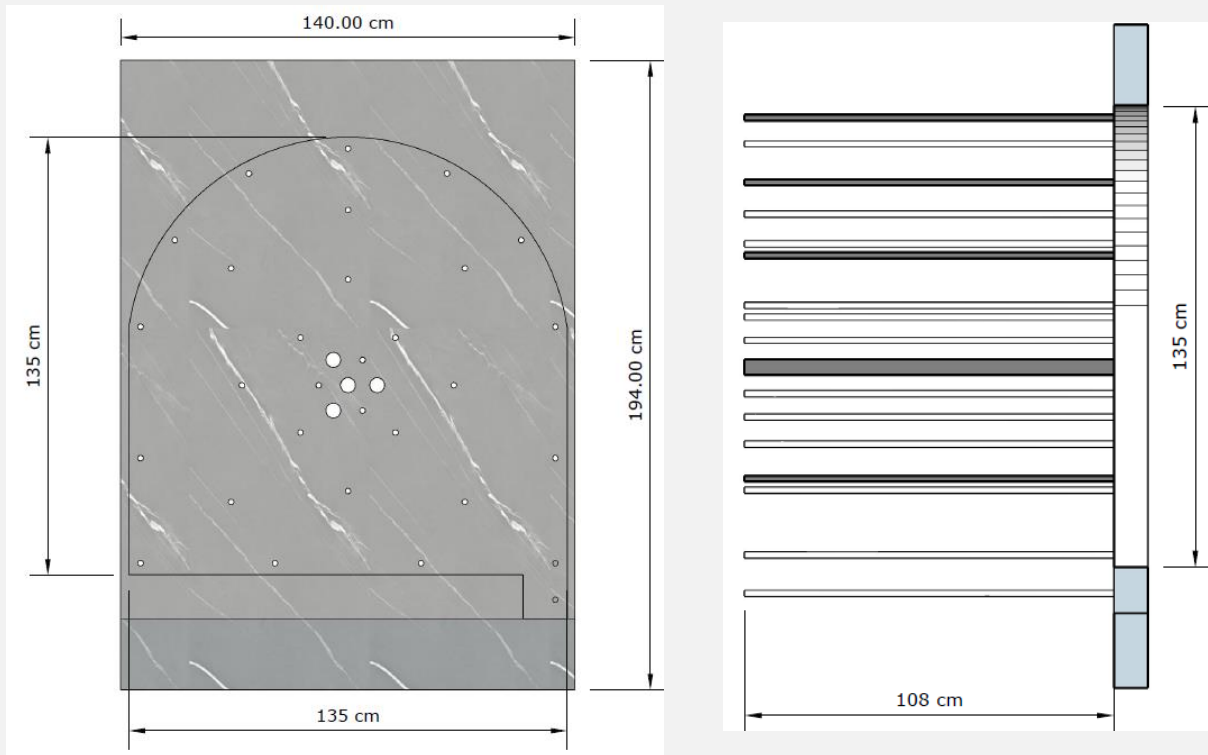


III. RESULTADOS

1. Diseño de la malla de perforación

La malla de perforación se diseñó utilizando herramientas de modelado como autocad y sketchup para crear una representación detallada de las condiciones de minería subterránea. El diseño abarca un área de perforación de 3m x 3m reducida en la maqueta a una escala de 1:15, en la que se distribuyen 32 taladros, ver la figura 02 para más detalle. De estos, 28 son asignados a producción y 04 a alivio que representa a un arranque tipo cacho de toro, siguiendo las mejores prácticas de voladura subterránea. Los taladros están posicionados estratégicamente para optimizar la fragmentación del material y facilitar el control de la voladura, simulando así una situación lo más cercana posible a las operaciones reales en una mina. Esta malla no solo sirve como un modelo físico para las prácticas, sino también como un modelo pedagógico interactivo que puede ser modificado y ajustado para enseñar conceptos de perforación y voladura en minería subterránea.

Figura 1.
Vista frontal de la malla de perforación a escala 1:15



2. Selección y distribución de sensores

La red de sensores es un componente crucial en este diseño, y se seleccionó un sensor para detectar límites de movimiento o posiciones, este sensor se instaló en cada taladro para poder controlar los explosivos que se cargan.

- **Sensores de posición:** estos sensores fueron instalados en cada taladro para asegurar que se ubiquen correctamente dentro de la malla de perforación, estos sensores funcionan por contacto a los cartuchos que se carga en la columna del taladro. Además, con las pantallas LED se visualiza el número de explosivos cargados y la cantidad de metros que se ha cargado, ver la figura 03.

También se realiza la distribución de cuatro luces led, ver la figura 04, en cada taladro estas luces led son conectados en el ESP-32, donde con el uso del lenguaje de programación en c y ESP – IDF extensión de visual studio code se escribió el código para representar la secuencia de detonación en cada taladro y se representa con el encendido de las luces led, los colores de usados son azul, rojo, amarillo y blanco. Este sistema de codificación por colores facilita la comprensión de las secuencias de voladura y ayuda a los estudiantes a visualizar cómo los tiempos de retardo afectan el proceso general de voladura.

Figura 3.
Ubicación de los sensores dentro del taladro

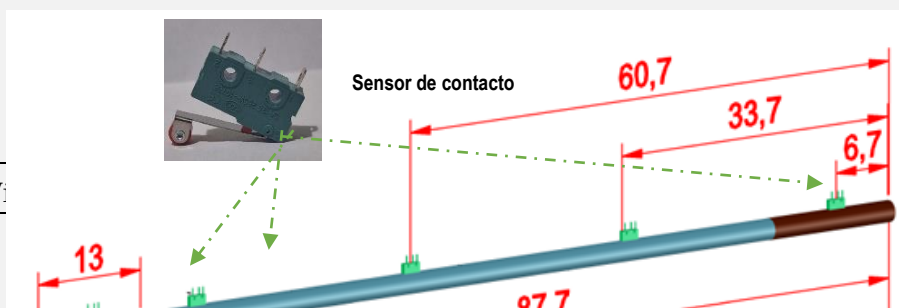
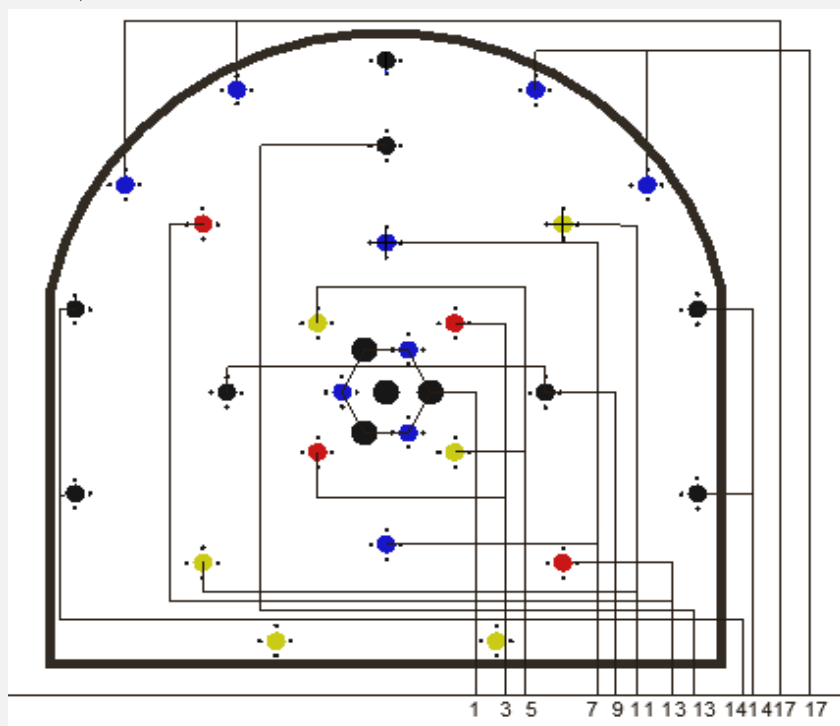


Figura 4.
Distribución de la red de sensores en el software AutoCAD



3. Sistema de transmisión de datos en tiempo real

El sistema de sensores es integrado con un sistema de transmisión de datos en tiempo real que permite a los estudiantes monitorear y controlar el proceso de secuencia de voladura, ver figura 04. Para asegurar una comunicación eficiente y de bajo consumo energético, se emplea el protocolo 4G LTE. Este sistema permite la transmisión instantánea de datos desde los sensores hacia la plataforma de monitoreo, garantizando que los estudiantes tengan acceso inmediato a los datos.

4. Desarrollo del sistema de control y visualización

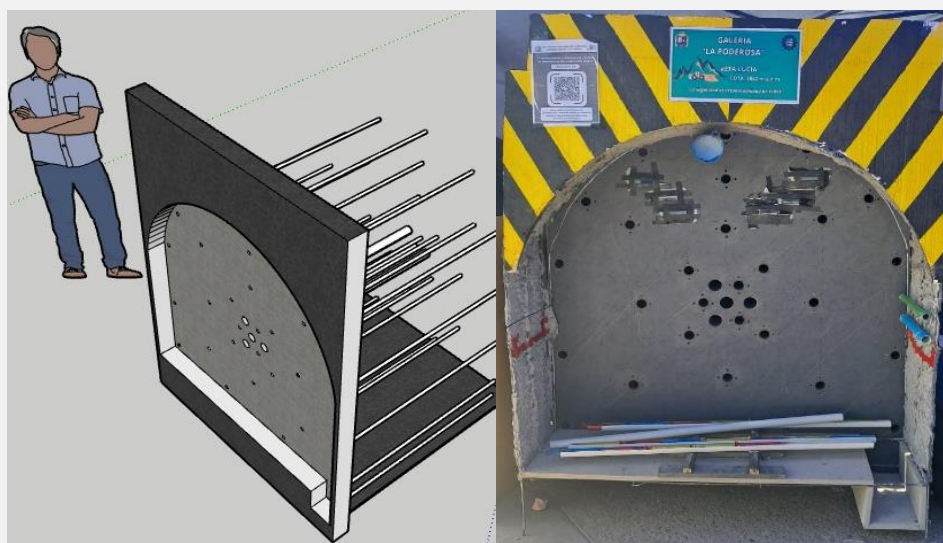
Los datos recolectados por los sensores son procesados por un microcontrolador, que actúa como el cerebro del sistema. El ESP32 es el microcontrolador elegido debido a su capacidad de manejar múltiples sensores y transmitir los datos en tiempo real. El

sistema está conectado a una pantalla LCD y LEDs indicadores, que permitirá a los estudiantes visualizar el estado de cada taladro, el avance del carguío de explosivos y las secuencias de detonación.

Los estudiantes interactúan con una interfaz gráfica que les ha permitido, ver figura 05:

- Visualizar los datos de los sensores en tiempo real, como la lectura de carga explosiva en el taladro.

Figura 5.
Malla de voladura con la configuración de taladros y LCD.



- Aju el retardo, para simular diferentes escenarios de voladura y observar sus efectos. detonación o

5. Validación del sistema de sensores

Se llevó a cabo diversas pruebas de funcionamiento para verificar que el sistema de sensores esté operando correctamente. Estas pruebas incluirán:

- Pruebas de precisión: Asegurar que los sensores de carga detecten correctamente la cantidad de explosivos en cada taladro.
- Simulación de secuencias de voladura: Activar los sensores según las secuencias de retardo y verificar que los tiempos y secuencias sean precisos.
- Pruebas de comunicación: Asegurar que los datos de los sensores se transmitan sin errores y en tiempo real a la plataforma de monitoreo.

6. Diseño de la aplicación móvil

La aplicación móvil se creó para que mediante la visualización de datos en tiempo real donde los estudiantes pudieran ver los datos que los sensores enviaban desde los taladros de la malla de perforación. Esta aplicación ayudó a evidenciar la secuencia de disparo de los taladros, donde se muestre los tiempos de retardo establecidos en cada uno de ellos y les permitió a ellos conformar y determinar las configuraciones de las voladuras mientras observaban en tiempo real los efectos de la misma. El programa posee una interface diseñada en forma de simulacro del auténtico sistema de voladura y el usuario puede ajustar parámetros tales como el retardo y de cada taladro como se muestra en la figura 6.

Tecnologías utilizadas:

- Framework de desarrollo: Lo que se utilizó para proporcionar compatibilidad entre el sistema Android se usó un entorno de desarrollo para que pudieran acceder a la herramienta desde cualquier móvil para los estudiantes.
- Protocolos de comunicación: La aplicación se conecta al sistema de sensores a través de Wi-Fi, donde el microcontrolador ESP32 se encarga de la transmisión de datos. Esta conexión es necesaria para obtener las lecturas en tiempo real de los sensores y para actualizar la vista de la aplicación.

Figura 6.
Control de secuencia de disparo con aplicativo móvil.



Los datos recogidos por los sensores (como la cantidad de explosivos y la secuencia de detonación) son transmitidos a la aplicación móvil. Esta, a su vez, permite que los estudiantes visualicen los resultados en tiempo real, con un diseño claro y didáctico. Los sensores de posición y presión instalados en la malla de voladura envían la información sobre cada taladro, la cantidad de explosivos cargados, y la secuencia de retardo, que es representada por colores en la interfaz.

Información recabada por los sensores incluyendo la cantidad de explosivos y el orden de la detonación es enlazada a la aplicación del móvil. Esta, por lo tanto, hace que los estudiantes puedan ver los resultados, de cerca e incluso en tiempo real con una gráfica muy organizada y sencilla. Los sensores de posición implementados en la malla de voladura entregan información sobre cada taladro, la cantidad de explosivos cargados y la secuencia de retardo, la cual se presenta mediante colores en la interfaz.

Para asegurar una correcta acción de la aplicación y de la visualización de los datos, se llevó a cabo una serie de pruebas sobre el correcto desempeño del sistema, donde se testeó el correcto proceso de conexión de la aplicación con los sensores y el correcto procesamiento que brinda en tiempo real las secuencias de detonación, así como permitir ajustes de también se verificó la correspondencia entre los resultados de la simulación, la simulación del software.

El proyecto de investigación es importante en la enseñanza porque se realiza la revisión de los cursos de perforación y voladura, autocad y mecánica de rocas para ver los escenarios de carguío de taladros de acuerdo al tipo de roca y luego proponer diseños de los frentes de voladura. Este proyecto ayuda a evaluar de forma detalla todos los aspectos con referencia al carguío y detonación de taladros.

IV. DISCUSIÓN

Durante la implementación del aprendizaje basado en proyectos (ABP), los estudiantes no solo diseñaron y programaron sensores para la simulación de voladuras en minería subterránea, sino que también recopilaron y analizaron datos cuantitativos para validar su funcionamiento. Por ejemplo, se realizaron pruebas de calibración en las que se midieron tiempos de respuesta del sensor en milisegundos. Estos indicadores permitieron contrastar la efectividad de los sistemas diseñados y afinar los algoritmos de control en Arduino. De este modo, se evidenció cómo el enfoque práctico propuesto por Sánchez-Rivas (2018), en el que se vinculan conceptos teóricos con aplicaciones concretas, fortalece la capacidad de los estudiantes para tomar decisiones informadas basadas en datos reales, generando un conocimiento más profundo y significativo. Según Manikutty et al. (2022), cualquier proyecto práctico como el presentado en esta investigación no solo fortalece las habilidades técnicas del programa de estudios, sino que también promueve capacidades de trabajo en equipo, comunicación e identificación y solución de problemas. En este estudio, se conformaron seis equipos de trabajo que integraron sensores para medir variables críticas, tales como la posición de los taladros y la carga de explosivos simulada. Por lo que se tenían que comunicar y tener una capacidad de trabajo en equipo para solucionar problemas que se presentaban a medida que avanzaba la ejecución del proyecto como explico el anterior estudio.

Trujillo (2016) y Pa'ová & Vejačka (2022) señalan en sus investigaciones en la educación que tratan de aplicar proyectos para la enseñanza en el uso de las tecnologías interactivas formales como aplicaciones de los dispositivos móviles que favorecen al proceso enseñanza-aprendizaje ya que supone la implicación directa de los estudiantes en la toma de decisiones y en la observación de resultados simulados. En el estudio presentando, la aplicación móvil que se desarrolló no solo permite observar los datos, sino que también capacita a los estudiantes para manipular las secuencias de detonación y modificar los parámetros de las voladuras de acuerdo con los resultados obtenidos, promoviendo así la experimentación y el autoaprendizaje. Según lo apunta Cavic et al., (2023) este tipo de aprendizaje basado en simulaciones interactivas no solo incrementa la motivación de los estudiantes, sino que además y en consecuencia, mejora los resultados académicos y les ofrece una mejor preparación en aquello que se enfrentarán en el ámbito de la minería subterránea.

V. CONCLUSIONES

La creación de una infraestructura de monitoreo basada en sensores que al instante controla las variables clave de la malla de voladura tales como el carguío de explosivos en cada taladro para proporcionar a los estudiantes una educación en la práctica y directa de la voladura en minería subterránea. Los sensores ofrecen información que ayuda a los estudiantes a simular y al mismo tiempo, desarrollan el aprendizaje en un ambiente seguro y una integración real del contenido teórico con la práctica. Este enfoque ayuda a los estudiantes a familiarizarse y sensibilizarse con los dispositivos modernos de la industria minera, en el uso de tecnologías como IoT como es el uso del Arduino y permiten prepararlos para enfrentar los obstáculos tecnológicos en la industria 4.0.

Para que los estudiantes puedan recopilar datos de los sensores, ha sido de gran ayuda el desarrollo de una aplicación móvil que integra los datos, ya que facilita el seguimiento de las secuencias de detonación en tiempo real. Esta aplicación permite configurar parámetros como tiempos de retardo y simular varios escenarios de lanzamiento, lo que hace que el aprendizaje práctico sea más eficiente. Al permitir el análisis comparativo con software de simulación como JK Simblast, los estudiantes pueden verificar sus decisiones y estrategias, lo que agudiza sus habilidades críticas y metacognitivas. Lo que se brinda con esta tecnología ayuda a la enseñanza en cooperativa y aporta una educación que responde a los requerimientos de la industria minera actual. Además de recordar los cursos como perforación y voladura, autocad y mecánica de rocas llevados con anterioridad y aplicarlo en este proyecto

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., & Vasquez, M. (2022). *Metodología de la investigación: El método ARIAS para desarrollar un proyecto de tesis* (1.^a ed.). Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.016>
- Bertel, L., Askehave, I., Brohus, H., Geil, O., Kolmos, A., Ovesen, N., & Stoustrup, J. (2021). Digital Transformation at Aalborg University: Interdisciplinary Problem and Project-Based Learning in a Post-Digital Age. *Advances in Engineering Education*, 9(3). Scopus. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85125477719&partnerID=40&md5=da51cb8a60f6d690f1cca13e20f99cab>
- Cavic, M., Beljin-Cavic, M., Horvat, S., Bogdanovic, I., & Stanisavljevic, J. (2023). The impact of project-based learning in physics education on university students' motivation to learn and metacognition. *Zbornik Instituta Za Pedagoska Istrazivanja*, 55(2), 275-299. <https://doi.org/10.2298/ZIPI2302275C>
- Derikvand, M. (2024). Project-based learning in timber engineering education: A recent example. *BioResources*, 20(1), 17-20. <https://doi.org/10.15376/biores.20.1.17-20>

- Frank, M., Lavy, I., & Elata, D. (2003). Implementing the Project-Based Learning Approach in an Academic Engineering Course. *International Journal of Technology and Design Education*, 13(3), 273-288. <https://doi.org/10.1023/A:1026192113732>
- Guo, P., Saab, N., Post, L. S., & Admiraal, W. (2020). A review of project-based learning in higher education: Student outcomes and measures. *International Journal of Educational Research*, 102, 101586. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2020.101586>
- Manikutty, G., Sasidharan, S., & Rao, B. (2022). Driving innovation through project based learning: A pre-university STEAM for Social Good initiative. *2022 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1-8. <https://doi.org/10.1109/FIE56618.2022.9962420>
- Oktavia, T., Prayoga, A., Vincent, Kenth, Devani, V., Milewis, I., Gaol, F. L., & Hosoda, T. (2022). The Effectiveness of Online Project-Based Learning (PJBL) to Improve Sustainability Education at Private University. *2022 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*, 62-66. <https://doi.org/10.1109/ICIMTech55957.2022.9915053>
- Pal'ová, D., & Vejačka, M. (2022). Project-based Learning in the University Course and its Effectiveness. *TEM Journal*, 1477-1484. <https://doi.org/10.18421/TEM114-07>
- Ponce, H., Moya-Albor, E., & Brieva, J. (2024). From Project-Based Learning to Innovative Technologies in Mechatronics Course: A Case Study in a Private University in Mexico City. En H. Ponce, J. Brieva, O. Lozada-Flores, L. Martínez-Villaseñor, & E. Moya-Albor (Eds.), *Data-Driven Innovation for Intelligent Technology* (Vol. 148, pp. 111-134). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54277-0_5
- Queiroz-Neto, J. P., De Sousa, J. M., Pereira, M. S., & Gouvea, N. A. (2023). Advanced Training in Industrial Robotics Using Project-Based Learning and Design Thinking in a Partnership Between the University and Industry. *2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/FIE58773.2023.10342896>
- Ríos, I. D. L., Cazorla, A., Díaz-Puente, J. M., & Yagüe, J. L. (2010). Project-based learning in engineering higher education: Two decades of teaching competences in real environments. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 1368-1378. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.202>
- Sánchez-Rivas, E. (2018). Cuando el proyecto sustituye a los apuntes. *Harvard Deusto. Learning & Pedagogics*, 14, 14-21.
- Trujillo, F. (2016). Aprendizaje basado en proyectos. Infantil, Primaria y Secundaria. *Ministerio de Educación*.
- Valenzuela-Domínguez, F. A., Munguía-Martínez, L. F., Meléndez-Tiznado, S., Guzmán-Limón, Z., Benítez, V. H., & Félix-Herrán, L. C. (2024). Design of a two-degrees-of-freedom robotic arm for monitoring applications for teaching robotics and artificial intelligence technology. *Computer Applications in Engineering Education*, 32(6), e22786. <https://doi.org/10.1002/cae.22786>

ACERCA DEL AUTOR

Heinz Miguel CHURA CAHUANA¹. Maestro en geotécnia y geomecánica minera, y profesor en la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Correo electrónico hm.chura@unap.edu.pe (autor de correspondencia). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3399-821X>

Arturo Rafael CHAYÑA RODRIGUEZ². Maestro en tecnología educativa y competencias digitales y profesor en la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Correo electrónico ingarturofim@unap.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8196-157X>

Edy HUANCA TITO³. Ingeniero de Minas y profesor en la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Correo electrónico ehuancat@unap.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3592-9069>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no incurren en conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Los autores declaran haber desarrollado en su totalidad el presente estudio.

Fuentes de financiamiento

Se ha recibido un financiamiento de 1150 soles por parte de la Facultad de Ingeniería de Mina de la Universidad Nacional del Altiplano.

Aspectos éticos y legales

Los autores declaran no haber incurrido en aspectos antiéticos, ni haber omitido aspectos legales en la realización de la investigación.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por brindarnos la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para llevar a cabo este proyecto.

Se agradece al Dr. Óscar Llanque Maquera, Decano de la Facultad de Ingeniería de Minas, por su constante promoción de la investigación y el impulso a la realización de proyectos que fortalecen el aprendizaje académico de los estudiantes.

Se expresa un agradecimiento a la señorita Deyssy Xiomara Calizaya Poma, estudiante del curso, por su valiosa colaboración en el manejo de insumos y materiales esenciales para el desarrollo del proyecto.

Asimismo, al señor Yhojan Luis Quispecondori Luna por su colaboración en el área de diseño, el cual fue ajustado progresivamente durante la ejecución del proyecto.

Se reconoce al señor Bruss Adderly Arizaca Phala por su valioso aporte en los detalles de acabado, fundamentales para la correcta visualización final del prototipo.

Se agradece al Dr. Aníbal Sucari León por su orientación y guía en los aspectos técnicos fundamentales que contribuyeron significativamente al éxito de este proyecto.

A todos los estudiantes del curso de Introducción a sensores y robótica que han participado en la ejecución del proyecto, siendo los siguientes:

Código matricula	Apellidos y Nombres
217111	ACHATA TINTAYA JHON RONAL
217110	AGUILAR NUÑEZ WALTER FERNANDO
217335	APAZA APAZA ANGELY ROSELY
215176	APAZA CARBAJAL LUIS MARIO
217126	ARIZACA PHALA BRUSS ADDERLY
217424	CALIZAYA POMA DEYSSY XIOMARA
215363	CALIZAYA YUPANQUI HAROLD DAVID
217033	CASAS GOYZUETA ROYER HIDELZON
217148	CHAMBILLA QUISOCALA NILS EDDY
215096	CHECALLA CCOPA WILLIAMS SWYLL
213679	CHOQUE QUISPE DIEGO ALDAIR
191112	CONDORI CONDORI CRISTIAN ALENBER
215380	CRUZ ZAPANA MAX YASMANI
217444	GUTIERREZ CALSINA JOSE CARLOS
215333	HIRPANOCA VALERIANO JAMEL RIQUELME
215183	MACHACA SARDON JORGE ADEMIR
217333	MAMANI HUMPIRI JHEFERSON YERI
217374	MAMANI MACEDO THALIA ROSMERY
215184	MAYTA CONDORI FRANK EDU
217136	MEZA ARQUE JULIO GUSTAVO
215369	MULLISACA TICONA EDWIN RIVALDO
215222	ORTEGA CANAHUA JHOSEP ALEX
217017	PARI SUAÑA ALVARO SECUNDINO
215110	PONCE CHECALLA GABRIEL GUIDO
215240	QUISPE BACA JHOJAN JEANDET
215291	QUISPE LANUDO AMADEO FRANKS
217013	QUISPE QUISPE, DAVID STALIN
215103	QUISPECONDORI LUNA YHOJAN LUIS
217228	RAMOS CHOQUE CRISTIAN DANIEL
217368	SUELDO HUAYTA CRISTHIAN ERIKSON
216971	TAPIA QUISPE EDU ANDESON
217426	TITO CUTISACA DIEGO RONALDO
	Marco Antonio YQUIAPAZA MIRAND
	Joel Rider SUCASACA YANQU
	Roy Gabriel PAYE CHUQUITARQU
	Taylor HUMPIRI SUP