European Public & Social Innovation Review

ISSN 2529-9824

Artículo de Investigación

Aprendizaje basado en retos (ABR) con enfoque STEM para la enseñanza de bombas de ariete

Challenge-Based Learning (CBL) with a STEM Approach for Teaching Ram Pumps

Holger Benavides-Muñoz: Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
hmbenavides@utpl.edu.ec

Fecha de Recepción: 15/06/2025

Fecha de Aceptación: 16/07/2025

Fecha de Publicación: 21/07/2025

Cómo citar el artículo

Benavides-Muñoz, H. (2025). Aprendizaje basado en retos (ABR) con enfoque STEM para la enseñanza de bombas de ariete [Challenge-Based Learning (CBL) with a STEM Approach for Teaching Ram Pumps]. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 01-23. https://doi.org/10.31637/epsir-2025-2266

Resumen

Introducción: La Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) implementa el Aprendizaje Basado en Retos (ABR) con enfoque STEM para enseñar bombas de ariete dentro de la asignatura de Ingeniería Hidráulica. **Metodología:** Los estudiantes, organizados en equipos, diseñan y construyen prototipos funcionales aplicando conceptos teóricos en situaciones reales. Estos modelos se evalúan mediante pruebas experimentales, promoviéndose la mejora continua de los diseños. **Resultados:** Se observó un alto nivel de participación y motivación entre los estudiantes, quienes demostraron un aprendizaje efectivo e integrador. Desarrollaron habilidades transversales como la resolución de problemas, el pensamiento crítico y la creatividad proactiva. Las pruebas en campo permitieron evaluar objetivamente el rendimiento de los equipos así como de sus prototipos, proporcionando una oportuna retroalimentación. **Discusión:** Los resultados confirman que el ABR es una herramienta didáctica eficaz para la enseñanza de bombas de ariete, promoviendo un aprendizaje activo y significativo. Además, facilita una evaluación objetiva del desempeño de los estudiantes y sus equipos, y crea un ambiente de aprendizaje colaborativo y motivador. **Conclusiones:** El ABR es una alternativa prometedora para la enseñanza de hidráulica, ofreciendo beneficios para los estudiantes, como un mejor uso de los conceptos teóricos y el desarrollo de habilidades transversales.

Palabras clave: Aprendizaje Basado en Retos; Bombas de ariete; Estudiantes de Ingeniería Civil; Evaluación práctica; Habilidades transversales; STEM; Mejora continua del desempeño; Enseñanza de Hidráulica.

Abstract
Introduction: The Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) implements Challenge-Based Learning (CBL) with a STEM approach to teach hydraulic rams within the Hydraulic course. **Methodology:** Students, organized into teams, design and build functional prototypes applying theoretical concepts to real-world situations. These models are evaluated through experimental tests, promoting continuous improvement of the designs. **Results:** A high level of participation and motivation was observed among the students, who demonstrated effective and integrative learning. They developed transversal skills such as problem-solving, critical thinking, and proactive creativity. Field tests allowed for the objective evaluation of the performance of the teams and their prototypes, providing timely feedback. **Discussions:** The results confirm that CBL is an effective didactic tool for teaching hydraulic rams, promoting active and meaningful learning. In addition, it facilitates an objective evaluation of the performance of students and their teams, and creates a collaborative and motivating learning environment. **Conclusions:** CBL is a promising alternative for teaching hydraulics, offering benefits for students, such as better use of theoretical concepts and the development of transversal skills.

Keywords: Challenge-Based Learning (CBL); Ram pumps; Civil Engineering Students; Hands-on Evaluation; Transversal Skills; STEM; Continuous Performance Improvement; Hydraulics Teaching.

1. Introducción

El Aprendizaje Basado en Retos (APR) con un enfoque en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM) puede mejorar significativamente las habilidades de pensamiento crítico y resolución de problemas de los estudiantes en la asignatura de Hidráulica. Al presentar a los estudiantes los desafíos relevantes y realistas antes de introducir la teoría necesaria, el ABR promueve una experiencia de aprendizaje adaptativa (Freeman *et al*., 2010), permitiendo a los participantes (docentes y discentes) aplicar el conocimiento a situaciones del mundo real de manera efectiva (Freeman *et al*., 2010).

En las últimas décadas, la educación en ingeniería ha buscado métodos más interactivos y prácticos para involucrar a los estudiantes (Khairuddin et al., 2023). El Aprendizaje Basado en Retos (ABR) combinado con un enfoque en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM) ha mostrado ser particularmente efectivo (Gallagher y Savage, 2020). Este estudio se enmarca en esta tendencia, explorando específicamente su aplicación en la enseñanza de bombas de ariete hidráulicas, un componente importante de la asignatura de hidráulica.

La formación de profesionales competentes en el campo de la Ingeniería Hidráulica es fundamental para el desarrollo sostenible de nuestras sociedades, presentes y futuras. Estos profesionales deben poseer una sólida base teórica, habilidades prácticas y la capacidad de resolver problemas complejos en dichos escenarios (Komilova *et al*., 2022). Si bien la enseñanza tradicional ha sentado las bases para la formación de ingenieros civiles e hidráulicos, existen enfoques complementarios que pueden potenciar aún más el desarrollo de competencias adquiridas.

Un ejemplo de ello es el proceso formativo mediante proyectos de investigación aplicados en ingeniería hidráulica (Ettema *et al*., 2020). Este proceso permite a los "profesionales en formación" desarrollar habilidades y destrezas prácticas para resolver problemas reales y adecuarse de forma constructiva y propositiva al trabajo en equipo. De igual forma, el ABR puede potenciar y fortalecer el desarrollo de las competencias requeridas en áreas como la innovación, la colaboración y la resolución de complejos problemas, especialmente relevantes en las áreas de STEM (Zhao *et al*, 2022).

En este contexto, el ABR surge como una alternativa prometedora para la enseñanza de la Hidráulica con un enfoque STEM. Esta metodología se basa en la presentación de desafíos reales a los estudiantes, quienes deben trabajar en equipos para diseñar, construir y probar soluciones innovadoras, integrando conceptos de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas de forma práctica y contextualizada. El ABR promueve un aprendizaje activo y significativo, fomenta el trabajo colaborativo y el desarrollo de habilidades transversales como la resolución de problemas, el pensamiento crítico, la creatividad y la comunicación efectiva, elementos esenciales para el éxito en el ámbito STEM.

Las bombas de ariete son dispositivos hidráulicos que aprovechan la energía cinética del agua para elevarla a un nivel superior. Su funcionamiento se basa en el principio de golpe de ariete, un fenómeno que genera un aumento repentino de presión en un fluido cuando se detiene bruscamente su flujo. Estas bombas no requieren energía externa para funcionar, lo que las convierte en una opción atractiva para zonas rurales o con acceso limitado a electricidad, especialmente en países en vías de desarrollo donde el acceso a tecnologías STEM puede ser limitado.

En este estudio, se implementó un enfoque de ABR con base en STEM para la enseñanza del funcionamiento, diseño y construcción de bombas de ariete a estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). El estudio se desarrolló durante cuatro períodos alternos de dieciséis semanas cada uno. A lo largo de estos períodos, los estudiantes, organizados en equipos, diseñaron y construyeron prototipos funcionales de bombas de ariete utilizando materiales reciclados y herramientas básicas.

La metodología ABR con base en STEM permitió a los estudiantes aplicar los conocimientos teóricos aprendidos en clase a situaciones reales, integrando principios de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM). Durante el proceso de desarrollo de los prototipos, los estudiantes investigaron el funcionamiento de las bombas de ariete, elaboraron planos y diagramas, construyeron los prototipos y realizaron pruebas experimentales para evaluar su rendimiento.

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo en la finca de la UTPL, donde se midieron diversos parámetros para evaluar la eficiencia de las bombas de ariete, incluyendo su eficiencia hidráulica, su capacidad para bombear agua y su impacto ambiental. En este último aspecto, se consideraron criterios como la utilización de recursos sostenibles y la minimización de residuos.

Los resultados del estudio demostraron que la implementación del enfoque ABR con base en STEM tuvo un impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes. Los estudiantes desarrollaron habilidades prácticas en el diseño, construcción y evaluación de sistemas hidráulicos, aplicaron conocimientos teóricos a situaciones reales, trabajaron en equipo y colaboraron de manera efectiva, y mostraron un mayor interés en las áreas STEM.

1.1. Objetivos del estudio

El presente estudio tuvo como objetivos principales:

Evaluar la eficacia del ABR con enfoque STEM como herramienta didáctica para la enseñanza del funcionamiento, diseño y construcción de bombas de ariete.

- Medir el conocimiento adquirido por los estudiantes mediante pruebas estandarizadas y rúbricas de evaluación.

- Analizar el desarrollo de habilidades prácticas a través de la observación del desempeño en clase y la evaluación en campo de los prototipos construidos.

- Evaluar la adquisición de competencias transversales como la resolución de problemas, el pensamiento crítico, la creatividad, la comunicación efectiva y el trabajo en equipo mediante cuestionarios y entrevistas.

Analizar el impacto del ABR con enfoque STEM en el aprendizaje de los estudiantes (profesionales en formación), considerando su comprensión de los conceptos teóricos de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, el desarrollo de habilidades prácticas y la adquisición de competencias transversales.

- Observar y evaluar el desarrollo de habilidades prácticas a través de la participación en el diseño, construcción y prueba de prototipos de bombas de ariete.

- Analizar la adquisición de competencias transversales mediante la observación del comportamiento de los estudiantes en el trabajo en equipo, la resolución de problemas, el pensamiento crítico, la creatividad y la comunicación efectiva, principalmente.

Comparar el desempeño de los prototipos diseñados y construidos por los estudiantes, identificando los factores que influyen en su eficiencia hidráulica en campo.

- Evaluar la eficiencia hidráulica de los prototipos mediante pruebas de rendimiento en campo.

- Analizar el costo económico de los prototipos construidos, considerando el número de materiales reciclados y reutilizados.

1.2. Hipótesis del estudio

El Aprendizaje Basado en Retos con enfoque STEM es una herramienta didáctica eficaz para la enseñanza del funcionamiento, diseño y construcción de bombas de ariete, promoviendo un aprendizaje activo y significativo, el desarrollo de habilidades prácticas y la adquisición de competencias transversales como la resolución de problemas, el pensamiento crítico y la comunicación efectiva en los estudiantes, especialmente en las áreas de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas.

1.3. Importancia del estudio y contribuciones

Este estudio aporta evidencia sobre la efectividad del ABR con un enfoque STEM como herramienta didáctica para la enseñanza de la Ingeniería Hidráulica (Mirea *et al*, 2020). Los resultados obtenidos no solo subrayan la viabilidad de esta metodología, sino que también resaltan su impacto positivo en el desarrollo de competencias en los estudiantes de ingeniería. La implementación del ABR con enfoque STEM en la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) permite a los estudiantes aplicar conceptos teóricos en situaciones prácticas, promoviendo un aprendizaje más profundo y significativo.

En el contexto actual, donde la ingeniería hidráulica enfrenta desafíos cada vez más complejos debido a factores como el cambio climático, aumento de la demanda de agua por incremento de la población mundial y la gestión sostenible del agua, resulta fundamental que los profesionales estén bien preparados (Hu *et al*, 2023). Este estudio proporciona una base sólida para que los educadores mejoren la calidad de la enseñanza en esta área. Al adoptar el ABR con enfoque STEM, se prepara a los estudiantes para ser más competentes y estar mejor equipados con las habilidades necesarias para enfrentar los retos de la ingeniería hidráulica moderna y futura (Almeida Sánchez y García Arteaga, 2022).

Este estudio contribuye significativamente a la discusión sobre la importancia de integrar las áreas de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas en la enseñanza de la ingeniería. La integración de estas disciplinas es esencial para preparar a las nuevas generaciones para los desafíos del futuro en un mundo cada vez más interconectado y tecnológico. El enfoque STEM no solo mejora el aprendizaje de conceptos técnicos, sino que también fomenta habilidades transversales como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y la creatividad, que son fundamentales en cualquier campo profesional.

La evidencia recopilada en este estudio puede servir como guía para quienes buscan mejorar sus métodos de enseñanza. Al demostrar cómo el ABR con enfoque STEM puede ser aplicado exitosamente en la enseñanza de bombas de ariete, se abre la puerta a la adopción de esta metodología en otras áreas de la ingeniería. Esto puede llevar a una transformación en la educación técnica, donde los estudiantes no solo adquieren conocimientos, sino que también desarrollan las habilidades necesarias para innovar y liderar en sus campos profesionales (Ipah *et al*, 2022).

1.4. Bombas de Ariete

Las bombas de ariete son dispositivos hidráulicos que utilizan la energía cinética de un caudal de agua para bombear una parte de ese flujo a una altura mayor. Este tipo de bomba aprovecha el golpe de ariete, un fenómeno hidráulico que ocurre cuando un fluido en movimiento se detiene o cambia de dirección bruscamente, generando un incremento de presión (Rahman *et al*, 2023). Las bombas de ariete no requieren una fuente externa de energía, lo que las hace eficientes y sostenibles, especialmente en áreas rurales o de difícil acceso.

El diseño y la funcionalidad de las bombas de ariete dependen de varios factores, como la altura de elevación, el caudal disponible y la eficiencia del sistema. Los componentes principales de una bomba de ariete incluyen una válvula de impulsión, una válvula de descarga y un tubo de impulsión. La válvula de impulsión se abre y cierra rápidamente, creando el golpe de ariete que impulsa el agua hacia el tubo de impulsión, mientras que la válvula de descarga permite la salida del agua excedente (Li *et al.*, 2022).

1.5. Proceso de evaluación

En el ámbito de la pedagogía universitaria (*andragogía*), la evaluación del desempeño de los estudiantes en este estudio va más allá de las mediciones técnicas tradicionales. Se implementó una evaluación integral que incluyó tres dimensiones (Zhang y Guan, 2022).

1.5.1. Coevaluación

Los estudiantes se evaluaron mutuamente, brindando retroalimentación sobre el trabajo en equipo, la colaboración, la distribución de responsabilidades y el aporte individual al proyecto. Esta dinámica fomentó la comunicación efectiva, el análisis constructivo y el aprendizaje entre pares.

1.5.2. Heteroevaluación

Un equipo de profesores del departamento de Ingeniería Civil, invitados como jurado calificador, evaluaron los prototipos de bombas de ariete en términos de su diseño, construcción, funcionamiento, eficiencia y presentación final. La heteroevaluación aportó una perspectiva externa y especializada, complementando la autoevaluación y coevaluación realizadas por los estudiantes.

1.5.3. Autoevaluación

Cada estudiante realizó una autoevaluación reflexiva, analizando su propio desempeño individual, sus fortalezas y áreas de mejora, y su contribución al proyecto en general. La autoevaluación promovió el autoconocimiento, la responsabilidad personal y la capacidad de identificar oportunidades para el crecimiento individual.

1.5.4. Parámetros de Evaluación

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo en la finca de la UTPL, donde se midieron diversos parámetros para evaluar la eficiencia de las bombas de ariete, incluyendo:

- Eficiencia hidráulica: Se calculó la relación entre la energía útil entregada por la bomba y la energía total consumida.

- Capacidad para bombear agua: Se midió el volumen de agua bombeado por la bomba en un tiempo determinado.

- Contexto de sostenibilidad: Se consideraron criterios como la utilización de recursos sostenibles, la minimización de residuos y el respeto por el entorno natural durante el diseño, construcción y operación de la bomba.

2. Metodología

La investigación se desarrolló con un diseño cuantitativo de tipo pre-experimental con grupo único. Participaron estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), divididos en equipos. El estudio se llevó a cabo durante cuatro períodos de dieciséis semanas cada período, durante el cual los estudiantes desarrollaron prototipos funcionales de bombas de ariete siguiendo un enfoque ABR con base en STEM.

Para la implementación del ABR, se organizó a los estudiantes del curso de Hidráulica en equipos, asignándoles la tarea de diseñar y construir prototipos funcionales de bombas de ariete. Este proceso incluyó varias etapas: investigación teórica, diseño conceptual, construcción del prototipo y pruebas experimentales. Cada equipo debía aplicar los conceptos teóricos aprendidos en clase a situaciones reales, integrando principios de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) (Crookston *et al*, 2020).

2.1. Propuesta del reto

El reto se presentó a los estudiantes de Hidráulica con el objetivo de diseñar y construir prototipos de bombas de ariete que cumplieran con ciertas condiciones y especificaciones. Los estudiantes se organizaron en equipos e inscribieron su participación (**Ver Apéndice A**). Seguidamente, recibieron una memoria técnica descriptiva que incluía los objetivos, condiciones e indicadores de calificación mediante una rúbrica.

2.2. Diseño y construcción

Los estudiantes diseñaron y construyeron prototipos funcionales de bombas de ariete. Aplicaron conceptos de hidráulica y mecánica de fluidos para cumplir con su propósito. La construcción de los prototipos se llevó a cabo en etapas, comenzando con la investigación teórica y el diseño conceptual, seguido por la fabricación y pruebas experimentales. Se utilizaron herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) para modelar y ofimática para simular los prototipos antes de la construcción física. Durante el diseño y desarrollo de los prototipos de las bombas de ariete (Ahmad *et al*., 2020), se promovió la mejora continua a través de evaluaciones periódicas, ajustes, calibraciones y retroalimentaciones, brindadas tanto por los profesores como por sus propios compañeros.

Cada equipo utilizó una variedad de materiales reciclados y herramientas básicas, seleccionadas tanto por su disponibilidad como por su adecuación al objetivo del proyecto. Se aprovecharon materiales plásticos como tuberías de PVC y envases plásticos para las cámaras hidroneumáticas; y, material metálico como válvulas de retención, niples, cortadoras, entre otros.

2.3. Análisis de Datos

Los datos obtenidos de las pruebas experimentales se analizaron para determinar la eficiencia y eficacia de cada prototipo. Se realizaron comparaciones entre los diferentes diseños, evaluando cuáles eran los más efectivos y proponiendo mejoras basadas en los resultados obtenidos. Este análisis permitió identificar patrones y tendencias en el rendimiento de los prototipos, lo que fue fundamental para la toma de decisiones y la optimización de su diseño y construcción.

2.4. Retroalimentación y Mejora Continua

Los equipos conformados por los estudiantes recibieron retroalimentación sobre sus diseños y resultados experimentales, lo que les permitió realizar ajustes y mejoras en sus prototipos. Este proceso de mejora es fundamental en el ABR con enfoque STEM, ya que promueve el aprendizaje activo y el desarrollo de habilidades prácticas. La retroalimentación también permitió a los estudiantes reflexionar sobre sus errores y aprender de ellos, lo que es esencial para el crecimiento y el desarrollo personal y profesional.

2.5. Investigación Teórica

Antes de comenzar a diseñar y construir los prototipos, los estudiantes realizaron una investigación teórica sobre el funcionamiento de las bombas de ariete y sus aplicaciones prácticas. Esta investigación fue la base para el diseño conceptual de los prototipos y permitió a los estudiantes comprender mejor los principios y conceptos relacionados con la hidráulica y la mecánica de fluidos.

2.6. Diseño Conceptual

Se realizaron bocetos y diagramas de los prototipos, considerando los principios de la hidráulica y la mecánica de fluidos. Los estudiantes desarrollaron aplicativos y utilizaron software de diseño asistido por computadora (CAD) para crear modelos tridimensionales de los prototipos y simular su comportamiento en diferentes condiciones. Este proceso de diseño conceptual permitió a los estudiantes desarrollar habilidades creativas y resolver problemas de manera efectiva.

2.7. Evaluación técnica y colaborativa por equipos

La evaluación técnica y colaborativa por equipos, enmarcada en el Aprendizaje Basado en Retos (ABR) y el enfoque STEM, constituye un proceso fundamental en el desarrollo de prototipos de bombas de ariete. Con el objetivo de evaluar el desempeño de los equipos de estudiantes de Ingeniería Civil, se diseñó e implementó una rúbrica de calificación general por equipos.

Las rúbricas han ganado un papel fundamental en el ámbito educativo universitario, sirviendo como herramientas valiosas para la evaluación del desempeño estudiantil, la promoción de la coherencia entre los evaluadores y la obtención de una medida objetiva del aprendizaje y el progreso de los estudiantes. Su implementación ha demostrado generar resultados positivos en la motivación de los estudiantes, el rendimiento académico y el interés por el aprendizaje. Además, las rúbricas permiten evaluar la efectividad de la comunicación oral, la organización de la presentación y el discurso, el uso de recursos visuales y la capacidad de respuesta a las preguntas en presentaciones orales y exposiciones (Shinde, 2022).

La rúbrica utilizada en este estudio, abarca una amplia gama de aspectos pedagógicos del aprendizaje, incluyendo la resolución de problemas, el trabajo en equipo, la creatividad, la comunicación efectiva y la comprensión de los principios científicos, tecnológicos, matemáticos e ingenieriles. Ver Tabla 1.

Tabla 1.

Rúbrica de evaluación general por equipos

Ítem	Indicadores	Peso de calificación (%)	Observación
1	La mejor memoria técnica y descriptiva	12	Aplica control de plagio. Similitud general < 5%. Similitud por párrafo < 50% con citas y referencias bajo normas APA.
2	El mejor audiovisual demostrativo del proceso de construcción y operación	12	Aplica calidad audiovisual y duración. La mejor calidad en MP4. Mínimo 7 minutos. Máximo 10 minutos.
3	La mejor modelación matemática en software con licencia estudiantil, como ANSYS: CFD, FLUENT; IBER, Open – FOAM; CFD-Autodesk; FLOW-3D; entre otros.	18	Modelo matemático calibrado y ajustado según la funcionalidad del prototipo construido.
4	El prototipo más eficiente	22	Resultados de operación y validación en campo. Registros de caudal, altura y tiempo de funcionamiento del prototipo. Eficiencia.
5	La construcción en campo más rápida y efectiva	10	El menor tiempo invertido en la construcción de un prototipo funcional por cada equipo participante.
6	El prototipo más barato	12	Evidencia demostrada de costos invertidos mediante facturas, notas de venta, certificados, u otros similares.
7	El prototipo con más piezas y elementos de reciclaje	14	Para demostrar el uso predominante de materiales reciclados en la construcción del prototipo operativo, se deberá presentar evidencia tangible, (fotografías, videos, otros), que respalden el origen reciclado de las piezas utilizadas.
	Total	**100**	

Fuente: Elaboración propia (2024).

La Rubrica General por Equipos (Tabla 1) permite evaluar la capacidad de los estudiantes para aplicar el ABR con los conceptos STEM en la solución del reto hidráulico asignado, demostrando su creatividad con proactividad, pensamiento crítico, análisis y síntesis de información, evaluación y mejora continua, colaboración y trabajo en equipo para la construcción cognitiva, economía y sostenibilidad, así como responsabilidad y ética.

a) Creatividad e Innovación (Ítem 1: La mejor memoria técnica y descriptiva): La capacidad de los estudiantes para crear y presentar información de manera clara y concisa, demostrando su comprensión del tema.

b) Procesos de Pensamiento Crítico y Resolución de Problemas (Ítem 2: El mejor audiovisual demostrativo del proceso de construcción y operación): La capacidad de los estudiantes para analizar y resolver problemas, demostrando su capacidad para diseñar y construir prototipos y narrarlo técnicamente mediante elementos audiovisuales.

c) Análisis y Síntesis de Información (Ítem 3: La mejor modelación matemática en software): La capacidad de los estudiantes para analizar y sintetizar información, utilizando herramientas matemáticas y software para modelar y simular el fenómeno físico del transitorio hidráulico para utilizarlo como energía de impulsión en una línea de bombeo.

d) Evaluación y Mejora Continua (Ítem 4: El prototipo más eficiente): La capacidad de los estudiantes para evaluar y mejorar continuamente sus prototipos, demostrando su capacidad para aprender de los errores y mejorar su desempeño, bien por el aporte en equipo, bien por aportes individuales.

e) Tactilidad cognitiva, Colaboración y Trabajo en Equipo (Ítem 5: La construcción en campo más rápida y efectiva): La capacidad de los estudiantes para trabajar en equipo, colaborar y comunicarse efectivamente para lograr un objetivo común.

f) Economía y Sostenibilidad (Ítem 6: El prototipo más barato): La capacidad de los estudiantes para considerar factores económicos y sostenibles en el diseño y construcción de prototipos.

g) Responsabilidad y Ética (Ítem 7: El prototipo con más piezas de reciclaje): La capacidad de los estudiantes para considerar la responsabilidad y la ética en el diseño y construcción de prototipos, demostrando su compromiso con la sostenibilidad y el medio ambiente.

La evaluación de la funcionalidad de los prototipos de bombas de ariete constituyó un aspecto fundamental en el desarrollo del presente proyecto formativo. Para ello, cada prototipo fue sometido a pruebas en campo para evaluar su rendimiento y eficiencia. Se midieron y registraron parámetros como la altura de elevación del agua (H en m), el caudal impulsado (Q en L/s) y la eficiencia general del sistema (η).

La Tabla 2 presenta la sub-rúbrica diseñada para evaluar la eficiencia de cada prototipo funcional, desglosando el Ítem 4 de la Tabla 1. Esta sub-rúbrica establece criterios claros y objetivos para la asignación de puntajes por parte de los evaluadores, co-evaluadores y hetero-evaluadores.

Tabla 2.

Sub-rúbrica de evaluación de la eficiencia del prototipo

Ítem	Indicadores	Unidades	Observación
1	Caudal impulsado (Q)	L/s	Los aforos se realizan por el método volumétrico.
2	Relación de alturas. Altura de carga vs. altura de elevación (H)	m	La elevación del volumen impulsado se determina con base en la medida vertical de la cota de la boquilla de salida de la línea de impulsión.
3	Tiempo de operación funcional (T)	min	El tiempo en minutos se registra mediante cronómetros.
4	El rendimiento		Se determina mediante la ecuación (1)

Fuente: Elaboración propia (2024).

Las pruebas en campo permitieron identificar de forma transparente y colectiva los resultados por equipos de trabajo, según la capacidad funcional de cada prototipo para impulsar agua a una máxima altura. Con los registros y aplicando la Ecuación (1), propuesta para este estudio, finalmente se determinó el Indicador de rendimiento, ($I_{\eta 1}$).

Además, mediante la Ecuación (2) de D´Aubuisson (Pashkov y Dolgachev, 1985), se determinó la Eficiencia (η_2) de cada bomba de ariete. La Ecuación (3) permite calcular la altura impulsada, H, en m.

$$I\eta_1 = \left[\frac{0{,}4\ \mathrm{q} + 0{,}6\ (\mathrm{H} - h)}{\mathrm{D}^{1{,}5}}\right] T \qquad \text{(Ec. 01)}$$

$$\eta_2 = \left[\frac{\mathrm{q\ H}}{\mathrm{Q\ h}}\right] 100 \qquad \text{(Ec. 02)}$$

$$H = Hn + 0.1\ L \qquad \text{(Ec. 03)}$$

El caudal impulsado (q, en L/s) y la altura de impulsión alcanzada (H, en m) son factores fundamentales en la eficiencia de la bomba. Hn es la altura neta de elevación, en m; L es la longitud de la tubería, en m; h es la altura de carga o desnivel de trabajo, en m; mientras que, el diámetro de succión (D, en mm) influye en la velocidad del flujo, su resistencia y gran parte de la eficiencia energética del sistema. El tiempo de duración (T, en s) es un indicador de la capacidad de la bomba para mantener la impulsión constante de un flujo durante el período de prueba. Q, representa el caudal de alimentación en L/s. El caudal de derrame (Q´) es la diferencia entre Q y q.

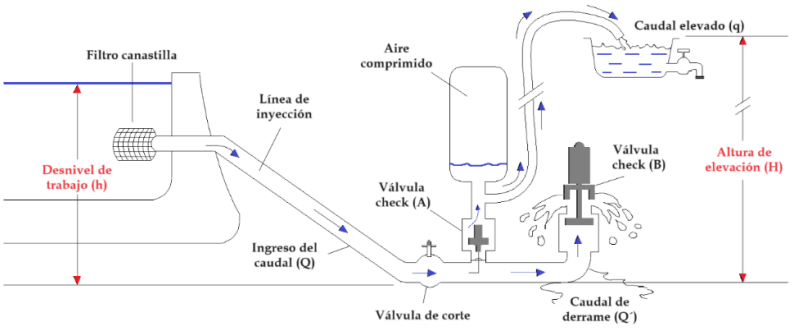
2.8. Casos prácticos

2.8.1. Diseño y concepción del montaje del prototipo

En el esquema de montaje del prototipo, ilustrado mediante la Figura 1, claramente se evidencia el principio de funcionamiento del ariete hidráulico, donde la energía del agua en movimiento es utilizada para elevar una parte del agua a una mayor altura sin necesidad de otra fuente de energía externa. La correcta configuración y operación de sus componentes, determinarán un óptimo rendimiento del sistema.

Figura 1.

Esquema general de montaje del sistema



Fuente: Elaboración propia (2024).

Mediante la Figura 1 se ilustra el esquema de instalación convencional de un ariete hidráulico. Se incluyen los componentes esenciales y el sentido de flujo del agua a través del dispositivo.

Filtro Canastilla: Se ubica en la fuente de inyección del agua, es decir, en el punto de entrada del sistema. El agua pasa primero a través de esta rejilla, que evita el ingreso de partículas sólidas, protege el ariete y mejora su funcionamiento al prevenir obstrucciones internas y daños operativos en las válvulas check.

Desnivel de Trabajo (h): El desnivel de trabajo (h) es la diferencia de altura entre el nivel de superficie del agua en la entrada y el eje horizontal del ariete hidráulico. Este desnivel es fundamental para el funcionamiento del sistema, ya que convierte la energía potencial del agua en energía cinética necesaria para el proceso de bombeo.

Ingreso del Caudal (Q): El agua ingresa al sistema con un caudal designado como Q. La dirección del flujo del agua a lo largo del circuito está claramente indicada por las flechas azules en el esquema.

Válvula de Corte: Esta válvula permite controlar el flujo de agua hacia el ariete hidráulico, permitiendo su interrupción o apertura según sea necesario. Esta válvula facilita el mantenimiento y la operación controlada del sistema.

Válvula Check (A): Es una válvula de retención que permite el flujo del agua en una única dirección, impidiendo el retorno del agua y asegurando la correcta operación del ariete. Este componente mantiene la dirección del flujo y la presión del agua en la línea de impulsión, aguas debajo de la cámara de aire (o tanque hidroneumático).

Aire Comprimido: Un depósito de aire comprimido está integrado en el sistema, actuando como un amortiguador de la presión del agua provocada por los golpes de ariete, lo que mejora la eficiencia del bombeo y reduce el desgaste del sistema. Esta cámara de aire al estabilizar el flujo y almacenar la energía potencial en forma de aire comprimido, ayuda a impulsar el agua a través de la línea de descarga (Sobieski *et al*., 2016).

Válvula Check (B): También conocida como válvula de derrame, esta válvula de retención adicional, colocada en sentido contrario que la válvula check (A), garantiza el flujo unidireccional del agua, contribuyendo a la acumulación de presión necesaria para el bombeo. El funcionamiento se puede resumir indicando que en la fase de aspiración la válvula de derrame se abre, permitiendo que el agua fluya desde la fuente de agua hacia la cámara de aire. En la fase de impulsión, la válvula de derrame se cierra instantáneamente cuando el ariete sube y cierra la válvula de impulsión. Esto impide que el agua a presión regrese a la tubería de aspiración.

Caudal de Derrame (Q'): Parte del agua que ingresa en el sistema no es bombeada, sino que se expulsa como caudal de derrame, indicado por Q'. Este flujo es el resultado de restar el caudal inyectado (Q) menos el caudal elevado (q).

Altura de Elevación (H): Es la distancia vertical a la que el agua es bombeada utilizando la energía del golpe de ariete para superar esta elevación, junto con las pérdidas de carga hidráulica por longitud y accesorios de la línea de impulsión (Metra y Credo, 2020).

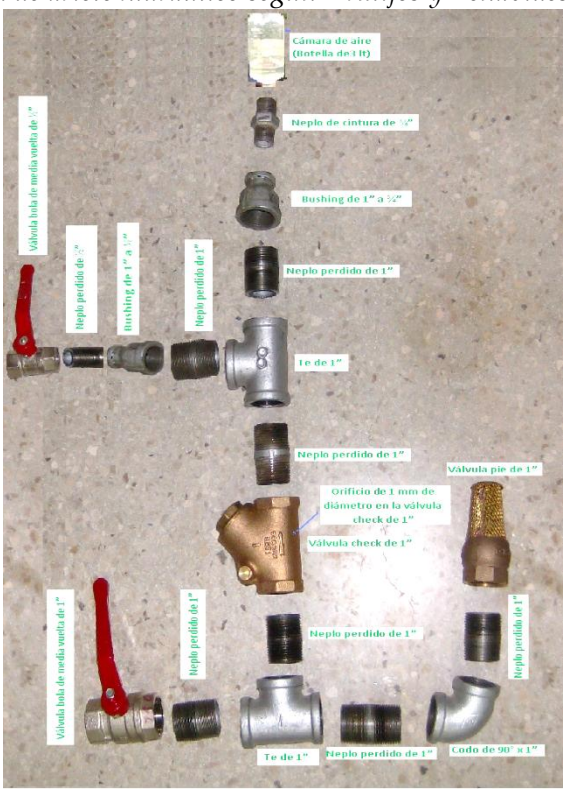
Caudal Elevado (q): Finalmente, el agua es bombeada hacia un punto más elevado con un caudal q, siendo este el flujo útil del sistema que puede ser utilizado para diversas aplicaciones, como abastecimiento de agua para diferentes usos y aprovechamientos.

2.8.2. Proceso constructivo y ensamblaje

El esquema de armado de la Figura 2 fue utilizado por varios equipos participantes como una de las opciones para el diseño y ensamblaje de la bomba de ariete.

Figura 2.

Componentes de una bomba de ariete hidráulico según Armijos y Benavides-Muñoz (2009)



Fuente: Adaptado de Armijos y Benavides-Muñoz (2009).

La Figura 2, (Armijos y Benavides-Muñoz, 2009), muestra una disposición detallada de los componentes que conforman un sistema de bombeo de aire hidráulico. Este conjunto de piezas ilustra la complejidad y organización de montaje requeridas en estos mecanismos.

En la parte superior de la bomba de ariete, se instala una cámara de aire, elemento hidroneumático utilizado para amortiguar las fluctuaciones de presión. Adyacente a esta, se encuentra un niple de cintura que sirve como conector entre diferentes secciones del sistema. La instalación del depósito de aire en la parte superior del ariete ensamblado se realizó utilizando una o dos botellas plásticas recicladas, aseguradas con abrazaderas o material de sujeción adecuado. Esta cámara de aire a presión, esencial para el funcionamiento del ariete, también puede construirse con un tubo de metal (Ayala Chauvin y Izquierdo, 2006).

El cuerpo central está compuesto por una serie de acoplamientos y reducciones. Se aprecia un bushing que permite la transición entre tuberías de distintos diámetros, seguido por niples perdidos que facilitan la unión de componentes. Una te de 1" actúa como punto de bifurcación en el flujo.

En la sección inferior se alojan elementos de control y seguridad. Destaca una válvula de retención (check) de 1", diseñada para prevenir el retroceso del fluido. Esta válvula incorpora un orificio de 1 mm de diámetro en su costado. Este orificio permite el escape de aire durante el funcionamiento de la bomba.

En los extremos se ubican válvulas de bola de 1", que permiten el control manual del flujo. La configuración se completa con codos y niples adicionales, que hacen posible el montaje de la bomba de ariete hidráulico.

A continuación, se presenta una lista de materiales requeridos para la construcción del prototipo: Tubo de PVC de 1 pulgada (longitud según necesidad). Codos de PVC de 1 pulgada (2 unidades). Tees de PVC de 1 pulgada (2 unidades). Válvula check de PVC de 1 pulgada. Válvula de bola de ½ pulgada. Bushing de reducción de 1 pulgada a ½ pulgada.

Teflón en cinta (cantidad suficiente). Botella plástica (para depósito de aire). Abrazaderas o material de sujeción. Taladro (para realizar orificio en la válvula check). En todas las uniones roscadas, se debe aplicar una cantidad adecuada de teflón en cinta para evitar fugas de agua durante el funcionamiento de la bomba. Utilizar un bushing de reducción de 1 pulgada a ½ pulgada para conectar la válvula de bola de ½ pulgada a la Tee de 1 pulgada.

Los materiales utilizados en el ensamblaje de la bomba de ariete pueden ser de acero galvanizado HG o de PVC. La elección del material dependerá de las preferencias del usuario y las condiciones específicas de la aplicación.

3. Resultados

Los resultados del estudio indicaron un alto nivel de participación y motivación entre los estudiantes. Se observó un aprendizaje efectivo e integrador, con desarrollo de habilidades transversales como la resolución de problemas, el pensamiento crítico y la creatividad. Las pruebas experimentales realizadas en campo permitieron evaluar objetivamente el rendimiento de los prototipos, proporcionando retroalimentación valiosa para la mejora continua.

La evaluación general de los grupos así como de la funcionalidad de los prototipos de bombas de ariete hidráulicos, diseñados y construidos por los equipos, fue realizada mediante la rúbrica general (Tabla 1) y la sub-rúbrica específica para el prototipo propiamente dicho (Tabla 2). El análisis de los datos arroja los siguientes hallazgos:

- Los resultados muestran que el ABR es un enfoque efectivo para la enseñanza del tema de bombas de ariete en asignaturas de Hidráulica para Ingenieros. Los estudiantes lograron mejorar significativamente sus habilidades en la construcción y operación de las bombas, así como en la resolución de problemas, con pensamiento colaborativo, cooperativo, crítico y proactivo.

- La integración del enfoque STEM en el aprendizaje basado en retos mostró un efecto positivo en la comprensión y aplicación de los conceptos hidráulicos. Los estudiantes lograron desarrollar habilidades más sólidas en el diseño y construcción de los prototipos, y mejoraron su capacidad para analizar y resolver problemas.

- El proceso de evaluación (Co-evaluación, Hetero-evaluación y Auto-evaluación) mediante la aplicación de las rúbricas generales y la sub-rúbrica específica para el prototipo permitieron una evaluación más precisa y objetiva del desempeño de los estudiantes.
  Los equipos de trabajo lograron mejorar significativamente sus resultados, especialmente en la eficiencia y funcionalidad de los prototipos.

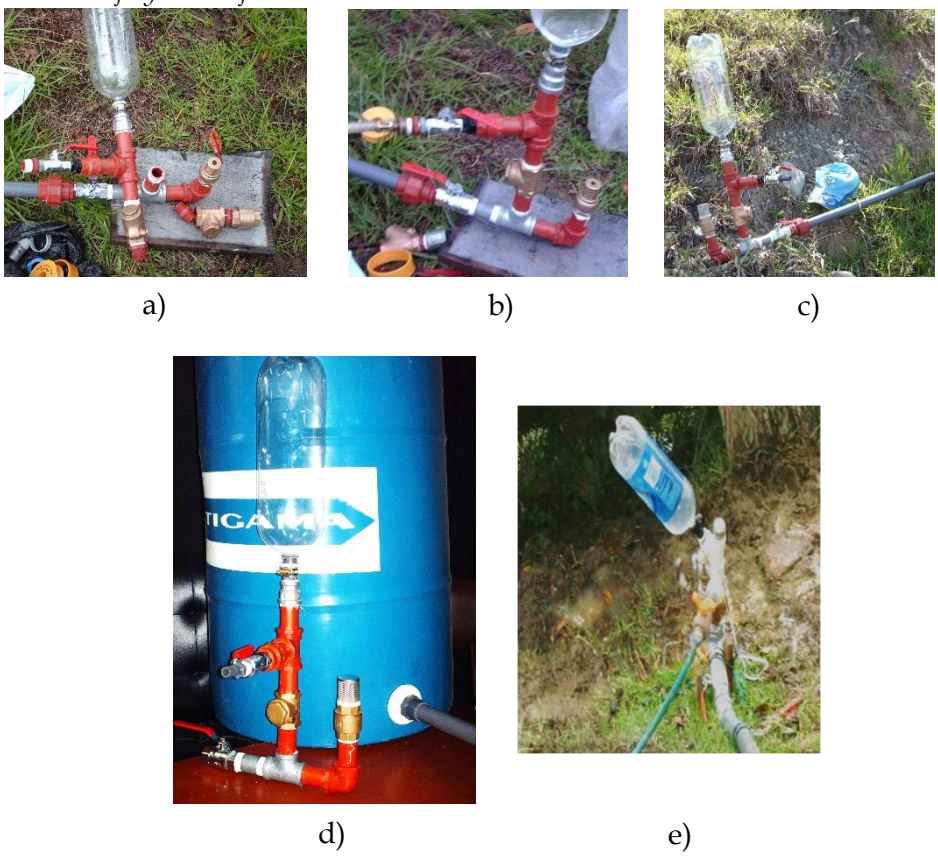
- Los resultados de la evaluación de los prototipos de bombas de ariete hidráulicos, considerando el tiempo de funcionamiento, caudal, altura alcanzada y eficiencia mediante se concretó de una manera equitativa mediante la expresión propuesta (Ecuación 01) y la determinación de la eficiencia (Ecuación 02).

- Los resultados arrojan una tendencia general hacia la mejora en la eficiencia y durabilidad de los prototipos, lo que sugiere que el ABR con base en STEM son enfoques efectivos para la enseñanza de bombas de ariete hidráulicos. Sin embargo, es importante considerar que los resultados pueden variar dependiendo de los equipos y prototipos específicos.

Respecto de los resultados de la construcción de algunos prototipos de las bombas de ariete, su montaje y prueba se presenta mediante la Figura 3.

Figura 3.

Etapas de ensamblaje y montaje de las bombas de ariete hidráulico



Fuente: Elaboración propia (2024).

La Figura 3 ilustra el proceso secuencial de construcción y montaje de una bomba de ariete hidráulico.

La Figura 3. a) En esta imagen se observa la fase inicial del montaje. Los componentes principales, fabricados principalmente en PVC, se disponen sobre una base improvisada de madera. Se aprecia el cuerpo central del ariete, constituido por válvulas y conexiones en T, junto a una botella reciclada de plástico que fungirá como cámara de aire.

La Figura 3. b) Se muestra un avance significativo en el ensamblaje. El sistema de tuberías se ha expandido, incorporando más válvulas y acoplamientos. La presencia de cinta de teflón en las uniones sugiere el riguroso y necesario sellado de uniones, para prevenir fugas.

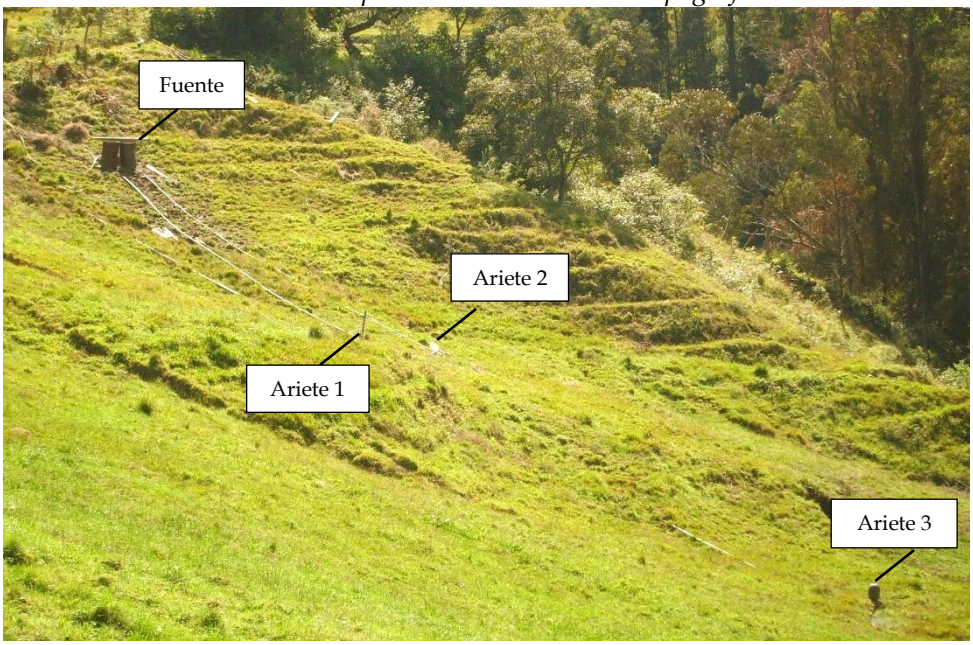
La Figura 3. c y Figura 3. e) Aquí se presenta dos arietes hidráulicos en su contexto previo a la operación de prueba. El dispositivo está instalado en un terreno inclinado, aprovechando la pendiente natural para generar la caída de agua necesaria. Se observan tuberías de alimentación y descarga.

La Figura 3. d) La imagen muestra una variante del sistema construido en laboratorio, integrada a un tanque de almacenamiento cuya capacidad permitirá convertirse en la fuente de inyección. Esta configuración sugiere una aplicación práctica en un entorno doméstico o bajo condiciones controladas, para las primeras pruebas del modelo.

La Figura 4 ilustra la disposición estratégica de las bombas de ariete hidráulico en un terreno con pendiente pronunciada, característico de regiones montañosas. Este arreglo aprovecha ingeniosamente la topografía natural para maximizar la eficiencia del bombeo. Este sistema de montaje ejemplifica la adaptabilidad y eficacia de los sistemas de ariete hidráulico en terrenos con altas pendientes naturales, ofreciendo una solución de bombeo autosostenible para comunidades rurales o proyectos agrícolas en regiones con acceso limitado a infraestructura energética convencional.

Figura 4.

Implementación de los sistemas de bombeo por ariete hidráulico en topografía montañosa



Fuente: Elaboración propia (2024).

En la Figura 4, en la parte superior de la imagen, se observa la "Fuente", que constituye el punto de captación de agua. Esta estructura, abastecida mediante un canal de riego, permitió la instalación de los tanques o reservorios.

Estos se ubican en una cota más elevada, hidráulicamente seleccionada para el montaje de todo el sistema de prueba y aforo. Esta disposición proporciona la carga hidráulica inicial necesaria para el funcionamiento de los eficiente de los arietes hidráulicos.

Descendiendo por la pendiente de la ladera, se identifican tres unidades de bombeo denominadas "Ariete 1", "Ariete 2" y "Ariete 3". Cada ariete aprovecha la energía potencial del agua proveniente del nivel superior para impulsar una fracción del caudal hacia cotas más elevadas. Este arreglo multiplica la capacidad de elevación del sistema, posibilitando el transporte de agua a puntos considerablemente más altos que la fuente original.

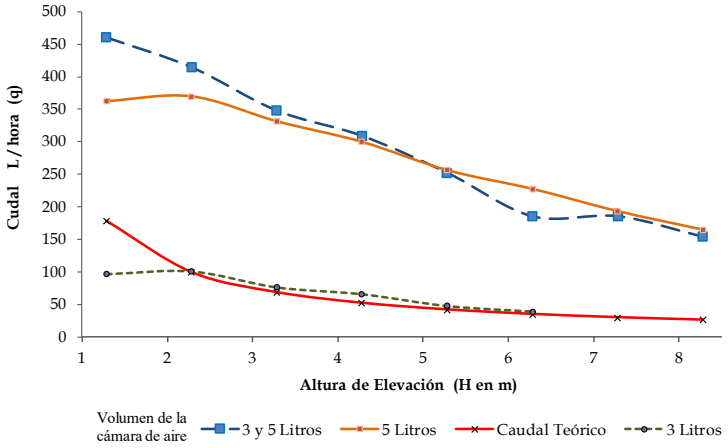
Las líneas visibles en el terreno son las tuberías que conectan los componentes del sistema. Estas conducen el agua desde la fuente hasta cada ariete y, desde cada ariete hacia su destino final o punto de descarga.

Además, el entorno boscoso y la vegetación abundante sugieren un área con precipitaciones regulares, ideal para la implementación de este tipo de tecnología de bombeo sostenible. La integración del sistema con el paisaje demuestra un enfoque de ingeniería que minimiza el impacto ambiental mientras aprovecha eficientemente los recursos hídricos locales.

La Figura 5, ilustra los resultados experimentales del rendimiento de bombas de ariete hidráulico bajo diversas condiciones operativas. El gráfico presenta la relación entre el caudal entregado (en m³/hora) y la altura de elevación (H), comparando el desempeño de sistemas con diferentes volúmenes de cámara de aire y contrastándolos con el caudal teórico esperado.

Figura 5.

Un conjunto de resultados de la relación entre caudal y altura de elevación para diferentes configuraciones de cámara de aire en bombas de ariete hidráulico



Fuente: Elaboración propia (2024).

En la Figura 5, el eje horizontal representa la altura de elevación, que varía desde 1,0 hasta 8,5 metros. El eje vertical muestra el caudal en L/hora, con un rango de 0 a 500. La representación de datos con Cámara de aire de 3 y 5 litros (línea discontinua azul), muestra el mayor caudal inicial.

La bomba con Cámara de aire de 5 litros (línea naranja), exhibe un comportamiento similar al anterior.

La línea roja, representa la estimación teórica del caudal, mostrando una disminución constante con el aumento de la altura. La bomba con Cámara de aire de 3 litros (línea verde punteada), presenta el menor caudal inicial, pero mantiene una eficiencia relativamente constante a lo largo del rango de alturas.

Es notable que las configuraciones experimentales superan el caudal teórico en la mayoría de las alturas, especialmente a elevaciones menores. La intersección de las curvas alrededor de los 4,5 metros sugiere un punto de equilibrio en el rendimiento de las diferentes configuraciones.

4. Discusión

Los resultados obtenidos confirman la eficacia del Aprendizaje Basado en Retos (ABR) como una herramienta didáctica para la enseñanza de bombas de ariete. Este enfoque no solo facilita un aprendizaje activo y significativo, sino que también permite una evaluación objetiva del desempeño de los estudiantes y sus equipos. Además, crea un ambiente de aprendizaje colaborativo y motivador, esencial para el desarrollo de habilidades prácticas y teóricas en ingeniería.

Los resultados de este estudio se alinean con investigaciones previas que destacan la efectividad del ABR en la educación STEM (Brown y otros, 2020). Sin embargo, este estudio añade evidencia específica en el contexto de la ingeniería hidráulica, un área donde las aplicaciones prácticas son fundamentales. Los hallazgos sugieren que el ABR no solo mejora la comprensión teórica sino también las habilidades prácticas y la motivación de los estudiantes, aspectos esenciales para su formación y desarrollo profesional.

El índice de ponderación propuesto para este estudio, mediante la Ecuación (01), reflejó la importancia relativa de cada parámetro en la eficiencia del prototipo. El valor de 0,4 para Q indica que el caudal es un factor importante en la eficiencia, mientras que el valor de 0,6 para la diferencia entre la altura de impulsión menos la de altura de carga (H – h) indica que la dicha altura alcanzada es aún más importante.

La sub-rúbrica utilizada para evaluar el desempeño de los prototipos de bombas de ariete es un indicador efectivo que combina varios parámetros clave para evaluar la eficiencia y el rendimiento de los prototipos.

Este enfoque de evaluación multifacético no solo mide las habilidades técnicas, sino que también fomenta la dinámica interpersonal, el análisis crítico y el crecimiento individual en el entorno universitario.

En el contexto de los prototipos, propiamente dicho, estos resultados proporcionan información valiosa sobre la optimización de bombas de ariete hidráulico, indicando que la selección del volumen de la cámara de aire debe considerar la altura de elevación específica requerida para cada aplicación. Asimismo, se evidencia la versatilidad y adaptabilidad de los sistemas de ariete hidráulico, destacando su potencial como solución de bombeo en zonas rurales o con acceso limitado a la red eléctrica.

5. Conclusiones

El Aprendizaje Basado en Retos (ABR) con enfoque STEM se presenta como una alternativa prometedora para la enseñanza de la materia de hidráulica. Los beneficios para los estudiantes incluyen una mejor comprensión y aplicación de conceptos teóricos y el desarrollo de habilidades transversales. La implementación del ABR en la enseñanza de bombas de ariete ha demostrado ser eficaz, fomentando un aprendizaje significativo y activo. Los resultados de este estudio subrayan varias contribuciones significativas al avance en este campo del conocimiento.

Se ha evidenciado que la implementación del ABR mejora notablemente la comprensión tanto teórica como práctica de los conceptos hidráulicos entre los estudiantes. La metodología permitió a los participantes aplicar de manera efectiva los conocimientos teóricos en situaciones reales, incrementando así su competencia técnica y fomentando el desarrollo de habilidades transversales como la resolución de problemas, el pensamiento crítico y la creatividad proactiva.

La implementación de prototipos de bombas de ariete en la finca de la UTPL brindó a los estudiantes un contexto realista para su aprendizaje pragmático y holístico. Esta experiencia les permitió comprender las implicaciones prácticas de su trabajo, sino también observar y calibrar el prototipo para su funcionamiento en un entorno real, asegurando su correcto funcionamiento. Esta fase práctica reforzó los conocimientos teóricos adquiridos y fomentó la aplicación de habilidades técnicas en situaciones reales, contribuyendo a un aprendizaje integral y significativo.

El estudio ha puesto de manifiesto el impacto positivo del uso de materiales reciclados en la construcción de prototipos de bombas de ariete. Este enfoque no solo promueve la sostenibilidad y la conciencia ambiental entre los estudiantes, sino que también demuestra que es posible desarrollar soluciones técnicas viables y eficientes utilizando recursos limitados, lo cual es particularmente relevante para comunidades rurales y de bajos recursos.

Los educadores en ingeniería pueden adoptar el ABR con enfoque STEM como una metodología efectiva para mejorar la enseñanza y el aprendizaje en diversas áreas técnicas. Esta aproximación no solo prepara mejor a los estudiantes para los desafíos profesionales, sino que también inculca un enfoque más holístico y sostenible hacia la ingeniería.

El presente estudio no solo proporciona evidencia sólida sobre la efectividad del ABR con enfoque STEM en la enseñanza de bombas de ariete hidráulicas, sino que también ofrece recomendaciones prácticas y direcciones para futuras investigaciones. Estas contribuciones destacan el valor agregado del estudio y su potencial para influir positivamente en la práctica educativa y el desarrollo de políticas en el ámbito de la ingeniería. En términos de políticas educativas, este estudio apoya la inclusión del ABR en los currículos de ingeniería, promoviendo un aprendizaje más activo y comprometido con la formación integral e inclusiva.

Además, los resultados del estudio sugieren varias direcciones futuras para la investigación. Sería valioso explorar la aplicación del ABR en otros contextos educativos y disciplinas técnicas, así como investigar su impacto a largo plazo en el desarrollo profesional de los estudiantes. Asimismo, se recomienda realizar estudios comparativos que evalúen la efectividad del ABR frente a otros métodos pedagógicos tradicionales.

Limitaciones del estudio como oportunidades futuras

A pesar de los hallazgos positivos, este estudio presenta algunas oportunidades para futuras investigaciones y mejoras. En primer lugar, el tamaño de la muestra fue limitado a una única universidad, lo que puede generar un interés en expandir la investigación a otras instituciones para aumentar la generalización de los resultados y explorar cómo se pueden aplicar los mismos enfoques y estrategias a otros contextos. Además, el estudio se centró exclusivamente en la enseñanza de bombas de ariete hidráulicas, lo que puede generar un interés en explorar cómo se pueden aplicar los mismos enfoques y estrategias a otros temas de ingeniería, ampliando así el alcance y la relevancia de los resultados.

Apéndice A.

Ejemplo del formulario de inscripción

Ingeniería Civil
Hidráulica II

UTPL UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

Recursos Hídricos

HOJA DE INSCRIPCIÓN

Nombre del Equipo:
Fecha:
Número de participantes:

INFORMACIÓN DE LOS PARTICIPANTES

Nombres Completos / ***Representante***: Firma:
Número de cédula:
Número de teléfono celular:
Correo electrónico de contacto:

Integrantes:

Nombres Completos: Firma:
Número de cédula:
Correo electrónico de contacto:

Nombres Completos: Firma:
Número de cédula:
Correo electrónico de contacto:

Nombres Completos: Firma:
Número de cédula:
Correo electrónico de contacto:

INDICADORES PARA LLENADO DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

Costo del prototipo/s ($): Monto en facturas:

Incluye piezas de reciclaje **SI** **NO** # piezas de reciclaje

Entrega memoria técnica impresa y evidencias: **SI** **NO**

Entrega CD, memoria, video, modelo: **SI** **NO**

Entrega sesión de derechos firmada: **SI** **NO**

	Caudal		Altura	
Resultados del primer intento:		(L / s)		metros de desnivel
Resultados del segundo intento:		(L / s)		metros de desnivel

Observaciones:

Tribunal Calificador

f. *f.* *f.*

Nombre y apellidos *Nombre y apellidos* *Nombre y apellidos*

El reto de construcción de prototipos hidráulicos está dirigido para estudiantes de la UTPL, Titulación de Ingeniería Civil, curso de Hidráulica II.
Objeto de este capítulo: *Construir "in situ" una bomba de ariete hidráulico que permita elevar a la mayor atura (H) el mayor caudal (Q), con accesorios que sean de fácil adquisición, preferentemente con elementos de reciclaje, piezas reutilizadas o reaprovechadas.*

6. Referencias

Ahmad, R., Sarip, S., Hashim, K. A. y Suhot, M. A. (2020). Design and development of a hydraulic ram pump for the rural communities. En *2020 IEEE 8th R10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)* (pp. 1-5). Kuching, Malaysia: IEEE. https://doi.org/10.1109/R10-HTC49770.2020.9357006

Almeida Sánchez, H. V. y García Arteaga, E. G. (2022). Aportes de la Historia y la Filosofía en la enseñanza de las ciencias a partir de la actividad experimental asociada a la hidráulica. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, *18*(1), 134-148. https://doi.org/10.14483/23464712.19116

Armijos, J. y Benavides-Muñoz, H. M. (2009). *Aprovechamiento de la energía cinética del agua para su propia impulsión, mediante baterías de bombas de ariete.* Universidad Técnica Particular de Loja. Loja: UTPL. Obtenido de http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/1471

Ayala Chauvin, M. I. y Izquierdo, R. (2006). *Diseño y construcción de un ariete multipulsor.* Área de Energía, Industrias y Recursos Naturales - UNL, Ingeniería Electromecánica. Loja: Universidad Nacional de Loja.

Brown, P. C., Roediger, H. L. y McDaniel, M. A. (2020). Make it Stick: The Science of Successful Learning. *South Asian Journal of Management*, *27*(4), 208-211.

Crookston, B. M., Smith, V., Welker, A. L. y Campbell, D. B. (2020). Teaching Hydraulic Design: Innovative Learning in the Classroom and the Workplace. *Journal of Hydraulic Engineering*, *146*(3). https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001715

Ettema, R., Thornton, C. I., Julien, P. Y. y Hogan, T. (2020). Applied Research Can Enhance Hydraulic Engineering Education. (A. S. Engineers, Ed.) *Journal of Hydraulic Engineering*, *146*(5), 04020031. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001730

Freeman, R. (2010). Challenge-based instruction and its application in a course in mechanisms and related courses. En ASME (Ed.), *Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. 2. 34th Annual Mechanisms and Robotics Conference, Parts A and B*, (pp 969-977). Montreal, Quebeq, Canada: ASME Digital Collection. https://doi.org/10.1115/DETC2010-28501

Freeman, R., Vasquez, H., Fuentes, A., Knecht, M., Martin, T., Walker, J. y Ortiz, A. (2010). Development And Implementation Of Challenge Based Instruction In *Statics And Dynamics. En A. A. Conference* (Ed.), (pp. 15397.1-15397.18). Washington: American Society for Engineering Education. https://acortar.link/anujhk

Gallagher, S. E. y Savage, T. (2020). Challenge-based learning in higher education: an exploratory literature review. *Teaching in Higher Education, 28*(6), 1135 - 1157. https://doi.org/10.1080/13562517.2020.1863354

Hu, A. K., Mao, X., Fu, C., Wu, M. y Zhou, S. (2023). Engineering Curriculum Reform Based on Outcome-Based Education and Five-Color Psychology Theory. *Sustainability, 15*(11), 8915. https://doi.org/10.3390/su15118915

Ipah, B., Dzakiy, M. y Nilautama, D. (2022). The Effect of STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) Based Learning Approach on Critical Thinking Skills and Cognitive Learning Outcomes of Class X SMA Negeri 1. *At-Tasyrih Jurnal Pendidikan dan Hukum Islam*, *8*(2), 126-136. https://doi.org/10.55849/attasyrih.v8i2.151

Khairuddin, D., Ismail, N. N., Kamaruding, M. y Nik Ali, N. H. (2023). Enhancing Solid Waste Management Education: Understanding Engineering Students' Preferences for Teaching and Learning Methods. *Asian Journal of Research in Education and Social Sciences*, *5*(3), 48-56. https://myjms.mohe.gov.my/index.php/ajress/article/view/23870

Komilova, M., Mustafoyeva, D., Khayitov, O., Temirkulova, N., Khaydarov, Z. y Mamataliyeva, M. (2022). Formation of students' construction competence in the field of hydraulic engineering. *International Journal of Health Sciences*, *6*(S4), 3066-3073. https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS4.9890

Li, J., Yang, K., Guo, X., Huang, W., Shi, C., Guo, Y., Wang, T., Fu, H. y Pan, J. (2022). Mathematical model of hydraulic ram pump system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, *236*(6), 1097-1108. https://doi.org/10.1177/09576509221075870

Metra, D. P. y Credo, M. C. (2020). Design Analysis, Installation and Performance Evaluation of a Hydraulic Ram Pump System with a Modified Waste Valve. *Vietnam Journal of Science and Technology*, *58*(1), 107-118. https://doi.org/10.15625/2525-2518/58/1/13734

Mirea, N., Bogdea, C. y Oroian, I. (2020). STEM Education and the Water Management. An Entrepreneurship Initiative. (S. B. Timisoara, Ed.) *Transactions on Engineering and Management*, *6*(2), 44-48. https://doi.org/10.59168/gpfc5826

Pashkov, N., & Dolgachev, F. (1985). *Hidráulica y máquinas hidráulicas*. Moscú, Rusia: MIR.

Rahman, M., Rabha, D. y Nath, T. (2023). Development of Hydraulic Ram Pump for Agriculture Uses and Approach A Review. *International Journal For Science Technology And Engineering*, 32, 216-234. https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.52277

Shinde, S. (2022). Rubric: an evaluation tool for student's self evaluation. *Scholarly Research Journal for Interdisciplinary Studies*, *10*(73), 17781-17789. https://doi.org/doi: 10.21922/srjis.v10i73.11685

Sobieski, W., Grygo, D. y Lipiński, S. (2016). Measurement and analysis of the water hammer in ram pump. *Sadhana-academy Proceedings in Engineering Sciences*, 41, 1333-1347. https://doi.org/10.1007/S12046-016-0560-1

Zhang, F. y Guan, S. (2022). Evaluating the Effectiveness of Teaching Experimental Design in Universities in the Context of Information Technology. *Scientific Programming*, *2022*(9087653), 12. https://doi.org/10.1155/2022/9087653

Zhao, J., Shen, C., Zhao, J., Chen, D. y Fu, X. (2022). Construction and Application of Waterway Engineering Design Virtual Simulation Cloud System Based on Outcome-Based Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (ijet)*, *17*(20), 34-48. https://doi.org/10.3991/ijet.v17i20.31355

Financiación: Esta investigación recibió financiamiento interno, brindado por la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), Laboratorio de Hidráulica.

Agradecimientos: El autor agradece a todos los estudiantes de Hidráulica de Ingeniería Civil que participaron en el desarrollo de estos retos y construcción de prototipos; a la Srta. Johanna L. Armijos Torres y al Sr. Freddy E. Azanza Lupercio por sus efectivas participaciones en algunas fases de este estudio; a los Profesores del Departamento de Ingeniería Civil – UTPL por formar parte del Tribunal Calificador de los Equipos de trabajo y evaluación de la funcionalidad de los prototipos, a la MSc. María Soledad Segarra, Dra, Mireya Lapo Pauta, Dr. Edgar Pineda Puglla, Dr. Eduardo Carrión Coronel. Asimismo, agradece al Dr. Luis Anibal Sánchez Farfán, Coordinador de la Finca Agropecuaria – UTPL y a todo su personal técnico y operativo, por facilitar las instalaciones para llevar a cabo los eventos de prueba de los prototipos y brindarnos todo el apoyo logístico requerido para las arduas jornadas de campo.

AUTOR:

Holger Benavides-Muñoz
Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.

Holger Benavides Muñoz es Ingeniero Civil, doctorado en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente por la Universidad Politécnica de Valencia - UPV, Certificado Internacional - BID; Maestría por la Escuela Superior Politécnica del Litoral – ESPOL; Especialista en Gestión del agua en el entorno urbano (UPV). Es profesor de la carrera de Ingeniería Civil de la UTPL desde el 2001 y coordina proyectos sobre sostenibilidad del ciclo urbano y rural del agua, eficiencia hidráulica y energética en sistemas de agua, reducción del agua no contabilizada y drenajes en carreteras, principalmente. Con sus colegas ha desarrollado invenciones relacionadas a la calidad del agua en línea con reconocimiento Nacional e Internacional. Es autor y revisor de artículos científicos para revistas científicas Nacionales e Internacionales.
hmbenavides@utpl.edu.ec

Orcid ID: https://orcid.org/0000-0001-7075-0905
Scopus ID: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55039626700
Google Scholar: https://scholar.google.com/citations?user=NaXRgI0AAAAJ&hl=es
ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Holger-M-Benavides-Munoz